

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

**ANALÝZA NESTRABICKÝCH VERGENČNÍCH PORUCH PŘI
POHLEDU DO BLÍZKA**

Diplomová práce

VYPRACOVAL:

Bc. Michal Hraško

Obor 5345T008 Optometrie

Studijní rok 2011/2012

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

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

V Olomouci 25. 4. 2012

.....

Bc. Michal Hraško

Pod'akovanie

Týmto chcem vyjadriť vďaku RNDr. Františkovi Pluháčkovi, Ph.D. za ochotu, vedenie a nápomocnosť pri vzniku tejto práce. Rovnako jemu, Jaroslavovi Wagnerovi, Lenke Musilovej a ďalším patrí vďaka a uznanie za ich prínos pre obor optometrie na Univerzite Palackého.

Práce byla vypracována v rámci projektu "Optometrie a její aplikace" Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci číslo PrF_2011_021.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 Vergence, fúze a vergenční odchylky	8
1. 1 Definice a klasifikace vergence	8
1. 2 Heteroforie, fúze a fixační disparita	9
1. 3 Integrativní analýza vergenčních odchylek	10
1. 4 Analýza specifických ukazatel stavu fúzní vergence	11
1. 5 Přehled možností korekce nestrabických vergenčních poruch.....	13
2 Tonická vergence.....	17
2. 1 Charakteristika TV	18
2. 2 Vztah tonické vergence a heteroforie	18
2. 3 Tonická vergence a vergenční reakce.....	19
3 Vergenční adaptace	20
3. 1 Tonická vergence, fúzní vergence a adaptace	20
3. 2 Vergenční adaptace a fixační disparita.....	23
3. 3 Klinické využití poznatků o vergenční adaptaci	25
3. 4 Shrnutí významu pomalé fúzní složky	29
4 Akomodačně-vergenční interakce	29
4. 1 Hloubka ostrosti a akomodační odezva.....	30
4. 2 Proximální vergence	31
4. 3 AC/A poměr	31
4. 4 CA/C poměr.....	32
4. 5 Vztah konvergenční akomodace, akomodační konvergence a fúzní vergence.....	33
5 Přehled nestrabických poruch binokulárního vidění	34
5. 1 Klasifikace	34

5. 2	Poruchy binokulárního vidění s nízkým AC/A poměrem	35
5. 3	Poruchy s vysokým AC/A poměrem	39
5. 4	Poruchy s normálním AC/A poměrem	42
6	Výzkumná část	47
6. 1	Úvod	47
6. 2	Analýza fixační disparity	48
6. 3	Vybavení pro analýzu fixační disparity do blízka	56
6. 4	Návrh a konstrukce vlastního testu pro detekci křivky FD	58
6. 5	Kritéria pro výběr testovaných osob	62
6. 6	Metodika	62
6. 6	Výsledky	65
6. 7	Diskuze	69
ZÁVĚR		73
Seznam použité literatury		75
PŘÍLOHA		

ÚVOD

Optometrie patří mezi plnohodnotné nelékařské zdravotnické obory. Využití diagnostických, korekčních a z hlediska binokulárního vidění terapeutických možností zkušeným odborníkem přináší klientům vysokou kvalitu korekční pomůcky a její maximální zaměření na řešení potíží. Optometrista by se zdaleka neměl omezovat pouze na stanovení co nejpečlivější dioptrické korekce. Naopak, dostatečně kvalifikovaný optometrista je vedle preventivní zdravotnické péče o zrak privilegovaný k provádění kvalitní diagnostiky stavu binokulárního vidění. Diagnostika a terapie nestrabických poruch binokulárního vidění (tedy anomálií oční spolupráce bez výskytu zjevného šilhání) přesně spadá do odborného zaměření optometristy.

Teoretická část této diplomové práce mapuje problematiku nestrabických vergenčních anomálií binokulárního vidění při pohledu do blízka, tedy vidění za účasti akomodace a interakce akomodačních složek s vergenčními. Úvodní kapitola se snaží stručně připomenout mechanismy binokulární spolupráce očí. Zároveň ukazuje moderní přístupy detekce možných skrytých odchylek s důrazem na pojem fixační disparita. Věnuje se rovněž přehledu jednotlivých možností korekce binokulární anomálie s použitím prizmat či sférickou adicí a nastiňuje situace vhodné pro terapii pomocí zrakového tréninku. Popisuje kompenzační mechanismy zrakového systému v podobě fúznívergence a vergenční adaptace a jejich vliv na management anomálie. V dalších částech práce přibližuje důležité klinické parametry (například blízký bod konvergence) zkoumané v binokulární diagnostice, jejichž charakteristické hodnoty se vztahují k různým binokulárním syndromům. Práce se dále zaměřuje na popis akomodačně-vergenčních interakcí se zřetelem na klinické projevy plynoucí z jejich vzájemné provázanosti, přičemž reflektuje nové poznatky ze zkoumané oblasti, pomocí nichž lze vysvětlit některé dříve protichůdné diagnostické nálezy. Následně jsou nestrabické vergenční poruchy přehledně klasifikovány a popsány z hlediska symptomatologie či klinického nálezu.

Cíl výzkumné části práce představuje návrh, realizace a ověření funkce binokulárního polarizovaného testu pro pohled do blízka. Pomocí testu lze hodnotit schopnost zraku odolávat zátěži na vergenční i akomodační složky vidění při zachování binokulární fixace. Zkoumá se velikost odchylky od přesné bifoveální fixace- fixační disparity- při změnách prizmatických a sférických požadavků. Motivací k tomuto

zaměření byla úspěšná realizace obdobného testu do dálky, přičemž testování při pohledu do blízka navíc zahrnuje komplexní chování akomodačně-vergenčních mechanismů. V potřebné míře je v této části práce teoreticky popsána analýza křivky fixační disparity včetně sledovaných parametrů. Metodická část sumarizuje kritéria pro výběr dobrovolníků i prováděný postup měření. Na základě testování skupiny probandů s normálním binokulárním viděním budou ve výsledkové kapitole stanoveny normativní hodnoty sledovaných parametrů pro daný experimentální test, přičemž vybrané parametry budou za účelem srovnání paralelně měřeny na referenční Malletově jednotce do blízka. Interpretaci výsledků, srovnání průměrných naměřených hodnot daných parametrů s jinými v zahraniční používanými testy i finální zhodnocení dosažených cílů se věnuje závěrečná diskuze.

1 Vergence, fúze a vergenční odchylky

1.1 Definice a klasifikace vergence

Oční pohyby se dělí na dvě základní kategorie: Monokulární pohyby (pohyby jednoho oka, tzv. *dukce*) a pohyby binokulární (*verse* a *vergence*). Verse jsou synchronizované simultánní pohyby očí stejným směrem. Vergencemi nazýváme pohyby očí vzájemně opačným směrem (proti sobě- konvergence, od sebe- divergence). Verse slouží k rychlému prvotnímu zaměření pohledových os očí na sledovaný objekt. Úkolem vergence je následně upravit pohledové osy tak, aby vznikla binokulární fixace a na jejím základě binokulární vjem. Vergenční pohyby očí se také označují jako disjunktní. [1] Vergenci můžeme dále rozčlenit na jednotlivé složky: [2]

- tonická vergence
- akomodační vergence
- proximální vergence
- fúzní (disparátní) vergence
- adaptační vergence
- volní vergence

Tonická vergence udržuje polohu očí do dálky v případě monokulární fixace, tedy při absenci fúze (více informací v kapitole 2). Akomodační vergence zabezpečuje určitou míru konvergence při dané úrovni akomodace. Proximální konvergence souvisí s vnímáním blízkosti sledovaného objektu. Fúzní vergence je velice účinný mechanismus, jehož hlavním úkolem je kompenzovat případné anomálie v postavení očí během binokulárního vidění. Adaptační vergence je pomocná vergenční složka, jež po ustálení vergenční reakce částečně odlehčuje zátěž na fúzní a akomodační konvergenci. Adaptační mechanismy vergence probírá kapitola 3. Volní vergence umožňuje ovládat konvergenci vlastní vůlí. [2]

Důležitým termínem je **vergenční reakce**. Jedná se o odezvu vergenčního systému při fixaci očí na danou vzdálenost

1. 2 Heteroforie, fúze a fixační disparita

Mezi nestrabické vergenční odchylky, tedy skryté odchylky postavení očí bez zjevného projevu šilhání, se řadí **heteroforie (HTF)** a **fixační disparita**. HTF se při pohledu do dálky projeví nerovnoběžným postavením pohledových os. Je ovlivněna velikostí tonické vergence (viz kapitola 2). V okamžiku zahájení binokulárního vidění dochází ke snaze o kompenzaci HTF. Kompenzačním dějem je **fúze**, výkonným mechanismem je fúzní vergence. Pro připomenutí, fúze představuje senzorio-motorický proces splynutí stejných (nebo téměř stejných) obrazů z *korespondujících bodů* (oblastí) obou sítnic do celistvého vjemu. Existují dvě hlavní složky fúze-motorická a senzorio-motorická. Motorická složka fúze zabezpečuje takové nastavení pohledových os očí, že obrazy pozorovaného objektu dopadají co nejbližší foveám (centrálním jamkám sítnic) obou očí. Na tomto procesu se podílí fúzní vergence tak, že kompenzuje HTF. Proti exoforii (divergentní odchylka) působí kompenzačně pozitivní fúzní vergence (konvergentní složka). Proti esoforii, tj. konvergentní odchylce, působí negativní část fúzní vergence (divergentní složka). V případě levostranné hypoforie (HTF levého oka směrem dolů) je antagonisticky působící fúzní rezervou stejnostranná supravergence.

Funkčním projevem senzorio-motorické složky fúze je *splynutí dvou do určité míry disparátních obrazů* z korespondujících bodů obou sítnic do výsledného jednoduchého vjemu pozorovaného objektu. Senzorio-motorická fúze musí často překonat malou zbytkovou odchylku po neúplné motorické fúzní kompenzaci (danou odchylku nazýváme **fixační disparita**). Pozice pohledových os se již nemění, kompenzace probíhá ve vyšších zrakových centrech mozku. Binokulární vidění tedy může fungovat i v situaci, kdy nebylo dosaženo zcela přesné bifoveální fixace (viz níže: Panumův areál). Přítomnost fixační disparity (FD) však nemusí nutně znamenat výskyt anomálie binokulárního vidění. Determinujícím faktorem je poměr velikosti HTF ke kapacitě odpovídající fúzní rezervy. Má-li fúzní vergence dostatečnou kapacitu (rezervu) ke kompenzaci HTF, případná malá FD je považována za zbytkovou odchylku, která může být dokonce nápomocná prostorovému vidění (tzv. *chybový model*, angl.: *steady-state error*). Ovšem přesahuje-li velikost HTF dlouhodobé kompenzační možnosti odpovídajících fúzních rezerv, vznikají binokulární vergenční anomálie s charakteristickými klinickými znaky. Jedním z těchto znaků je výskyt FD

nad normální hodnoty (tzv. *stresový model* FD). Doplnující informace k HTF a FD lze nalézt v odborných publikacích. [3]

Existence fixační disparity v podmínkách binokulární fúze je důkazem **sítnicové (senzorické) adaptace** v podobě existence tzv. *Panumova areálu*. Panumův areál je virtuální eliptická plocha s delší osou orientovanou horizontálně kolem korespondujících bodů obou sítnic, v rozsahu které ještě dochází k senzorické fúzi disparátních obrazů z obou sítnic do výsledného binokulárního vjemu. [4] Zrakové centrum v mozku je tedy schopno do určité míry tolerovat odchylku od bifoveální fixace (fovea je v ideálním případě přímo uprostřed Panumova areálu).

Hlavním projevem motorické adaptace na vzniklé binokulární odchylky je tzv. **vergenční adaptace**. Jejím popisu se věnuje kapitola 3.

1.3 Integrativní analýza vergenčních odchylek

K pilířům klinického vyšetření binokulárního vidění patří zakrývací test (angl. *cover test*) sloužící k rozlišení manifestního strabismu (heterotropie) od skrytého (HTF). Pro zjištění velikosti a směru HTF se používají jak tradiční testy (například von Graefeovo prizma, Maddoxův kříž), tak i modernější alternativa (polarizované provedení, např. křížový test bez fúzních podnětů).

Z hlediska komplexnosti zúčastněných složek binokulárního vidění je vhodnější vyšetřovací metodikou měření **fixační disparity**, která zahrnuje oproti měření velikosti HTF důležitý vliv fúznívergence. Studie významných amerických optometristů J. Sheedyho a J. Saladina již před více než třiceti lety ukázaly přínos korekce fixační disparity pomocí **asociační forie**, tj. minimální prizmatické hodnoty (v pD), která eliminuje fixační disparitu, u osob s pravděpodobnou dekompenzací binokulárního vidění. [5]

Možnosti komplexního využití analýzy fixační disparity pro diagnostiku a terapii nestrabických vergenčních poruch binokulárního vidění při pohledu do blízka se zabývá výzkumná část této práce (kapitola 6).

Izolovaně změřený parametr (například HTF do blízka) má pro management binokulární potíže pouze malou relevanci. Existují však skupiny přímých a nepřímých klinických znaků, s jejichž pomocí může optometrista s velkou pravděpodobností

rozlišit typ binokulární poruchy a následně zvolit správný korekční postup (skupinám parametrů se věnuje kapitola 1.4).

Kvalitní analýza binokulárního vidění by měla prozkoumat vztah mezi deviací do dálky a do blízka, jenž je ovlivněn poměrem změny konvergence vyvolané nárůstem amplitudy akomodace, tzv. **AC/A poměrem**. Jeho hodnota má *zásadní význam* pro další směřování a postup vyšetření.

Tento ucelený diagnostický přístup rozdělený do skupin parametrů, jejichž výsledky charakterizují danou binokulární odchylku, se nazývá **integrativní analýza**. [5]

1. 4 Analýza specifických ukazatel stavu fúzní vergence

Základní popis binokulární anomálie představuje velikost a směr HTF do dálky a do blízka. HTF je však pouze jedním z více ukazatelů anomálie. Pro specifickou diagnostiku vergenčních poruch binokulárního vidění existují další veličiny, bez nichž můžeme jenom stěží charakterizovat konkrétní typ anomálie. Z hlediska základních fúzních kompenzačních složek- pozitivní a negativní fúzní vergence- můžeme každé z nich přidružit skupinu charakteristických veličin, které spolu podávají jasný klinický obraz o stavu své nadřazené složky fúzní vergence.

Skupina veličin indikujících stav pozitivní fúzní vergence (PFV)

Pozitivní fúzní vergence kompenzuje pomocí fúzních rezerv divergentní odchylky ať již z důvodu snížené tonické vergence (exoforie do dálky) anebo kvůli snížené hodnotě AC/A poměru (exoforie do blízka). Vyšetřování parametrů ovlivněných pozitivní fúzní vergencí zahrnuje **pozitivní fúzní rezervy** měřeny pomocí prizmat bází temporálně (base-out), dále **negativní relativní akomodaci, vergenční facilitu, binokulární akomodační facilitu, blízký bod konvergence a akomodační odezvu (MEM retinoskopie)**.

Měření negativní relativní akomodace (NRA) podává důležitou informaci ohledně původu příčiny anomálie. Postupným uvolňováním akomodace při pohledu do blízka pomocí plusových sférických čoček dochází k poklesu velikosti akomodační

konvergence. Pro udržení jednoduchého binokulárního vidění se musí zapojit pozitivní fúzní vergence. Po navození rozmazaného případně dvojitého vjemu je potřebné zakrýt jedno oko. Dojde-li následně k zaostření vjemu (se stejnou plusovou hodnotou), anomálie má původ v oslabené fúzní vergenci. Analogicky lze postupovat při metodě binokulární akomodační facility (střídání +2 D a -2 D před oběma očima)

Snížená hodnota *plusového* nálezu (může dojít až k nulové či záporné hodnotě) oproti normálu [6] u skiaskopické metody monokulárního odhadu (MEM) ukazuje **zvýšené akomodační úsilí** ve snaze nahradit podíl oslabené PFV pomocí zvýšené amplitudy akomodační konvergence. [7]

Skupina veličin negativní fúzní vergence (NFV)

Negativní fúzní vergence kompenzuje konvergentní postavení očí (esoforie). V případě nekorigované hypermetropie (z důvodu zvýšeného akomodačního úsilí) stejně jako v případě vysokého AC/A poměru při pohledu do blízka je NFV nadměrně zatížena. Vyšetřování této skupiny dat zahrnuje **negativní fúzní rezervy** pomocí prizmat bází nazálně (base-in), **pozitivní relativní akomodaci (PRA)**, **vergenční facilitu**, **binokulární akomodační facilitu a akomodační odezvu (MEM retinoskopie)**.

Měření PRA podává nepřímou informaci o funkci negativní fúzní rezervy. Minusové sférické čočky nutí vyšetřovaného na podkladě zvýšené akomodace (tudíž i zvýšené akomodační konvergence) pro udržení dané úrovně vergence více zapojovat negativní fúzní vergenci. Velikost potřebné kompenzační rezervy je dána hodnotou poměru AC/A. Pokud je konec vyšetření doprovázen dvojitým viděním nebo rozostřením a po dodatečné okluzi jednoho oka se vjem opětovně zaostří, došlo k vyčerpání negativní fúzní rezervy. Analogická procedura existuje během měření binokulární akomodační facility (pokud problém po okluzi jednoho oka odezní, kompenzační možnosti vergenčního systému byly rovněž vyčerpány).

Dalším nápomocným ukazatelem stavu NFV může být akomodační odezva. Zjištěné plusové hodnoty *nad* normální rozsah (tedy *zvýšený nález*) [6] naznačují snahu o **minimalizaci akomodace** ve snaze snížit vergenční reakci o co největší část akomodační konvergence a tím ulevit NFV v jejím úsilí o zachování jednoduchého binokulárního vidění.

V případě výskytu esoforie společně se subjektivními potížemi poskytnou uvedené veličiny přehled o neschopnosti pacientovy NFV daný stav kompenzovat. Jejich hodnoty by měly být charakteristicky snižené. Ojediněle se může stát, že jediný pozitivní nález odpovídající oslabené NFV bude zvýšená hodnota MEM. [7]

1. 5 Přehled možností korekce nestrabických vergenčních poruch

Uspokojením pro jedince trpícího nestrabickou vergenční anomálií bude na prvním místě odstranění symptomů a případně zlepšení vizuálního výkonu, pokud je anomálií snižen. Pro vyšetřujícího to znamená vhodnou korekcí zlepšit určité zrakové funkce změřitelným způsobem.

Pořadí výběru metody terapie (korekce) binokulární anomálie ovlivňuje velikost AC/A poměru. Směr odchylky blíže určí specifikaci korekce (například esoforie vyžaduje prizmatickou korekci s bází temporálně), případně druh a zaměření zrakového tréninku. [8]

1. 5. 1 Korekce ametropie

Všeobecně prvním krokem bývá optická korekce existující ametropie. Doporučuje se korigovat každou vadu, jejíž korekce přinese zlepšení kvality vidění. Z fyzikálního hlediska totiž sebemenší zaostření dopadajícího světla na sítnici znamená posílení *senzorické složky* fúze. V mnohých případech tím správná korekce ametropie vede odstranění symptomů na první pohled poukazujících na binokulární anomálii. Optická korekce z vergenčního hlediska snižuje:

- HTF a tím snižuje i vzniklý kompenzační požadavek fúznívergence (např. negativní fúznívergence u hypermetropie)
- nerovnováhu ostrosti očí a tím zlepšuje senzorickou fúzi

Nekorigovaná hypermetropie velmi často způsobuje esoforii, myopie často souvisí s exoforií. V případě vyšších ametropií může dojít vlivem korekce k dekompenzaci binokulární anomálie. Řešení těchto ojedinělých případů vyžaduje další analýzu binokulárního stavu. Při rozhodování o korekci malé ametropie (zejména v případě korekce malé hodnoty smíšeného astigmatismu, např. +0,25 -0,5 ax. 90°)

hraje důležitou roli existence další možné příčiny vzniku astenopických potíží. Neexistuje-li jiná možná souvislost se subjektivními potížemi, je třeba korekci malé vady vyzkoušet. Další velkou oblastí způsobující potíže s viděním je problematika anizeikonie na podkladu anizometropie, obsahově však nespadá do rozsahu této práce. [8]

1. 5. 2 Sférická adice

Další možností korekce binokulární anomálie je úprava sféry neboli sférická adice. Za vhodných okolností (jejich přehled uvádí tab.1) může kladná sférická adice eliminovat symptomy binokulární anomálie při pohledu do blízka. Záporná adice bude mít analogický účinek pro pohled do dálky. Hlavní indikací pro použití sférické adice je vysoká hodnota **AC/A poměru**. Tento stav umožňuje efektivně ovlivnit úroveň konvergence nebo divergence (tedy snížit amplitudu vergenční anomálie) změnou relativní akomodace (snižujeme či zvyšujeme akomodační výkon při udržení ostrosti na danou fixační vzdálenost). Čím bude AC/A poměr vyšší, tím větší změnu vergence vyvolá stejná hodnota sférické adice. Normální hodnoty AC/A poměru nalézáme v rozsahu $4:1 \pm 2$ (kalkulovaný poměr dává oproti gradientní metodě poněkud vyšší hodnoty, hodnotu AC/A 7:1 u obou metod už považujeme za vysokou). [6] Má-li vyšetřovaný subjekt hodnotu AC/A 8:1, přidavkem v hodnotě -1 Dpt. docílíme změnu hodnoty HTF ve směru eso o 8 pD, adice +1 Dpt. způsobí změnu o 8 pD ve směru exo.

Kladná adice, tedy kladný sférický přídavek (k případné optimální korekci do dálky), snižuje velikost esoforie i eso fixační disparity, zvyšuje rozsah pozitivní relativní akomodace, zvýší rozsah kompenzační negativní fúzní rezervy a sníží rozdíl mezi akomodačním požadavkem a odezvou. Typickým příkladem efektivní aplikace kladné sférické adice při pohledu do blízka je **exces konvergence** (viz kap. 5).

Záporná adice, často označována jako tzv. antikorekce, je efektivní (avšak pouze dočasná) metoda snížení vergenční anomálie typu exo do dálky pomocí úpravy korekce směrem do mínusu. Její účinek na ukazatele fúzní vergence je ve srovnání s kladnou adicí přesně opačný. Příkladem využití antikorekce je *exces divergence* nebo vysoká hodnota *základní exoforie*.

Příkladem *kontraindikace* použití jakékoli sférické adice je kategorie anomálií s nízkým AC/A poměrem: insuficience konvergence a insuficience divergence. [8]

Tabulka 1: Parametry, které blíže charakterizují stav vergenční anomálie, a jejich hodnoty příznivé k použití kladné sférické adice. [8]

Parametr	Hodnota pro použití + adice
AC/A poměr	Vysoký
Refrakční vada	Hypermetropie
HTF do blízka	Esoforie
Negativní relativní akomodace (NRA)/ Pozitivní relativní akomodace (PRA)	Nízká PRA
Negativní fúzní rezerva (base-in) do blízka	Snížená
Akomodační odezva („MEM“)	Vysoká +
Amplituda akomodace	Snížená
Akomodační schopnost (facilita)	Selhání s - čočkami

Vhodnost použití sférické adice je v práci dále diskutována tam, kde má její použití opodstatnění.

1. 5. 3 Prizmatická korekce

Prizmatická korekce usměrňuje (odklání) chod světelných paprsků okem. Cílem korekce je přizpůsobení chodu paprsků tak, aby dopadaly současně do foveí v centrálních oblastech obou sítnic. Za normálních okolností tento úkol plní vergenční složky. V případě binokulární vergenční anomálie existuje excesivní zátěž na jeden směr působení fúznívergence. Prizma pomůže uvolnit vzniklou nerovnováhu úpravou chodu světla. Existují tři základní modalities korekčního využití prizmat: horizontální prizma, vertikální prizma a prizma pro účely zrakového tréninku. Prizmat dále využíváme pro vyšetřování fúzních rezerv či zkoumání binokulární spolupráce pomocí křivky fixační disparity vyvolané změnou vergenčního požadavku (dále jen křivka FD). Jak již bylo zmíněno v odstavci věnovanému sférické adici, využití prizmat je efektivní pouze v odůvodněných případech (prizma se nedoporučuje jako korekce excesu konvergence, u insuficience konvergence není první volbou). V minulosti se prizmatická korekce určovala pomocí různých kalkulovaných pravidel (Sheardovo,

Percivalovo) a časem se zjistilo, že prizmatická korekce v podstatě vyhovovala pouze v případech esoforie do dálky.

Payne, Grisham a Thomas provedli zajímavý výzkum. Deseti subjektům s binokulárními potížemi předepsali dvoje korekční brýle. Brýle byly naprosto identické až na jeden rozdíl: Jedny obsahovaly prizmatickou korekci, druhé nikoliv. Prizmatická korekce byla stanovena na základě testování fixační disparity. Všichni účastníci studie nosili každé brýle po dobu dvou týdnů (přičemž nevěděli, které z nich byly prizmatické). Po čtyřech týdnech byli dotázáni k výběru těch brýlí, jež jim subjektivně víc vyhovovaly. Všichni si vybrali brýle s prizmatickou korekcí. [8]

Analýza fixační disparity je považována mnohými odborníky za nejúspěšnější metodu pro předepisování prizmatické korekce (zejména pro horizontální odchylky). [8]

Prizmatická korekce funguje nejefektivněji u insuficience divergence, základní esoforie a v případě vertikálních odchylek (vertikální odchylky je potřeba vykorigovat **vždy jako první**). Jako metoda druhé volby se uplatňuje v případě insuficience konvergence či základní exoforie a tam, kde selhává zrakový trénink. Společným jmenovatelem horizontálních, prizmaticky dobře zvládatelných anomálií je nízký až normální AC/A poměr a vyšší hodnota tonické vergence (esoforie). Největší komplikací pro prizmatickou korekci představuje vergenční (prizmatická) adaptace. [8] Této problematice se věnuje kapitola 3.

1. 5. 4 Zrakový trénink

Některé anomálie binokulárního vidění nebo související akomodační potíže nelze vyřešit pouze vhodnou sférickou úpravou korekce či prizmaticky. Často tyto úpravy slouží pouze k maximalizaci optického podílu na řešení potíže. Tato snaha by měla být podpořena zrakovým tréninkem. Zrakový trénink, jinými slovy ortoptické cvičení, je první volbou v případě výskytu následujících vergenčních anomálií: insuficience konvergence, exces divergence, základní exoforie a dysfunkce fúzní vergence. Terapeutický mechanismus účinku zrakového tréninku spočívá ve zvýšení fúzních rezerv, zlepšení vergenční schopnosti (facility), eliminaci suprese, zkvalitnění stereopse či zdokonalení přesnosti sakád (nejrychlejších sledovacích očních pohybů). Hlavní faktory při rozhodování o vhodnosti zrakového tréninku tvoří: věk a inteligence

pacienta, analýza naměřených dat, určení prognózy dalšího vývoje daného problému a jeho dopad na kvalitu života, motivace a finanční možnosti pacienta, posouzení vztahu mezi klinickým nálezem a subjektivními potížemi pacienta a v neposlední řadě doba trvání tréninku. [8]

Zrakový trénink nabízí poměrně široké spektrum možností odstranění symptomů a zkvalitnění binokulárního vidění. Úspěch terapeuta v této oblasti vyžaduje podrobné znalosti potřebných metod a nabytí dostatečného množství zkušeností (zejména při zrakové terapii u dětí). V době vzniku této práce je dostupnost služeb moderního zrakového tréninku v regionu České a Slovenské republiky velkou vzácností. Širší osvěta mezi očními specialisty může postupnému využívání možností zrakového tréninku jen pomoci.

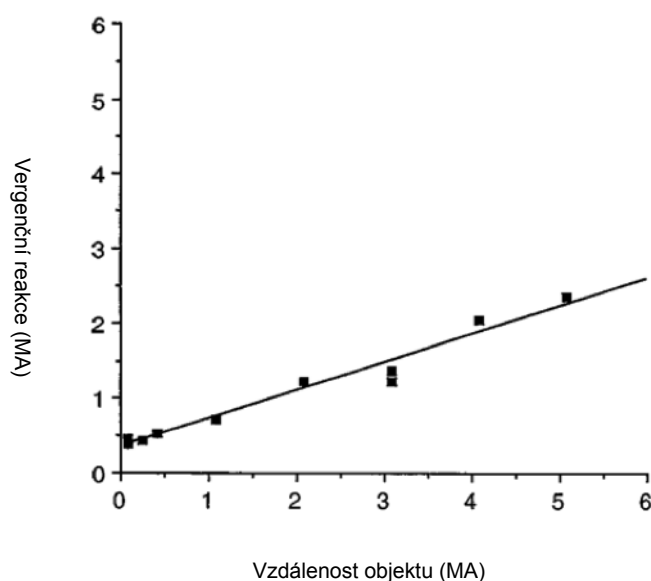
Rozbor a postupy jednotlivých metod zrakového tréninku přesahují zaměření této diplomové práce. Zrakový trénink bude v jednotlivých kapitolách dle opodstatnění vhodně zmíněn.

2 Tonická vergence

Tonická vergence představuje jakési skryté vergenční nastavení, z něhož se aktivací dalších binokulárních složek během fúze odvíjí potřebná vergenční reakce. Při absenci rozlišitelného viditelného podnětu (např. ve tmě, při pohledu na rovnoměrně bílou zeď a podobně) svírají oči bdělého člověka (s normálním binokulárním viděním) určitý stupeň vergence (vzájemnou polohu), jež může být udáván v metrových úhlech (MA)¹. Za těchto podmínek jsou oči v dané poloze udržovány působením **tonické vergence (TV)**.

¹ $MA = \frac{1}{a}$ (m⁻¹); a = vzdálenost průsečíku pohledových os od spojnice uzlových bodů obou očí (m); např. pro 2 MA platí, že a = 0,5 m. Pozor, pro úhlovou kvantifikaci konvergence na danou vzdálenost „a“ je zaveden jiný, detailnější vztah: $C = \frac{PD}{a}$; [$\frac{cm}{m}$]

2.1 Charakteristika TV



Obrázek 1: Vergenční reakce jako funkce vzdálenosti sledovaného předmětu. [9] Průsečík s osou „y“ odpovídá hodnotě tonické vergence do dálky (obě veličiny jsou měřeny v metrových úhlech- MA). Přímka aproximuje průměrné naměřené hodnoty vergenční reakce pro různé fixační vzdálenosti.

Normální hodnoty tonické vergence leží v intervalu 0,25-0,75 MA, tedy oči při pohledu do dálky mají tendenci přirozeně konvergovat tak, že se jejich pohledové osy protínají ve vzdálenosti cca. 1,33- 4 m (od spojnice svých uzlových bodů). Vyjádřeno v prizmatických dioptriích například pro pupilární vzdálenost 64 mm, pohybuje se amplituda tonické vergence k referenčnímu ortho (rovnoběžnému) postavení v intervalu cca. 1,6- 4,81 pD.

Tonická vergence je syntézou činnosti ušního vestibulárního aparátu, proprioceptivních impulzů ze svalů (zejména krční páteře), sítnice po osvětlení alespoň části zorného pole a vyšších mozkových center. Za normálních okolností jsou impulsy tonické vergence pro obě oči symetrické. [9]

2.2 Vztah tonické vergence a heteroforie

Velikost HTF do dálky, není-li ovlivněna například nekorigovanou nebo latentní hypermetropií, je přímo závislá na amplitudě tonické vergence. Je-li hodnota vergenční reakce (v MA) *menší* než požadovaný vergenční stimul, dochází k exoforii. Překoná-li reakce stimul, dojde naopak k esoforii. Pokud potřebujeme klinicky zjistit hodnotu velikosti tonické vergence, musíme oproti HTF navíc eliminovat zpětnou vazbu akomodačního a vergenčního systému.² Tyto vazby se do dálky eliminují použitím

² V odborné anglické literatuře se přerušení akomodační zpětné vazby nazývá „accommodation open loop.“ Pokud je akomodační odezva eliminována, vliv akomodace přes jednotlivé složky je prakticky nulový, přestože stimul zůstává. Analogicky mluvíme o přerušení

stenopeických clon o průměru 0,5 mm, přičemž pozorovací vzdálenost nesmí být menší než tři metry. Při pohledu do blízka je pro eliminaci proximální akomodace a dalších složek nutné použít jako fixační cíl tzv. Gaussovský obrazec (obrázek se nachází například v publikaci [10] na stránce 459). Experimentální studie popsané v práci [9] prokázaly značné snížení vergenční reakce na blízký stimul s použitím stenopeických clon oproti běžnému měření HTF.

V minulosti Maddox popisoval termínem tonická vergence stav odpovídající dnešní HTF. Později byl však experimentálně prokázán rozdíl ve velikosti tonické vergence a heteroforie do dálky. Během měření HTF do dálky totiž dochází k vergenční odezvě složené z tonické i akomodační složky vergence. Maddoxův cylindr eliminuje disparátní složku a oslabuje podíl proximální složky vergence. Rozdíl mezi tonickou vergencí a HTF do dálky je dán příspěvkem **akomodační konvergence** u HTF. Tonická vergence (disociovaný pohled do dálky přes stenopeickou clonu) bývá průměrně o 2 pD víc konvergentní než HTF. Je tedy provázaná s větší akomodační odezvou (cca 0,5 D pro $AC/A = 4$), což odpovídá zvýšenému tonickému stavu akomodace v podmínkách působení izolované tonické vergence. [9]

2.3 Tonická vergence a vergenční reakce

Vergenční reakce je vždycky kumulovaná z podílů tonické, akomodační a disparátní (fúzní) vergence. Při pohledu do blízka se k nim připojuje proximální vergence a jednotlivé akomodační složky. Za účely zkoumání vzájemných interakcí jednotlivých složek vergenční reakce pro rozličné zrakové situace byly vytvořeny poměrně složité simulace. S jejich pomocí byla prokázána **zanedbatelně malá** role tonické vergence na výsledné hodnotě vergenční reakce. Procentuálně vyjádřeno pro normální zrakové podmínky, tvoří podíl TV na celkové amplitudě vergence přibližně 0,66 %. [9] V případě oslabené fúzní vergence však jednotlivé vergenční poměry změní a zvýší se pravděpodobnost výskytu binokulárních potíží.

Hodnota tonické vergence se po odznění změn souvisejících s dospíváním člověka stabilizuje. Za normálních okolností dochází s věkem k pozvolnému poklesu

zpětné vazby vergence („vergence open loop“). Funkce zpětné vazby (dochází k akomodaci/vergenci) se označuje se termínem „closed loop.“

hodnoty TV. Rovněž při různě dlouho trvajících činnostech do blízka zůstává její hodnota relativně stabilní. [9]

V dosavadních kapitolách byla popsána vergenční reakce z pohledu funkce svých složek. Byly naznačené situace, kdy některé složky nefungují správně. V následující kapitole bude ukázáno, jakými způsoby je zrak schopen různé dílčí nedostatky kompenzovat.

3 Vergenční adaptace

Vergenční adaptace představuje za normálních okolností velmi účinný mechanismus, jenž odlehčuje zátěž vergence při déletrvajících neměnných zrakových úkolech (například během čtení, při práci s počítačem a podobně).

3.1 Tonická vergence, fúzní vergence a adaptace

Navzdory v podstatě indiferentnímu chování TV během dne odhalila detailnější analýza krátkodobou změnu ve velikosti TV bezprostředně po změně ustálené fixace (například po delším čtení). Tato pozorovatelná změna TV dostala název *vergenční adaptace*. Experimentálně byl prokázán nárůst hodnoty TV po asi 15 minutách čtení, jejíž zvýšená amplituda přetrvala po celou zbývající dobu aktivity. S ukončením aktivity nastal zhruba tři minuty trvající pokles TV na původní (základní) hodnotu. Schor srovnával dobu poklesu hodnoty vergenční reakce ve dvou případech. Vyšetřovaná osoba binokulárně sledovala blízký objekt jednou po dobu pěti sekund a později po dobu jedné minuty. Po ukončení jednominutového čtení došlo ke znatelně pomalejšímu návratu (poklesu) hodnoty vergenční reakce na klidovou hodnotu TV než tomu bylo v případě kratšího pětisekundového čtení. Schor dál experimentoval a prokázal existenci dvou komponent fúzní vergenční reakce: *rychlé* a *pomalé* složky. [9]

Rychlá (reflexní) složka fúzní vergence je aktivována bezprostředně se zahájením sítnicové korespondence. Jejím úkolem je eliminovat sítnicovou disparitu a jemně doladit postavení pohledových os obou očí dle aktuálního vergenčního požadavku tak, aby bylo dosaženo *bifoveální fixace*. Doba působení rychlé fúzní složky vergenční reakce trvá několik sekund, přičemž simultánně s pozvolnou redukcí rychlé

složky dochází k nástupu **pomalé složky fúzní vergence** (tzv. *slow fusional vergence*) neboli složky adaptivní. V určitém okamžiku (přibližně po 10 sekundách od ustálené fixace) dojde k úplnému převzetí kontroly nad danou úrovní vergenční reakce pomalou fúzní složkou, která působí až do další případné změny velikosti vergence. Vergenční odezva je tedy po celou dobu trvání binokulární fixace přibližně konstantní (viz obr. 2). Amplituda pomalé složky fúzní vergence začne pozvolna klesat po ukončení aktuálního vergenčního požadavku. Krátkodobé zvýšení velikosti TV je přímým důsledkem tohoto pozvolného rozpadu. Nebylo prokázáno žádné bazální zvýšení inervace TV. [9]

Fisher a kol. ve svém zkoumání závislosti vergenční adaptace na době trvání stimulu dospěl k linearitě obou jevů. Čím déle určitý fúzní stimul trval, tím déle se hodnota vergenční reakce ovlivněna vergenční adaptací vracela na původní úroveň. Úplná eliminace adaptace na běžné vizuální podmínky může trvat i několik dní. [9]

V klinických podmínkách se místo vergenční adaptace často používá termín prizmatická adaptace. Prizmatickou čili vergenční adaptaci můžeme definovat jako jev, kdy nový vergenční stav při binokulárním pohledu přes aplikovaný prizmatický účinek po určité době znovu odpovídá stavu vergence před aplikací prizmatických čoček (tj. aplikací prizmat nebyla v konečném důsledku docílena žádná změna v postavení očí). [9]

Badatel Schor vytvořil komplexní model interakcí mezi jednotlivými komponenty akomodace a vergence. Specifikoval již zmíněné dva druhy fúzní vergence: rychlou- reflexní a pomalou- adaptivní složku. Pomocí tohoto modelu lze HTF definovat jako vergenční odchylku korigovanou **fúzní vergencí**. Pomalá složka fúzní vergence redukuje napětí (zátěž, abnormální požadavek) vytvořeno HTF v podmínkách binokulárního vidění. Součet účinku rychlé a pomalé složky tvoří celkový účinek fúzní vergence. Podle Schorova modelu může být fixační disparita výsledkem neúplné prizmatické adaptace a zastávat tak roli záměrné zbytkové odchylky s cílem udržovat vergenci. [9]

Funkční prizmatická adaptace může být schopna eliminovat poměrně veliký prizmatický požadavek. V Carterově studii [11] došlo u všech asymptomatických subjektů po době 15 minut k úplné adaptaci na prizmatický požadavek 32 pD s bází temporálně či 10 pD s bází nazálně. Následně byly subjektům změřeny křivky fixační disparity, fúzní rezervy (včetně negativních fúzních rezerv do dálky, které jsou velmi

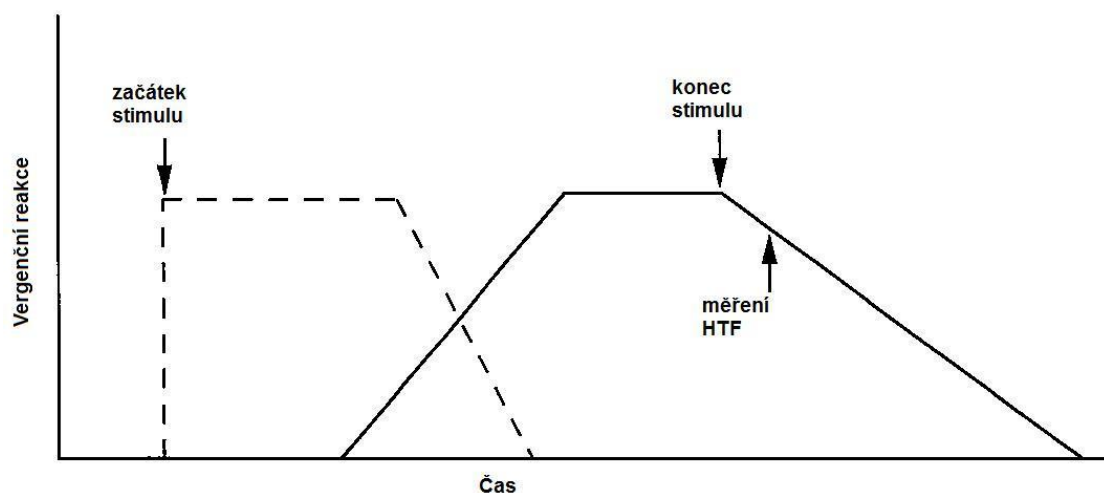
stabilní) a hodnoty HTF. Všechny výsledky byly podobné naměřeným hodnotám bez aplikovaných prizmat. Tato zjištění naznačují změnu okulomotorické pozice očí. [11] Působením vergenční adaptace proti prizmatickému požadavku tedy dochází k vytvoření nového „klidového vergenčního stavu“ tak, aby daný prizmatický požadavek co nejméně ovlivňoval *původní rozsah fúznívergence*. Vyjmutí prizmatické korekce uvedené velikosti v Carterově studii způsobí dočasný výpadek fúze (vznik diplopie) způsobený zejména déletrvajícím rozpadem pomalé složky fúznívergence (tzv. „*vergence aftereffects*“). Tento stav se zakrátko znormalizuje působením senzorických i motorických fúzních složek.

Carter popsal i jiný zajímavý případ- prizmatickou korekci asymptomatické hyperforie. Stávající korekce 1 pD byla po několika kontrolách opakovaně zvýšena, čili pacient (zdůrazněno asymptomatický) nakonec vlivem prizmatické adaptace bez potíží manifestoval hyperforii o velikosti 3,5 pD. Carter následně pacienta prizmatické korekce zbavil a po týdnu hodnota pacientovy hyperforie klesla na původní hodnotu bez jakýchkoli symptomů. [12]

Případy jedinců podobných zde popsaným vykazují robustní prizmatickou adaptaci. Klinicky jsou celkem snadno identifikovatelní. U nich se prizmaticky korigovaná odchylka (HTF, FD) spolehlivě vrací k původní hodnotě již po krátké době od aplikace korekce. Prizmatická korekce se tím stává nejen nefunkční, ale i kontraproduktivní. Carter předpokládal (a jiní jeho hypotézu později experimentálně potvrdili), že asymptomatictí jedinci disponují robustní vergenční adaptací a jsou tedy schopni se adaptovat nejrůznějším vergenčním podmínkám. Naopak jedinci s oslabenou vergenční adaptací ztrácejí na oslabené senzorické fúzi a stávají se symptomatickými. Tito jedinci profitují ze správně stanovené prizmatické korekce, přičemž k eliminaci jejího účinku vlivem oslabené adaptace většinou nedochází. North a Henson potvrdili a rozšířili tato zjištění o souvislost **pomalé složky fúznívergence**, která je hlavním nástrojem adaptace. [9]

Bylo prokázáno stupňování účinku prizmatické adaptace, pokud byla jednotlivá prizmata aplikována krokově a s malým rozdílem hodnot. S každým přibývajícím prizmatickým krokem dochází k uvolnění dalšího proporcionálního účinku adaptace, jež eliminuje daný prizmatický požadavek. Podobná situace reálně nastává v *presbyopickém věku*. Akomodační kapacita fyziologicky klesá a tím klesá i příspěvek akomodační konvergence na celkové vergenční reakci. Dochází tedy k zvýšené exoforii

do blízka. Zrakový systém musí využívat o to větší amplitudu pozitivní fúzní vergence k udržení binokulárního vidění. Bezproblémové dlouhodobé využití požadované amplitudy fúzní vergence je zprostředkováno její pomalou složkou. [9]



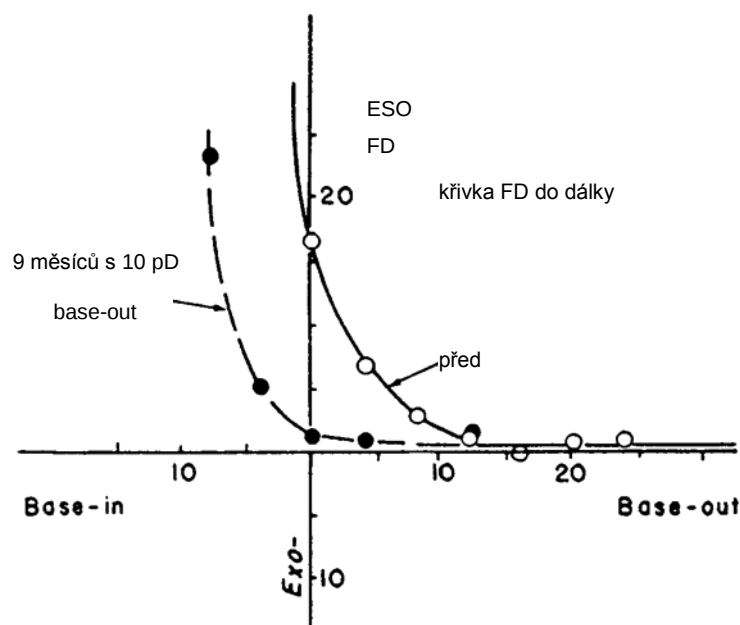
Obrázek 2: Schematický průběh prizmatické adaptace. [9] Přerušovanou čarou je vyznačen časový průběh rychlé složky fúzní vergence (začínající např. v okamžiku aplikace prizmat). Po určité době trvání fúze začne účinkovat i pomalá složka fúzní vergence (plná čára), jejíž nárůst je posléze doprovázen poměrně prudkou degradací účinku rychlé složky fúzní vergence (celková velikost vergenční reakce je po celou dobu trvání stimulu zhruba konstantní). Na konci doby trvání fúzního stimulu dochází k delšímu rozpadu pomalé fúzní složky, což se projeví dočasnou změnou velikosti naměřené HTF do blízka.

3. 2 Vergenční adaptace a fixační disparita

Fenomén vergenční adaptace lze pozorovat a zhodnotit i během měření **fixační disparity** (podmínky, za kterých lze měření provádět, a princip měření s využitím polarizace popisuje například autorova bakalářská práce [13] na str. 10-15). Předsazení prizmatické čočky bází orientovanou nazálně (base-in) ve fúzních podmínkách indukuje fixační disparitu typu eso. Tento jev je výsledkem kompenzace odklonu do oka dopadajícího světla směrem k bázi prizmatu. Pokud je vzniklá odchylka (fixační disparita) úhlově menší než rozsah Panumova areálu sítnice, binokulární vidění zůstává zachováno. Mohutná vergenční (prizmatická) adaptace se projeví po krátké časové době postupnou *eliminací* prizmaticky navozené fixační disparity na původní hodnotu.

Ogle a kolektiv pozoroval vergenční reakci v případech s vyšší hodnotou fixační disparity (bez prizmat). V těchto případech k adaptaci na korekční prizmata nedošlo (hodnota fixační disparity se tedy nevrátila na původní stav) ani po delší době nošení

korekce. V takovém případě prizmatická korekce plní svůj účel. Tyto nálezy potvrdily domněnku, že vergenční adaptace (přes svou pomalou fúzní složku) slouží ke zvýšení přesnosti vergenční reakce. [9] Vergenční adaptace je rozhodujícím faktorem ovlivňujícím tvar křivky fixační disparity (platí: čím robustnější adaptace, tím větší část křivky je *plošší*. Více informací v kapitole 6).



Obrázek 3: Slabá vergenční adaptace subjektu s vyšší hodnotou fixační disparity (hodnota $FD = \text{průsečík s osou „y“}$). [9] Křivka FD označená plnou čarou byla naměřena před aplikací prizmatické korekce (10 pD báze temporálně). Přerušovaně je znázorněna křivka FD naměřená přes danou korekci po devíti měsících. Prizmatická korekce byla úspěšná, neboť vlivem oslabené vergenční adaptace nedošlo k eliminaci prizmatického účinku korekce, což je znázorněno mimo jiné výrazným poklesem hodnoty FD na průsečíku novější křivky FD s osou y.

Existuje určitá polemika o skutečné funkci vergenční adaptace. Je jejím úkolem obnovit „výchozí“ binokulární stav za různých podmínek (například špatná centrace brýlové korekce) anebo slouží k minimalizaci velikosti fixační disparity? Mohli bychom se domnívat, že pokud úhlová odchylka od ortho pozice očí nepřesahuje okraj Panumova fúzního areálu, binokulární vidění bude fungovat bez potíží. Skutečnost je ale taková, že přítomnost fixační disparity zatěžuje fúzní (disparátní) složku vergence. Řešíme-li nestrabickou binokulární anomálii pomocí analýzy fixační disparity, nabízí se využití korekční hodnoty asociační forie. Tím bychom pomohli fúzní vergenci kompenzovat danou odchylku. Nicméně vyskytují se i případy, kdy můžeme fixační disparitu považovat za „úmyslnou“ chybu vergenčního systému sloužící k udržování jisté úrovně aktivity vergenční reakce (tzv. chybový model $FD - \text{steady-state error}$). V tomto případě by korekcí došlo k minimalizaci „signálu“ sloužícího vergenčnímu

systemu. Není jasné, zda korekce asociační forie eliminuje fixační disparitu skutečně na nulový účinek. Předpokládá se existence její redukované hodnoty, která se mění podle potřeb vergence.

3.3 Klinické využití poznatků o vergenční adaptaci

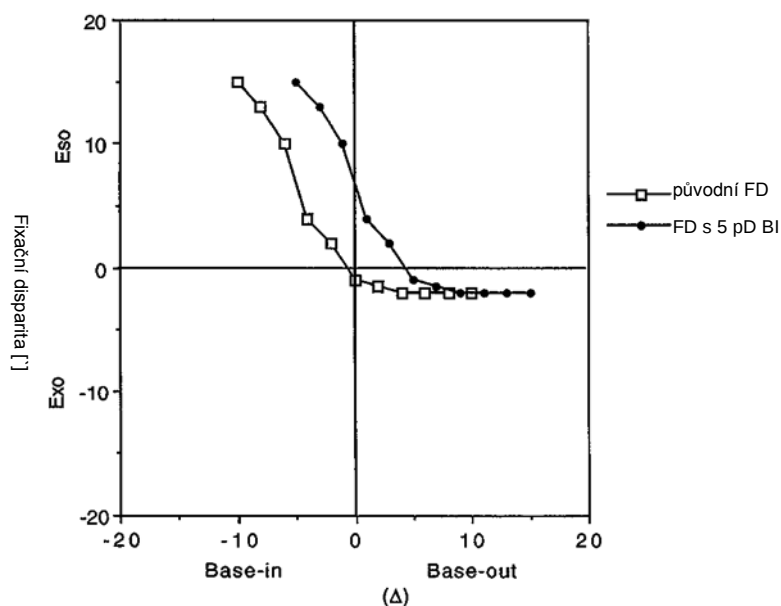
Podstatný rozdíl mezi symptomatickými a bezpříznakovými pacienty z hlediska vergenční adaptace tkví v její mohutnosti a funkci pomalé fúzní složky.

U jedinců s oslabenou nebo žádnou vergenční adaptací dochází k *deficienci pomalé fúzní složky*, a tak vergenční reakci musí po celou dobu trvání zrakové aktivity z hlediska adaptace udržovat pouze rychlá fúzní složka. Tento stav se dříve nebo později manifestuje subjektivními potížemi, které by měly odeznít po přerušení fúzních stimulů (např. okluzí jednoho oka).

Vergenční adaptace nemusí být oslabena v celém svém spektru, naopak často působí pouze v jednom směru. Příkladem je symptomatický pacient s křivkou II. typu (eso FD) nebo III. (exo FD) typu. Pacient s křivkou FD typu „eso“ (viz obr. 3) dovede často až extrémně dobře eliminovat rozsáhlé spektrum prizmatických hodnot s bází orientovanou temporálně, přičemž každý prizmatický krok bází nazálně indukuje znatelný nárůst fixační disparity typu „eso.“ Analogicky pacient s křivkou FD typu „exo“ bez problémů kompenzuje divergenční požadavky (base in), avšak problémy mu způsobují požadavky ke konvergenci (base out). Tento fenomén popsal americký optometrista Clifton M. Schor³ v roce 1979. [14] Podrobnější informace o jednotlivých typech a parametrech křivek FD se nacházejí v kapitole 6.

Schor společně s Hornerem zkoumali mohutnost vergenční adaptace pomocí posunu křivky fixační disparity, který vedl ke zvýšení hodnoty fixační disparity. V případě výskytu křivky II. typu (eso) zkoumali schopnost návratu hodnoty fixační disparity do výchozího stavu po předsazení 5 pD bází nazálně (base-in). Fungovala-li adaptace dostatečně, hodnoty indukované FD (i celá křivka) se záhy dostaly do původního stavu a prizmatické korekce tedy *nebylo zapotřebí* (viz obr. 4). Analogicky by se dalo postupovat v případě křivky III. typu (exo) předsazením 5 pD bází temporálně (base-out).

³ Professor of Vision Science and Optometry, University of California, Berkeley, USA



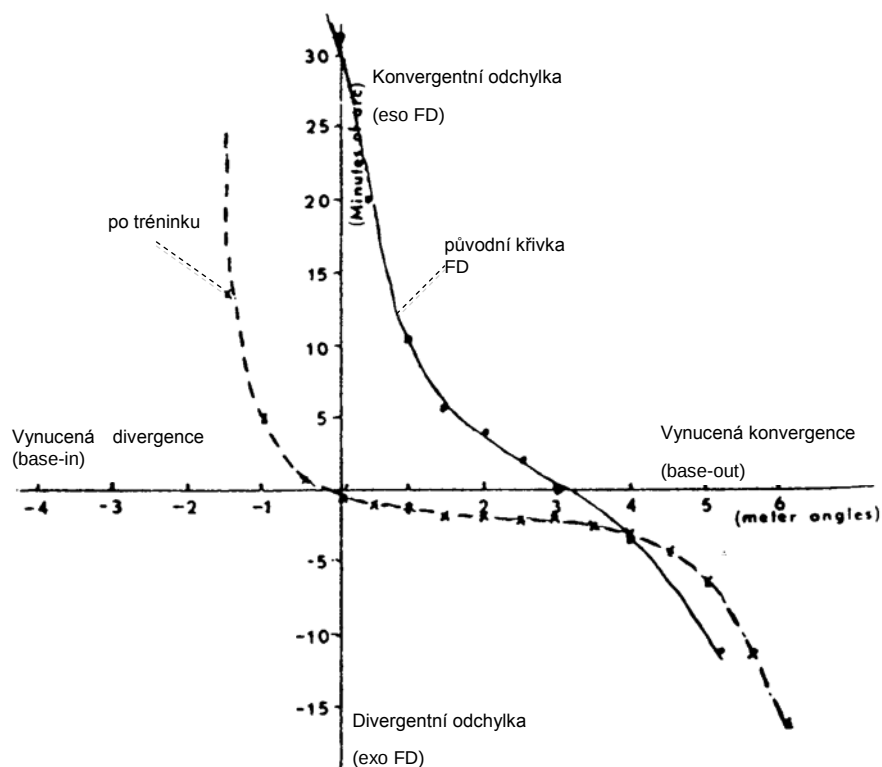
Obrázek 4: Příklad testu adaptace u křivky FD II. typu [9]. Po aplikaci 5 pD báží nazálně dochází k posunu celé původní křivky (křivka se čtverci) směrem doprava (křivka s černými kruhy). V případě oslabené adaptace zůstane křivka v nově vytvořené pozici, dochází k trvalému nárůstu hodnoty fixační disparity a tím ke zhoršení astenopických potíží. Jedinec s dostatečnou adaptací by měl po krátké době od aplikace daného vergenčního požadavku bez problémů manifestovat původní lokalizaci křivky (křivka s bílými čtverci).

V případě anomálie typu insuficience konvergence je díky velmi slabé úrovni adaptace na prizmata báží temporálně a nízké hodnotě AC/A poměru prizmatická korekce opodstatněná.

Úplně opačná situace nastává v případě konvergenčního excessu, kde vysoký AC/A poměr doprovází velmi účinnou vergenční adaptaci (ve většině případů je nemožné prizmaticky navodit FD typu exo). Účinná adaptace prakticky znemožňuje prizmatickou kompenzaci dané odchylky (excesu konvergence je věnována samostatná podkapitola v kapitole 5). [9]

3. 3. 1 Zrakový trénink a vergenční adaptace

Ortoptická cvičení a jejich vliv na vergenční adaptaci zkoumali mimo jiných i North a Henson. Skupiny pacientů trpících insuficiencí konvergence s oslabenou vergenční adaptací podrobili zrakovému tréninku a po jeho ukončení zjistili takové zlepšení adaptace, které odpovídalo průměrnému nálezu normálního binokulárního vidění. Své nálezy interpretovali pomocí *oploštění křivky FD*. Tento způsob je rozšířen dodnes. Na obrázku 5 je příklad zvýšené mohutnosti vergenční adaptace se sníženou bazální hodnotou fixační disparity a přesnější vergenční reakcí od Wicka. [9]



Obrázek 5: Křivka FD subjektu před (plná čára) a po zrakovém tréninku (přerušovaná čára). [9] Post-terapeutická křivka svým plošším tvarem znázorňuje výrazný nárůst mohutnosti adaptace a zároveň snížení hodnot FD a AF (průsečíky s osami y, x). U daného subjektu došlo k výraznému pokroku kompenzace anomálie.

3. 3. 2 Vergenční adaptace a její účinek na testy binokulárních funkcí

Úplný rozpad pomalé fúzní složky může trvat v závislosti od okolností i několik hodin. To může zkreslit i naměřenou hodnotu HTF (z důvodu krátkodobé změny TV). V praxi je proto nutné pro změření HTF zabezpečit podmínky pro rozpad co největší proporce pomalé fúzní složky. Veliká část fúzní vergence, jež svým pozvolným rozpadem může ovlivňovat hodnotu HTF, bývá eliminována do deseti minut od počátku disociace vjemů obou očí. Nenaroste-li hodnota HTF do této doby, lze tuto hodnotu deviace považovat za konečnou. Metoda stanovení skutečné hodnoty HTF mívá zásadní význam při diagnostice nestrabických anomálií binokulárního vidění se závažnějšími symptomy. [9]

Měření fúzních rezerv bývá rovněž ovlivněno aktivací adaptačních mechanismů. Měření následující je ovlivněno posunem výchozí pozice očí po předcházejícím měření z důvodu adaptace na jednostranný fúzní požadavek. Z tohoto hlediska vzniklo doporučení měřit nejdříve kompenzační fúzní směr k dané odchylce (u exoforie to bude pozitivní fúzní vergence pomocí base-out prizmat, u esoforie měříme negativní fúzní

rezervy pomocí prizmat s bázemi nazálně). Ideální je změřit úplně nejdříve hodnoty HTF či FD. Toto pořadí zabezpečí měření nezkreslených hodnot, které kompenzují danou odchylku. [12]

Vergenční adaptace ovlivňuje i výsledky opakovaného měření blízkého bodu konvergence. Příkladem tohoto jevu bývá přechodný posun heteroforie do dálky ve směru „eso“ po opakovaném měření blízkého bodu konvergence. [9]

3. 3. 3 Vergenční adaptace během měření křivky fixační disparity

Efekt dostatečně mohutné vergenční adaptace na aplikaci prizmat je známý a v této práci patrně již dostatečně popsán. Během vyšetřování hodnot pro křivku FD je vhodné minimalizovat příležitosti pro vznik vergenční adaptace, poněvadž adaptační aktivita byla prokázána téměř ihned po ustálení binokulárního pohledu. Mezi tyto opatření patří přerušení fúze mezi jednotlivými měřenými kroky na dobu alespoň 15 sekund a střídání směru působení vergenčního požadavku. Polak a Jones [9] za účelem minimalizace vlivu adaptace navrhli po každém prizmatickém kroku na chvíli obnovit binokulární fixaci bez předsazeného prizmatu.

Mohlo by se zdát logické nechat adaptaci zasahovat do celého procesu měření bez zábran. Je-li adaptace schopna po krátké době „vynulovat“ téměř jakýkoliv prizmaticky navozený účinek, pak nelze než konstatovat, že napomáhá zraku dosáhnout co nejpřesnější vergenční reakci za všech okolností. Problém této úvahy však pramení právě z dané extrémní schopnosti adaptace. Není totiž možno zjistit, nakolik by byl následující měřený prizmatický krok ovlivněn adaptací vzniklou na ten předešlý. Měření křivky FD, kde by každý krok byl z hlediska adaptace úplně izolován od kroku předešlého, by spotřebovalo značnou časovou dotaci. Proto je z klinického hlediska nejefektivnější zvolit metodiku časově symetrických přerušení fúze mezi jednotlivými kroky měření a systematicky měnit směr působení prizmatického požadavku. Mohutná adaptace sice přesto naměřené hodnoty do určité míry ovlivní (tedy oproti účinku prizmat sníží), avšak míra ovlivnění bude pro každý krok přibližně stejná. Díky tomu budou zpracováním naměřených dat získány parametry křivky FD spolehlivě odpovídající realitě. [9]

3.3.4 Vergenční adaptace a prizmatická korekce

V případě předpisu prizmatické korekce by měla být vždycky posouzena míra prizmatické adaptace. Existují principiálně dva způsoby jak zjistit míru ovlivnění korekce prizmatickou adaptací. Jedním je opakované měření HTF (ještě lépe FD) alespoň dvacet minut po aplikaci dané prizmatické korekce. Během této adaptační doby subjekt standardně vykonává libovolné vizuální úkony s nasazenou korekcí. Bude-li hodnota zkoumané veličiny (HTF či FD) ve srovnání s původní hodnotou před prizmatickou korekcí v zásadě stejná, došlo k adaptaci na danou prizmatickou korekci a tuto není vhodné použít.

Alternativní způsob vyhodnocení vlivu adaptace představuje měření skutečné velikosti HTF (v absenci pomalé složky fúznívergence). Tento způsob předpokládá monokulární okluzi, tj. absenci jakéhokoli fúzního stimulu. Je popsán na začátku podkapitoly 3.3.2. Na místě je zde připomenout i test adaptace pomocí křivky FD (obr. 4).

3.4 Shrnutí významu pomalé fúzní složky

Dlouholetý výzkum v oblasti jednotlivých složekvergence i adaptace zrakového systému potvrdil jako hlavní mechanismus udržování potřebné vergenční reakce pomalou složku fúznívergence. Ta je obvykle extrémně účinná při plnění z fixačního hlediska pestrých vizuálních úkolů, které dnešní doba přináší. S absencí nebo slabou funkcí pomalé fúzní složky úzce souvisí existence subjektivních potíží. Pozitivem je prokázání možnosti zvýšit účinnost pomalé složky pomocí zrakového tréninku. Z hlediska určování vhodnosti prizmatické korekce dosahuje posouzení vergenční adaptace, jejíž hlavním funkčním projevem je pomalá fúzní složka, kritického významu. [9]

4 Akomodačně-vergenční interakce

Anomálie binokulárního vidění vznikají na multifaktoriálním podkladu tvořeném abnormální tonickou vergencí, nevyváženými interakcemivergence, proximálnívergence a akomodace, případně kvůli deficitní vergenční (prizmatické)

adaptaci. Mnohé výzkumy ukazují omezení standardních vyšetřovacích technik, které limitují zkoumání některých důležitých složek binokulárního vidění. Nové a dosud ve velmi malé míře klinicky aplikované poznatky o vzájemném působení proximální konvergence, hloubky ostrosti, akomodační odezvy a tonické vergence jsou součástí integrativní analýzy binokulárního vidění. Tato analýza spočívá v testování a managementu daného stavu na základě klinického nálezu specifických parametrů popsaných v kapitole 1.4. Integrativní analýza představuje účinný nástroj pro diagnostiku anomálií binokulárního vidění a v kombinaci se sofistikovanými metodami korekce (kap. 1.5) umožňuje zkušenému odborníkovi vyřešit svým klientům mnoho nepříjemných potíží s viděním.

Současné praktiky zkoumání binokulárního vidění (problémem je v první řadě četnost daných praktik) by měly probíhat v asociovaných (fúzních) podmínkách. Rozdíly naměřených parametrů pomocí disociovaných (HTF) a asociovaných (fúzních) technik jsou způsobeny absencí podílu fúzní vergence, vergenční adaptace a poměrem CA/C. Nově prokázaný vliv zvláště na proces binokulárního vidění do blízka zastává proximální vergence. [15]

4.1 Hloubka ostrosti a akomodační odezva

Malé akomodační stimuly do určité fixační vzdálenosti nevyvolávají změnu akomodace. Děje se tak s přispěním hloubky ostrosti oka. Ta je ovlivněna zejména průměrem pupily a průměrem čípku (ten udává maximální velikost rozptylového kroužku na sítnici, který ještě bude vnímán jako ostrý). Díky hloubce ostrosti pro prvních cca. 0,75 D akomodačního stimulu nedochází ke změně akomodační odezvy. Typicky pro akomodační stimul ze vzdálenosti 40 cm (tj. 2,5 D) vzniká odezva (výkon) o velikosti asi 1,5 D. Jak bylo zmíněno v předešlých kapitolách, amplituda odezvy se může měnit v závislosti na tom, jestli je potřeba změnou akomodační konvergence podpořit pozitivní či negativní fúzní vergenci. Akomodační odezvu lze změřit metodou dynamické skiaskopie (tj. skiaskopie při zapojené akomodaci). [15]

4.2 Proximální vergence

Proximální vergence (PV) je složka vergenční reakce vyvolána vědomím blízkosti pozorovaného objektu. Pravděpodobně poskytuje první vergenční komponent při fixaci blízkého objektu. Podíl PV na plnění vergenčního požadavku pro blízký pohled může dosáhnout až 70%. Navíc rychlost reakce PV při změně fixace převyšuje rychlost složek fúzní vergence, čili PV je hlavním činitelem celkové vergenční reakce během změny fixace z dálky do blízka. PV nastavuje pohledové osy očí do foveálních rovin (motorická fúze), kde složky fúzní vergence v součinnosti s akomodační konvergencí tyto osy dále jemně doladí. Klinicky lze velikost PV změřit pomocí techniky prizmatické neutralizace HTF s použitím stenopeických clon (eliminace vlivu akomodační a fúzní konvergence) pro různé fixační vzdálenosti (2; 1; 0,5 a 0,25 m). [15]

4.3 AC/A poměr

Zjištění hodnoty AC/A poměru otvírá pohled do hloubky vztahu vergence a akomodace. Tradičními metodami měříme tzv. *stimulový* AC/A poměr, jenž vychází z předpokladu stejné amplitudy akomodační reakce k akomodačnímu stimulu. Typická akomodační odezva je ovšem nižší hodnoty. Proto existují metody k změření tzv. *reakčního* AC/A poměru, který bere v úvahu nižší akomodační odezvu. Jeho hodnota je proto oproti stimulovému AC/A poměru vyšší zhruba o deset procent.

Vzhledem k tomu, že měření AC/A poměru by mělo patřit k rutinním procedurám, je vhodné jej měřit co možná nejpřesněji. K tomu slouží u nás častěji využívaná *gradientní metoda*. Tato metoda vyvolává změnu akomodačního stimulu pomocí sférických čoček. Indukované změny vergence měříme buď na Thoringtonově testu pomocí disociace fúze Maddoxovým cylindrem anebo pomocí vertikální prizmatické disociace (Von Graefeho technika). U gradientní metody měření je preferované použití minusových sférických čoček před plusovými. Minusové čočky navozují akomodaci v oblasti lineárního průběhu akomodační reakce na stimul (efekt hloubky ostrosti se totiž nejvíce projevuje při relaxaci akomodace na danou vzdálenost pomocí plusových čoček). Jiným, u nás zatím málo rozšířeným postupem měření AC/A

poměru je **kalkulovaná metoda**. [15] Pro výpočet AC/A poměru je potřebné změřit následující údaje:

- PD (pupilární distance) v [cm]
- FVB (fixační vzdálenost do blízka pro měření HTF) v [m]
- HTF b (hodnota heteroforie do blízka, eso: kladná; exo: záporná)
- HTF d (hodnota heteroforie do dálky, eso: kladná; exo: záporná)

Naměřené údaje dosadíme do vzorce pro výpočet AC/A poměru:

$$AC/A = PD + FVB \times (HTF\ b - HTF\ d) \quad [16]$$

Kalkulovaná metoda na rozdíl od metody gradientní zahrnuje vliv *proximální vergence* (prostřednictvím rozdílu naměřených hodnot HTF do dálky i blízka). Navíc výpočet není zkreslen o rozdíl ve velikosti akomodačního stimulu a odezvy, jelikož nedochází k žádným změnám akomodačního požadavku. Scheiman a Wick, autoři jedné z nejznámějších knih o anomáliích binokulárního vidění, [10] doporučují pro účely diagnostiky a managementu binokulárních potíží přednostně používat kalkulovanou metodu. [15]

V praktické části této práce (kapitola 6) je testována metoda měření AC/A poměru pomocí křivek fixační disparity. Tato metoda by vzhledem k započtení vlivů fúzní vergence a konvergenční akomodace měla nejvíce odpovídat reálným zrakovým podmínkám.

4.4 CA/C poměr

CA/C poměr udává množství akomodace, jež bylo vyvoláno jednotkovou konvergencí. Normální hodnota u mladého člověka je přibližně **0,5 D/MA** (dioptrií na metrový úhel- viz kap. 2; 1 MA= cca 6 pD). Hodnota CA/C s věkem klesá, v presbyopii společně se ztrátou schopnosti akomodace se stává nulová. Konvergence při pohledu do blízka na 40 cm (což odpovídá 2,5 MA) indukuje přes normální hodnotu CA/C poměru asi 1,25 D konvergenční akomodace, což zhruba odpovídá velikosti akomodační odezvy na danou vzdálenost. Drobné odchylky dokoriguje reflexní složka akomodace aktivací akomodačního mechanismu při rozostření obrazu na sítnici. Zvýšená hodnota CA/C poměru může znamenat vyšší celkovou odezvu akomodace než je stimul. Abnormální akomodační reakci lze korigovat kladnou sférickou adicí. [15]

CA/C poměr pravděpodobně stojí za zvýšenou binokulární akomodační kapacitou ve srovnání s kapacitou monokulární. Konvergence při dosažení blízkého bodu akomodace může vyvolat až dalších 0,5 D akomodace. [15]

4.5 Vztah konvergenční akomodace, akomodační konvergence a fúzní vergence

Při udržování konstantní úrovně akomodace se amplitudy akomodační konvergence (AK) a fúzní vergence mění ve *vzájemně opačném* směru. Naroste-li amplituda fúzní vergence, sníží se hodnota akomodační konvergence a vice versa. Akomodační systém je tedy s vergenčním systémem propojen mechanismem negativní zpětné vazby. Vzájemná závislost je určena poměry AC/A a CA/C. Každá vergenční reakce, která je spojena s činností akomodačních složek, je ovlivněna interakcemi složek z obou okruhů. Oči při pohledu do blízka konvergují vlivem synergie proximální, akomodační a fúzní konvergence. Výsledná *konvergence* stimuluje i určité množství konvergenční *akomodace* (KA), které se přidá k reflexní akomodaci. Pro udržení ostrosti musí dojít k poklesu amplitudy reflexní akomodace. Tento pokles se vlivem vazeb projeví na poklesu akomodační konvergence. K vyrovnání vergenčního deficitu dojde buď nárůstem fúzní konvergence anebo dojde tentokrát k mírně excesivnímu nárůstu akomodační konvergence a fúzní vergence bude poté působit proti AK. Pomocí těchto interakcí lze vysvětlit například přítomnost FD typu eso u jedince s exoforií. (tzv. paradoxní FD). V případech hrubě nevyvážených interakcí zde popsaných pomáhá odstranit subjektivní potíže kladná sférická adice navzdory standardnímu klinickému směřování k managementu exoforie. [15]

Během klinického vyšetření binokulárního vidění ve fúzních podmínkách nejsou fúzní a akomodační vergence posuzovány izolovaně. Experimentálně byly tyto dvě provázané složky vergence odděleny (pomocí stenopeických clon). Tímto způsobem modifikované testování fixační disparity do blízka ukázalo, že akomodační interakce mohou tvořit **až 50 %** celkové vergenční odpovědi. Toto zjištění potvrzuje teorii o účasti akomodačních abnormalit na vergenčních poruchách. [15]

Jedním z nejkompexnějších nástrojů pro hodnocení binokulárních funkcí do blízka, který zahrnuje zmíněné interakce akomodačně-vergenčních složek, je analýza

křivky fixační disparity. Výsledek ukáže jak zbytkovou binokulární odchylku (fixační disparitu), tak schopnost zraku čelit různým zátěžovým situacím vergenčního i akomodačního systému.

5 Přehled nestrabických poruch binokulárního vidění

5.1 Klasifikace

Tabulka 2: Klasifikace nestrabických vergenčních poruch dle Wicka. [17]. Tlustě jsou vyznačeny poruchy projevující se primárně při pohledu do blízka, mohou se však projevovat i do dálky. Podtržený typ odchylky znamená, že daná odchylka je významnější než odchylka nepodtržená.

Poruchy s nízkým AC/A poměrem:

- a. dálka- ortho/exo < exoforie-blízko → **insuficience konvergence**
- b. dálka- eso > ortho/esoforie- blízko → **insuficience divergence**

Poruchy s normálním AC/A poměrem:

- c. dálka- exoforie ≈ exoforie- blízko → **základní exoforie**
- d. dálka- esoforie ≈ esoforie- blízko → **základní esoforie**
- e. dálka i blízko- exo/ortho/eso → **dysfunkce fúznívergence**

Poruchy s vysokým AC/A poměrem:

- f. dálka- ortho/eso < esoforie-blízko → **exces konvergence**
- g. dálka- exoforie > ortho/exoforie-blízko → **exces divergence**

Vertikální poruchy:

- h. pravostranná hyperforie (levostranná hypoforie)
 - i. levostranná hyperforie (pravostranná hypoforie)
-

Moderní klasifikace nestrabických poruch vznikla rozšířením původní Duanovy klasifikace pro strabismus, která obsahovala pouze čtyři poruchy: exces konvergence, exces divergence, insuficienci konvergence a insuficienci divergence.

Postupem času se objevily nedostatky se zařazením poruch s podobnou velikostí odchylky do blízka i do dálky nebo syndrom dysfunkce fúzní vergence, a tak byla klasifikace o tyto poruchy modifikována. Podobně se přidružily i akomodační léze. Všeobecná klasifikace tedy zahrnuje binokulární, akomodační i okulomotorické anomálie. Pro účely klasifikace nestrabických vergenčních poruch slouží rozdělení dle Wicka v tabulce 2. [17] Toto rozdělení nezahrnuje klasifikaci akomodačních anomálií. Těžištěm klasifikace je AC/A poměr, jehož velikost určuje základní klasifikační skupiny. Z hlediska různorodosti projevů některých klasifikovaných odchylek je nutno tyto dál rozlišovat na dva druhy koexistujících anomálií, například v případě excesu konvergence. Exces konvergence tedy dělíme na dva druhy podle orthoforie/ esoforie do dálky.

5. 2 Poruchy binokulárního vidění s nízkým AC/A poměrem

5. 2. 1 Insuficience konvergence

Úvod a charakteristické projevy

Nestrabická forma insuficience konvergence (IK neboli nedostatečné konvergence) je binokulární vergenční anomálie charakterizovaná nízkou amplitudou *akomodační konvergence*, orthoforií nebo exoforií do dálky a střední až velkou exoforií do blízka. Odchylka do blízka bývá podstatně větší než odchylka do dálky (přitom odchylka do dálky nemusí existovat).

Tabulka 3: Symptomy spojené s insuficiencí konvergence [18]

astenopické potíže, bolesti hlavy	text se pohybuje
intermitentní rozmazání i diplopie	pomalé čtení
zhoršování symptomů během dne	pocit ospalosti během čtení
zvýšené slzení a pocit pálení očí	snížená schopnost porozumění čteného textu
potíže s delší koncentrací	

Je-li přítomna větší exoforie i do dálky, symptomy uvedené v tabulce 3 se mohou projevovat i při pohledu do dálky (např. během řízení automobilu).

Klinicky definujeme IK tehdy, pokud existují následující znaky: exoforie do blízka (odchylka do dálky pouze malá příp. žádná), vzdálený *blízký bod konvergence*, redukováná amplituda PFV a nízký AC/A poměr. Odborníci na základě velkého množství případů IK určili bližší standardizaci doprovodných klinických znaků: výskyt vzdáleného NPC současně s minimálně třemi dalšími znaky z kategorie: přímé/ nepřímé měření PFV, exoforie (blízko > dálka), nízký AC/A poměr. Autoři těchto standardů vyzkoumali 1 650 dětí s prevalencí IK na úrovni 5,3%. [18]

Většina jedinců s potvrzenou IK trpí některými symptomy uvedenými v tabulce 3. Existují i případy asymptomatické, nejčastěji z důvodu suprese. Někteří jedinci se jednoduše vyhýbají činnostem pojícím se s výskytem symptomů, případně si zakrývají jedno oko.

Hodnota blízkého bodu konvergence (NPC) by neměla přesahovat 7 cm při opětovné fúzi (angl. *recovery*) rozdvojeného vjemu. Tradiční způsob měření NPC plynulým přibližováním fixačního předmětu po okamžik rozdvojení je potřeba 4-5 krát v rychlém sledu zopakovat. Malé prodloužení naměřené vzdálenosti po opakovaném měření NPC je normální. Pickwell a kol. popsal alternativní postup k hodnocení schopnosti maximální konvergence. Pacient střídavě fixuje bod vzdálený 6 cm a 15 cm od kořene nosu. Autoři oznámili větší citlivost procedury pro zjištění IK (dochází k velkým prodlevám až k neschopnosti fixovat bližší bod).

Kalkulovaný AC/A poměr menší než 3:1 je považován rovněž za pozitivní nález.

Testy zkoumající PFV odhalí snížené hodnoty. Jak přímé (fúzní rezervy base-out, vergenční facilita zhoršená/nemožná s base-out, vzdálený NPC) tak nepřímé (NRA, binokulární akomodační facilita, MEM). Je-li přítomen akomodační spasmus/exces, bude nemožná i monokulární akomodační facilita. Snížená hodnota MEM retinoskopie dokládá snahu akomodačního systému vyvinout co nejvyšší výkon za účelem zvýšení amplitudy akomodační konvergence.

V literatuře lze najít seznam patologických nemocí a stavů, které je potřeba na základě diferenciální diagnostiky vyloučit (např. Parkinsonova nemoc, virové infekce,

demyelinizace a roztroušená skleróza a jiné). Samotná IK má chronický charakter a není doprovázena žádnou skrytou patologií. [18]

Tabulka 4: Klinické znaky insuficience konvergence [18]

střední až velká exoforie s možností výskytu intermitentní exotropie do blízka
redukováná <i>pozitivní fúzní vergence</i> (PFV) do blízka
omezená <i>vergenční facilita</i> (VF) do blízka s prizmatem s bází temporálně (base out)
intermitentní suprese do blízka
vzdálený <i>blízký bod konvergence</i> (NPC)
nízký AC/A poměr
omezená binokulární <i>akomodační facilita</i> (BAF) s plusovými čočkami
snížená hodnota měření <i>akomodační odezvy</i> (MEM, metoda zkřížených cylindrů)
snížená hodnota <i>negativní relativní akomodace</i>
<i>fixační disparita</i> typu exo

Speciálním případem IK bývá tzv. *pseudosuficience konvergence* (neboli nepravá IK). Na rozdíl od „pravé“ IK příčina stavu vychází z oslabeného akomodačního systému, jenž využívá k minimalizaci potřebné úrovně akomodace hloubku ostrosti. Oslabená akomodace snižuje příspěvek akomodační konvergence, což se projeví výraznější exoforií do blízka. Klinický nález tedy vypadá jako snaha o *minimální* akomodaci (vysoká hodnota MEM retinoskopie), což je přesný opak nálezu u „pravé“ IK. Snížený podíl akomodační konvergence vytváří nadměrnou zátěž pro PFV (a způsobí tím snížení hodnot testů PFV stejně jako v případě IK). Klíčové rozdíly oproti IK jsou v amplitudě akomodačního výkonu a v dalších testech stimulujících akomodaci. Snížené hodnoty naznačují pseudosuficienci konvergence. V případě potvrzení výskytu se tento stav řeší *kladnou adicí* na blízko spolu s vhodným zrakovým tréninkem (zlepšení akomodační reakce). Po úspěšném ukončení tréninku se amplitudy HTF i PFV do blízka znormalizují. [18] [19]

Management insuficience konvergence

Přestože má optická korekce ametropie pouze malý účinek na samotnou IK, korekci případné malé refrakční vady se doporučuje použít kvůli refrakční rovnováze

obou očí a co nejsilnějšímu fúznímu podnětu. V případě kombinace anizometropie (rozdílné refrakce očí) větší než 0,5 D spolu s IK by měla být korekce trvale nošena. Výskyt nízkého stupně myopie může svědčit o akomodačním spasmu z důvodu snahy akomodační konvergence o kompenzaci IK. Doporučuje se *cykloplegická refrakce*. Potvrdí-li se akomodační spasmus, korekce indukované myopie je kontraindikována. Naopak, po vyloučení latentní akomodace je jakákoli korekce myopie doporučována (korekce pak posílí akomodační konvergenci a tím pomáhá působit proti odchylce).

IK je klinicky dobře rozeznatelná anomálie, bez problémů ji lze odlišit od jiných „exo“ odchylek.

V případě IK u hypermetropa dochází vlivem plusové korekce k zhoršení klinických příznaků. Zejména větší hodnota hypermetropie po korekci může být tím faktorem, který přes snížení amplitudy akomodační konvergence iniciuje manifestaci nebo zhoršení symptomů IK. V takových případech je potřeba rozhodnout, zda nechat nekorigovanou hypermetropii kompenzovat IK nebo je potřeba řešit každý problém individuálně.

Prvním krokem řešení jakékoli vergenční anomálie je kontrola a případná prizmatická korekce **vertikální odchylky**. Tím dalším by měl být v případě IK *zrakový trénink*. Nejjednodušším a přitom efektivním začátkem je tzv. „pencil push-ups“ (opakované sledování přibližujícího se předmětu od natažené ruce směrem k nosu až do rozdvojení). Zajímavá je odborná polemika o aplikaci korekčního prizmatu base-in. Tento krok se doporučuje v případě, že zrakový trénink selže, případně odmítne-li pacient zrakový trénink přijmout. Vhodnost a velikost prizmatické korekce se doporučuje stanovit pomocí *analýzy fixační disparity* při pohledu do blízka. [18]

Pacienti s IK v presbyopickém věku nejsou žádným způsobem znevýhodněni, proto není na místě jejich problémy způsobené IK ignorovat. Není totiž pravdou, že zrakový trénink u těchto pacientů nefunguje. Bylo prokázáno, že funguje. Management presbyopů by měl vycházet ze stejných kroků, jaké platí pro pre-presbyopy. Navíc presbyopičtí pacienti jsou často lépe motivovaní a mnohdy patří k těm nejefektivněji řešitelným případům IK. [18] Speciálním případem IK v souvislosti s presbyopií je výskyt dočasné IK. K tomuto jevu může dojít během návyku na první presbyopickou korekci vlivem částečné eliminace akomodační konvergence, což může vést k dekompenzaci exoforie do blízka. [20]

Závěrem k IK je na místě zdůraznit, že pro tuto nejčastěji se vyskytující binokulární vergenční anomálii je nezávisle na věku excelentní volbou řešení zrakový trénink. [18]

5. 2. 2 Insuficience divergence

Insuficience divergence patří do kategorie anomálií s nízkým AC/A poměrem. Jedná se o vergenční anomálii typu eso, jež se projevuje při pohledu do dálky, a tudíž nebude dále v této práci popisována.

5. 3 Poruchy s vysokým AC/A poměrem

Do kategorie nestrabických vergenčních anomálií s vysokým AC/A poměrem patří exces konvergence a exces divergence. Společným rysem obou vad je jejich účinná redukce pomocí sférického účinku.

5. 3. 1 Exces konvergence (EK)

Úvod a charakteristika

Exces konvergence je binokulární stav charakterizovaný výskytem esoforie do blízka, orthoforií nebo esofoří do dálky (jejíž hodnota je podstatně menší než odchylka do blízka), redukovanou negativní fúzní rezervou (NFV) a vysokým AC/A poměrem. Statisticky se jedná o jednu z nejrozšířenějších vergenčních anomálií v populaci.

Symptomy se objevují zejména při práci do blízka. Mezi typické patří: únava očí a bolesti hlavy krátce po začátku činnosti, rozmazané vidění, diplopie, ospalost, nesoustředěnost a problémy s porozuměním textu, které se s přibývajícím časem zhoršují. Někteří jedinci mohou být na první pohled asymptomatictí. Děje se tak zejména z důvodu suprese, vyhýbání se práci do blízka či pomocí okluze jednoho oka. [21]

Přítomnost EK je z klinického hlediska charakterizována hodnotami kalkulovaného AC/A poměru vyššími než 7:1, dále rozdílem amplitudy esoforie do dálky a blízka od 3 (a víc) pD.

Přímé testy NFV (viz tabulka 5) vykazují oproti normálnímu nálezu *snížené* hodnoty. Stejná situace platí i pro nepřímé testy NFV. Nízká hodnota pozitivní relativní akomodace (PRA) i rozdvojení během BAF s -2 D svědčí o tak velké změně stupně konvergence vzniklé zvýšením akomodačního požadavku, kterou negativní fúzní vergence není schopna vykompenzovat. Výsledek dokumentuje i vysoká kladná hodnota MEM retinoskopie, jež odhaluje snahu pacienta *co nejméně* akomodovat a tím redukovat zátěž na NFV. [21]

Tabulka 5: Klinické znaky excessu konvergence [21]

esoforie do blízka větší než do dálky	Nepřímé testy NFV:
vysoký AC/A poměr	nízká hodnota PRA
hypermetropie	vysoká hodnota MEM retinoskopie
Přímé testy NFV:	binok. akomodační facilita selhává s -2,0 D
redukováná hodnota NFV	

Management excessu konvergence

Vyskytuje-li se EK *současně s hypermetropií*, jedná se o příznivý stav. Díky vyšší hodnotě AC/A poměru dojde při vykorigování hypermetropie současně ke snížení amplitudy esoforie.

V případech velké a špatně kompenzované odchylky do blízka se může vyskytovat intermitentní esotropie. Prvním krokem při existenci symptomů je obecně kontrola eventuální vertikální odchylky. Dalším důležitým faktorem pro zvolení správné korekce je stav tonické vergence, která determinuje HTF do dálky. Vyskytuje-li se eso odchylka i do dálky, dochází tím k zhoršení stavu do blízka a většinou je potřebné eliminovat odchylku do dálky pomocí prizmatické korekce. Korekční prizmatickou hodnotu lze nejefektivněji určit pomocí analýzy fixační disparity.

Pokud je exces konvergence spojen s normální hodnotou tonické vergence (tj. žádnou nebo pouze minimální eso deviací do dálky), prizmatická korekce do dálky většinou není nutná. V těchto případech stačí vyřešit primární problematickou oblast- eso odchylku při pohledu do blízka, nejlépe pomocí *kladné sférické adice*.

Důležitá je rovněž hodnota NFV. Je-li amplituda esoforie vzhledem k oslabené divergentní (negativní) fúzní rezervě příliš velká, pacient zřejmě nebude s brýlovou korekcí úplně spokojen. V takovém případě je potřebné zahájit vhodný zrakový trénink. [21]

Exces konvergence, stejně jako jiné nestrabické vergenční anomálie, patří k benigním stavům bez jakýchkoli vážných zdravotních komplikací. Je důležité vyloučit veškerou potencionální patologickou souvislost. K tomu nejlépe slouží důkladná anamnéza. Samotný EK bývá doprovázen chronickými projevy s negativní zdravotní anamnézou. Nález podobný EK vykazují některé akomodační anomálie (exces/spasmus akomodace). Neúspěšná monokulární akomodační facilita (v případě EK normální) odhalí akomodační etiologii.

Jak již bylo zmíněno, důležitá je korekce refrakční vady. Často se EK vyskytuje právě ve spojitosti s hypermetropií. Plná korekce je na místě, v případě zvýšené tonické vergence (esoforie do dálky) se doporučuje *cykloplegická refrakce*. Odpovídá-li nález skupiny parametrů NFV tomu, který je uveden v tabulce 5, korekce anomálie pomocí kladné sférické adice do blízka je ideální volbou. I když je AC/A poměr důležitý faktor, je vhodné brát v úvahu i další související parametry. Adice se aplikuje podle zásady: „nejslabší plusová hodnota, které eliminuje symptomy a normalizuje optometrická data.“ Hodnotu adice je vhodné ověřit pomocí analýzy křivky fixační disparity. Korekce může změnit odchylku do blízka i do směru exo (například exo FD). Je důležité, aby odezněly symptomy a sledované parametry vykazovaly normální hodnoty (ty nemusí být za každou cenu nulové). K tomu je v případě výskytu symptomů i do dálky často potřeba ještě aplikace prizmatické korekce. Může se stát, že ani zmíněné možnosti brýlové korekce nebudou vést k úplné spokojenosti pacienta. Správným východiskem v takové situaci je zrakový trénink.

Prognóza úspěšného zvládnutí excessu konvergence je zejména díky možnosti integrace trojice různých korekčních metod výborná. [21]

5. 3. 2 Exces divergence

Exces divergence patří do kategorie vergenčních anomálií s vysokým AC/A poměrem. Projevuje se při pohledu do dálky a obsahově proto nespadá do zaměření této práce.

5. 4 Poruchy s normálním AC/A poměrem

5. 4. 1 Klasifikace

Do této kategorie řadíme tři odchylky: [22]

- dysfunkce fúznívergence
- základní esofovie
- základní exofovie

Mezi charakteristické rysy společné pro dané odchylky patří *normální rozsah* AC/A poměru, tj. $4:1 \pm 2$ (v závislosti od použité metody). Tento stav umožňuje řešit danou odchylku pomocí prizmat, zrakového tréninku i pomocí sférické adice, která ale není tak efektivní jako v případě anomálií s vysokým AC/A poměrem. První volbou zůstává optická korekce refrakční vady. Všeobecně korekce hypermetropie sníží případnou esofoviu a myopická korekce působí vice versa. Dalším všeobecným krokem by měla být korekce případné vertikální odchylky, nejlépe pomocí hodnoty *asociační forie*. Použití horizontálních prizmat bude efektivnější v případě základní esofovie, u exofovie bude funkčně dominantní zrakový trénink. Horizontální prizmatická korekce je v případě *dysfunkce fúznívergence* kontraindikována. Vergenční odchylky s normálním AC/A poměrem, stejně jako všechny ostatní vergenční anomálie, nemají žádný patologický efekt na organismus, zhoršují (pouze) kvalitu vidění a výskyt symptomů. Je důležité pomocí diferenciální diagnostiky vyloučit případnou patologii. Negativní zdravotní anamnéza a chronický charakter symptomů svědčí pro výskyt binokulární anomálie. Prognóza úspěšného managementu je ve všech třech případech výborná. [22]

5. 4. 2 Dysfunkce fúznívergence

Dysfunkce fúznívergence (DFV) je specifická binokulární vergenční odchylka. Projevuje se následovnými symptomy při práci do blízka: únava, bolesti očí, hlavy, potíže s koncentrací a porozuměním textu, excesivní slzení či rozostřené vidění. Problémy nevyřeší žádná brýlová korekce (ani kontaktní čočky). Zvláštností tohoto stavu jsou (většinou) normální hodnoty HTF i AC/A poměru. Další analýza odhalí redukované hodnoty obou skupin- PFV i NFV (viz tabulka 6). Během běžné „povrchné“ kontroly nemusí být DFV z důvodu již zmíněných normálních hodnot HTF i AC/A poměru odhalena. Proto by v případě výskytu subjektivních potíží *pokaždé* měla

následovat zkouška *vergenční facility* (VF). [22] Normální hodnotu VF představuje nález alespoň 12 cyklů VF za minutu. [6] Nezaměnitelným znakem DFV tedy jsou oboustranně snížené hodnoty fúzních rezerv. Avšak je možný i normální nález všech uvedených parametrů *kromě* VF. Dalším průvodním jevem může být intermitentní centrální suprese. [22] Je detekovatelná během měření VF, BAF, či heteroforie pomocí tzv. Bagoliniho čoček.

Tabulka 6: Klinické znaky dysfunkce fúznívergence [22]

AC/A poměr	normální
HTF (D/B)	normální
Pozitivní / negativní fúzní rezervy	snížené, ojediněle normální
Vergenční facilitata	snížená až nemožná (diplopie)
PRA / NRA	snížená, diplopie
Amplituda akomodace	normální

Prevalence DFV v populaci je nízká, pohybuje se kolem 1%. DFV je symptomaticky podobná akomodační insuficienci, avšak všechny *monokulární* akomodační testy vykazují normální hodnoty. Doporučuje se, stejně jako u jiných binokulárních anomálií, vyloučit jakoukoli potencionálně související patologii (medikace, demence). Výjimečně může dojít k zmírnění nebo odeznění anomálie po korekci latentní hypermetropie. Prizmatická korekce se doporučuje *výlučně* pro korekci vertikální deviace (nejlépe pomocí asociační forie). Použití horizontálních prizmat nedocílí zlepšení, poněvadž hodnoty HTF jsou normální. V případě výskytu FD o značné velikosti může právě tento jev způsobovat subjektivní potíže (nemusí se tedy jednat o DFV). Nejvhodnějším a v podstatě jediným řešením DFV je zrakový trénink zaměřený na posílení fúzních rezerv. [22]

5. 4. 3 Základní esoforie

Charakteristika a symptomy

Základní esoforie (ZEs) je binokulární vergenční anomálie vyznačující se normální hodnotou AC/A poměru a zvýšenou amplitudou tonickévergence, jež způsobuje esoforii na jakoukoli fixační vzdálenost. Výsledkem je přibližně stejná

hodnota esoforie do dálky i do blízka (rozdíl by měl být menší než 5 pD), v obou případech s redukovanou NFV. Prevalence ZEs je poměrně nízká (asi 1%). Mezi obvyklé symptomy se řadí dlouhotrvající bolesti hlavy, rozostřené vidění a další astenopické potíže. Vyskytují se často nespecificky, nejsou nutně podmíněné například dlouhotrvajícím čtením. Do dálky se navíc může vyskytovat diplopie. Jako vždy existuje možnost mít ZEs a nemít symptomy. ZEs často souvisí s hypermetropií, což je příznivý fenomén. Spojná korekce sníží amplitudu esoforie a tím zmírní symptomy. [22]

Management základní esoforie

Esoforie zatěžuje kompenzační NFV. Proto výsledné hodnoty všech přímých i nepřímých testů NFV budou sniženy oproti normálu. Pro nepřímé testy s minusovými čočkami platí, že důvodem selhání bude spíše diplopie než rozmazání. MEM retinoskopie odhalí snahu o využití co možná *nejmenšího akomodačního výkonu* na danou vzdálenost. Velmi podobný nálezný se vyskytuje v případech excessu konvergence či insuficience divergence, avšak v případě ZEs jsou hodnoty HTF do dálky i do blízka *přibližně stejné* (rozdíl do max. 5 pD) a AC/A poměr je normální. Samotnou ZEs doprovází negativní zdravotní anamnéza a konstantní chronický průběh symptomů. To jsou nejlepší indikace vylučující skrytou patologii (náhlý vznik- paréza n. VI., divergentní paralýza). Prvním krokem při řešení ZEs je *cykloplegická refrakce* ke zjištění podílu nekorigované hypermetropie na esoforii. Je-li přítomna vertikální deviace, přednostně ji korigujeme. [22]

Tabulka 7: Klinické znaky základní esoforie [22]

HTF	eso ($\approx$ stejná do D i B)
AC/A poměr	normální
NFV	snížená do D i B
Pozitivní relativní akomodace	snížená (až diplopie)
Binokulární akomodační facilitace	snížená (až diplopie)
MEM retinoskopie	zvýšená + hodnota

Další korekční volbou je kladná sférická adice (zejména v přítomnosti latentní hypermetropie). Předepisuje se nejslabší plusová hodnota, která eliminuje symptomy a normalizuje sledované parametry. Vhodnou kontrolou je analýza fixační disparity. Nevýhoda kladné adice u ZEs spočívá v nemožnosti jejího použití pro pohled do dálky. Dalším úskalím adice je její nižší efektivita kvůli normální hodnotě AC/A poměru.

Použití horizontálních prizmat u ZEs se doporučuje v případě neúplné satisfakce s možnostmi sférické adice. Jedná se zejména o přetrvávající potíže do dálky. Jednou z nejefektivnějších metod stanovení prizmatické korekce je analýza fixační disparity. [22] Na tomto místě se jako plnohodnotná alternativa zejména na evropském světadílu využívá metodika **MKH**. Ani prizmatická korekce však nemusí vést k úplné spokojenosti pacienta (klienta). Tato situace pramení z existence latentní hypermetropie, jíž nelze vykorigovat, případně při velkém nepoměru mezi velikostí esoforie a kompenzační NFV. Řešení v takovém případě může být docíleno pouze s pomocí zrakového tréninku. [22]

5. 4. 4 Základní exoforie

Charakteristika a symptomy

Základní exoforie (ZEx) se vyznačuje sníženou úrovní tonické vergence a normálním AC/A poměrem. Vzniká tedy divergence pohledových os ve srovnání s ideální pozicí očí. Vyznačuje se přibližně stejnou hodnotou exoforie do dálky i do blízka (rozdíl do 5 pD). Z hlediska frekvence výskytu tvoří ZEx přibližně třetinu všech exodeviací.

Symptomy se mohou vyskytovat jak pro pohled dálky tak i do blízka. Pacienti si většinou stěžují na neostré vidění, bolesti hlavy, diplopii a další astenopické potíže při práci do blízka. Při pohledu do dálky se vyskytuje zejména diplopie a rozostřené vidění. Jako obvykle existují i jedinci s klinickými znaky deviace, ale bez subjektivně vnímaných symptomů.

Refrakční vada nepatří mezi významné etiologické faktory ZEx. Korekce myopie může vést k částečnému snížení exoforie. Často bývá vzdálený blízký bod konvergence (NPC) jako důsledek vysoké hodnoty exoforie do blízka.

Základní exoforie není výsledkem žádné patologie, negativní zdravotní anamnéza a stabilní dlouhodobý průběh jsou spolehlivými indikátory. Potencionální alternativa spočívá v patologii vnitřního přímého svalu (roztroušená skleróza, myasthenia gravis). [22]

Tabulka 8: Klinické znaky základní exoforie [22]

Heteroforie	exo ($\approx$ D i B)
AC/A poměr	normální
Blízký bod konvergence	vzdálený
PFV	snížená (D i B)
Negativní relativní akomodace	snížená (až diplopie s +)
Binokulární akomodační facilita	snížená (až diplopie) s +
MEM retinoskopie	snížená hodnota

Analýza naměřených dat z tabulky 8 odkrývá problém v oblasti PFV. Nepřímé testy úrovně akomodace vykazují snížené hodnoty. Dokazuje to snahu akomodační konvergence co nejvíce dopomoci pozitivní fúzní vergenci. Dalším důkazem oslabené PFV je nízká naměřená hodnota MEM retinoskopie (odhalující právě větší akomodační výkon než je normální). Hlavní rozdíly mezi ZEx a symptomaticky dosti podobnou insuficiencí konvergence spočívají v rozložení velikosti odchylky do dálky i blízka a v hodnotě AC/A poměru (díky tomu jedinci s IK vykazují horší průběh symptomů do blízka než jedinci se ZEx). [22]

Management základní exoforie

Korekce refrakční vady může v případě myopie vést k zlepšení binokulárního stavu, avšak situace je složitější v případě hypermetropie. ZEx v kombinaci s korekcí menší hypermetropie (do +1,5 D) může vést k zhoršení symptomů zejména z důvodu oslabení příspěvku akomodační konvergence. Ve všech případech je vhodné začít řešit samotnou odchylku pomocí zrakového tréninku, který v případě hypermetropie posílí PFV oslabenou o zredukovaný příspěvek akomodační konvergence, který byl snížen spojnou korekcí. Je dobré začít s parciální korekcí hypermetropie a postupně jí zvyšovat paralelně s pokrokem ve zrakovém tréninku.

Existuje i varianta použití *záporné sférické adice* (tzv. antikorekce), jež dočasně napomáhá stabilizaci anomálie, avšak její eliminaci neřeší. Záporná adice může být rovněž součástí metodiky zrakového tréninku, který představuje jediný účinný způsob řešení ZEx. Využití prizmat nese význam ve dvou případech: vertikální odchylka a horizontální prizma jako pomůcka během zrakového tréninku. Osamocená prizmatická korekce se kvůli vysokému riziku adaptace nedoporučuje. Zrakový trénink je zaměřený na posílení PFV a strukturou je velmi podobný tréninku pro insuficienci konvergence. [22]

6 Výzkumná část

6.1 Úvod

Cílem výzkumné části práce je navrhnout, zkonstruovat a ověřit funkci polarizovaného testu pro měření **křivky fixační disparity při pohledu do blízka**. Rozhodnutí realizovat daný záměr bylo ovlivněno několika důvody. Jedním z nich byla ztížená dostupnost některých v zahraničí používaných testovacích přístrojů (vysoká cena, logistika, servis). Dalším byla vůle aplikovat nejnovější poznatky o vlastnostech a uspořádání jednotlivých komponent testu, které přispívají k co nejefektivnějšímu využití testu pro diagnostické i korekční účely. Realizaci v neposlední řadě ovlivnily i pozitivní zkušenosti s realizací obdobného testu pro detekci křivky FD při pohledu do dálky (čemuž se věnovala praktická část autorovy bakalářské práce [13]). Univerzální binokulární test do blízka fungující ve fúzních podmínkách je dnes základním kamenem úspěšné integrativní analýzy suspektně anomálního binokulárního vidění.

V následujících podkapitolách budou nejprve doplněny informace z teorie analýzy křivky FD potřebné pro interpretaci experimentálních dat. Následně bude popsán navržený test, budou uvedeny získané výsledky a jejich diskuze.

6. 2 Analýza fixační disparity

6. 2. 1 Asociační forie, křivka fixační disparity

Prizmatická korekce určena na základě eliminace fixační disparity, tzv. asociační forie (AF), je korekce stanovena jednoduchou a rychlou formou. Má svoje opodstatnění zejména u výskytu vertikální odchylky. Důležitou okolností měření stabilní hodnoty AF, pokud je to jediný diagnosticko-korekční úkon, je přítomnost **centrálního fúzního podnětu** na použitém testu. Podrobnosti k fúznímu podnětu jsou v podkapitole 6.3.

V případech nálezů horizontální fixační disparity nebo výskytu subjektivních potíží (s vyloučením vertikální odchylky) je vhodné provést detailnější diagnostický úkon- **analýzu křivky FD** navozené změnou vergenčního, případně i sférického požadavku. Analýzu provádíme při pohledu do dálky nebo do blízka (dle povahy klinických znaků i subjektivních symptomů).

Detailní popis křivky FD, její parametrů a využití je uveden mimo jiné v autorově bakalářské práci [13] na stránkách 19-34.

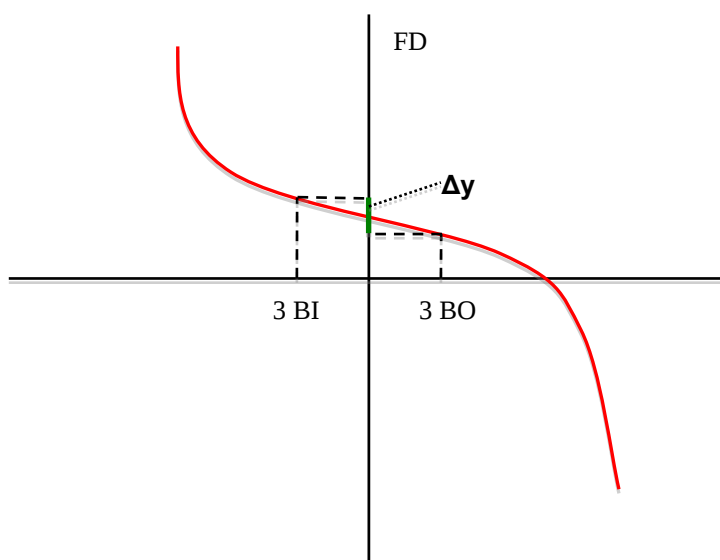
6. 2. 2 Parametry křivky FD

Tato podsekcce stručně popíše jednotlivé parametry, které vyšetřujícímu vygenerovaná křivka nabízí. Již několikrát byla zmíněna **asociační forie**, neboli minimální prizmatická hodnota k eliminaci fixační disparity. Graficky se hodnota AF nachází v **průsečíku s osou x**. Protíná-li graf osu x ve více hodnotách, hodnotu AF představuje průsečík nejbližší k počátku souřadnicové soustavy [0;0].

Průsečík s osou y může být pouze jeden. Ten nese informaci o hodnotě **fixační disparity** v přirozených vizuálních podmínkách (nulový přidaný požadavek). FD existuje tehdy, není-li docílena přesná bifoveální fixace. Obrazy nevznikají přímo uprostřed korespondujících bodů sítnic, pořád jsou ale lokalizovány uvnitř Panumova areálu. Maximální možná velikost FD je dána horizontální velikostí Panumova areálu. Na obrázku 8 je hodnota FD zobrazena žlutou barvou (typ eso, velikost 10'). Hodnota AF na témže obrázku je rovna 6 pD s bází temporálně. Obě hodnoty se v ideálním případě rovnají, jak je patrné z obrázku 7. Různé testy ke zkoumání velikosti fixační disparity vykazují různé spektrum normálních hodnot. Variabilita naměřených výsledků

FD je ovlivněna některými specifickými faktory (provedení disociace vjemů, velikost a pozice fúzních podnětů či vzájemná vzdálenost monokulárních částí). Proto je důležité řídit se pokyny výrobce.

Dalším cenným parametrem křivky FD je **sklon křivky**. Kalkulovanou hodnotu sklonu lze získat několika způsoby. Nejčastěji se používá způsob, kdy rozdíl hodnot naměřené FD mezi 3 BI (base-in, tj. divergenční požadavek) a 3 BO (base-out, tj. konvergenční požadavek) vydělíme rozsahem uvažovaného požadavku ($\Delta y/6$). Hodnota sklonu větší než 1 bývá napříč různými testy považována za abnormální. Alternativním způsobem k výpočtu sklonu je podíl hodnot AF (osa x) a FD (osa y). Obecně platí, že čím je křivka strmější (čím má větší sklon), tím slabší je vergenční adaptace. Plochá

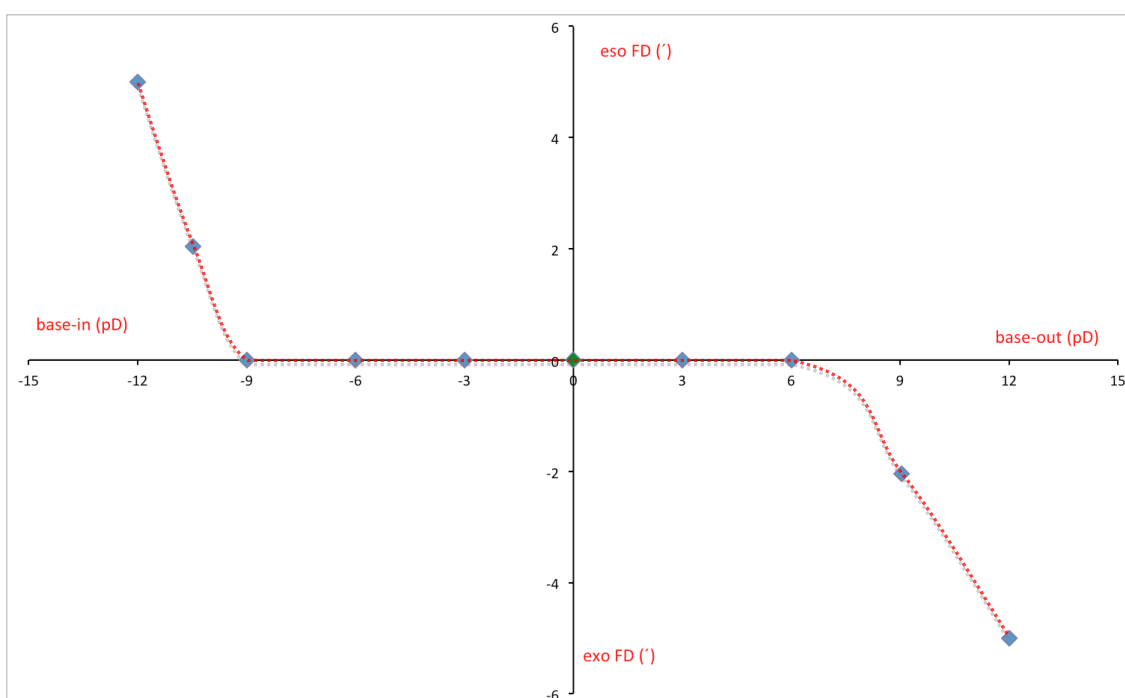


Obrázek 6: Sklon křivky FD. Počítá se jako rozdíl hodnot FD mezi požadavky 3 BI a 3 BO dělen číslem 6. Plošší část křivky znázorňuje oblast funkční vergenční adaptace.

část křivky představuje oblast působení vergenční adaptace (schopnost čelit různým vergenčním požadavkům bez výraznější změny ve velikosti FD). Výpočet sklonu v rozmezí požadavku 3 BI až 3 BO pomůže při posouzení míry možné adaptace vyšetřovaného. Je-li výsledek menší než 1 a plochá část křivky je ohraničená z obou stran, můžeme předpokládat normální stav (pokud jsou hodnoty FD a AF v normě daného testu, viz obr. 7).

K základním parametrům řadíme i **typ** neboli **tvar** křivky FD. Existují celkem čtyři. Tvar křivky ovlivňuje především mohutnost vergenční adaptace (VA) a rozložení fúzních rezerv. Kombinací adaptace a rozložení fúzních rezerv může vzniknout tvar

křivky FD s lepší adaptací na jeden vergenční směr (konvergence nebo divergence). Změna vergenčního požadavku v rozmezí působení silné VA nevyvolá změnu ve velikosti FD. Takový rozsah působení VA je vidět na obrázku 7 v rozmezí hodnot na ose x -9 (base-in) až 6 (base-out). Na témže obrázku vidíme **I. typ** křivky FD. Ten je charakteristický svým tvarem, jemuž v prostřední části v tomto případě dominuje poměrně rozsáhlá plochá (adaptační) oblast. Ta může být v případech slabší adaptace užší. Jiným charakteristickým znakem křivky FD I. typu je zakřivení křivky z obou konců ploché části. Jedná se o krajní oblasti motorické fúze, do kterých již vergenční adaptace nezasahuje. Tvar I typu křivky FD prozrazuje přibližně stejnou míru adaptace na oba směry vergenčních požadavků.

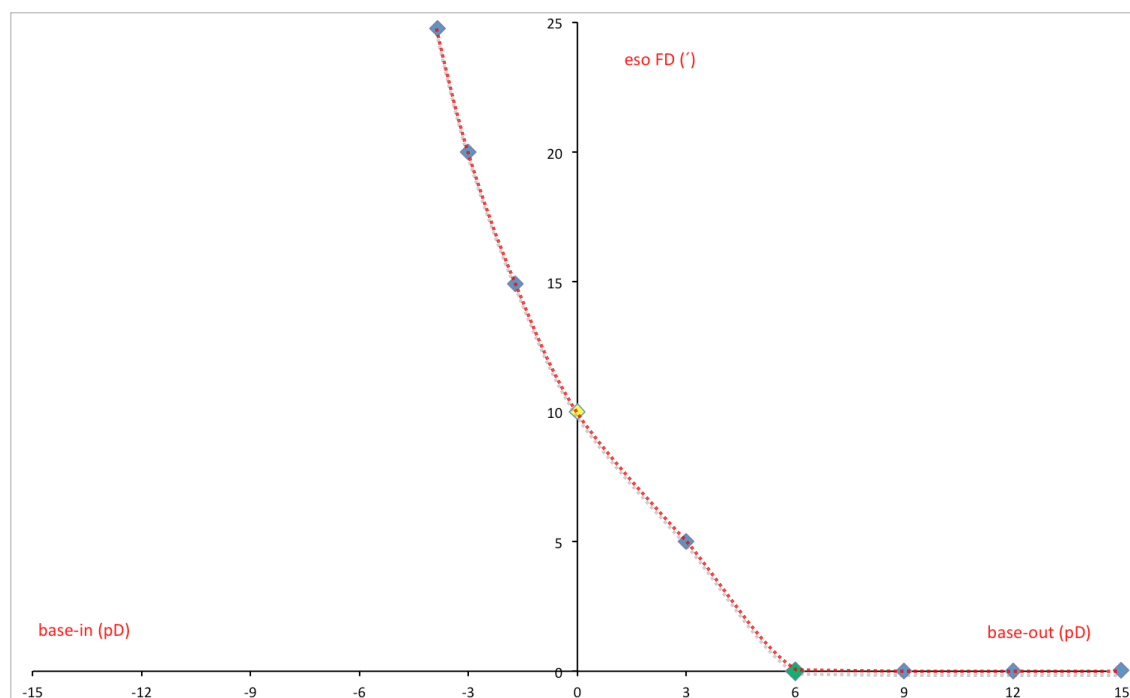


Obrázek 7: Křivka fixační disparity typu I vyvolaná změnou vergenčního požadavku (hodnoty na ose x). „Base-out“ představuje konvergenční požadavek (prizma bází temporálně), „base in“ představuje divergenční požadavek (prizma bází nazálně). Hodnoty fixační disparity jsou znázorněny na ose y . Symetrický tvar křivky představuje vyrovnanou schopnost zraku čelit jak konvergenčnímu tak divergenčnímu požadavku při zachování potřebné úrovně akomodace.

Asymptomatické jedinci při pohledu do blízka většinou vykazují křivku FD I. typu. Přitom hodnoty AF, FD ani sklonu by neměly překračovat rozsah normálních hodnot pro daný test. Dodatečným sledovaným parametrem křivky FD, avšak pouze v případě výskytu I. typu, bývá **střed symetrie**. Graficky se nachází uprostřed *ploché* (adaptační) části křivky (na obr. 7 střed symetrie odpovídá přibližně bodu -1,5 na ose x). Tento bod označuje stav vergenční reakce, ze kterého je zrak schopen integrací

všech binokulárních složek vygenerovat nejpružnější symetrickou odpověď na jakýkoliv vergenční požadavek (konvergence, divergence). [23] K existenci středu symetrie je nezbytné ohraničení adaptační oblasti křivky FD z obou stran podél osy x (tj. pouze I. typ křivky).

Dalším charakteristickým tvarem křivky FD je II. typ (obr. 8). Tento typ předpokládá existenci FD typu *eso*. Ta bývá často doprovázena větší HTF (nemusí se jednat pouze o esoforii, viz kapitola 4.5). [23] Výrazným projevem existence křivky FD II. typu je mohutná adaptace na konvergenční požadavek (base-out). Souvisí to zejména s uvolňováním zátěže na NFV. Samotná existence křivky II. typu představuje určité podezření na binokulární anomálii, avšak u symptomatického jedince by měl existovat i abnormální nález u dalších parametrů (FD, AF, sklon křivky).

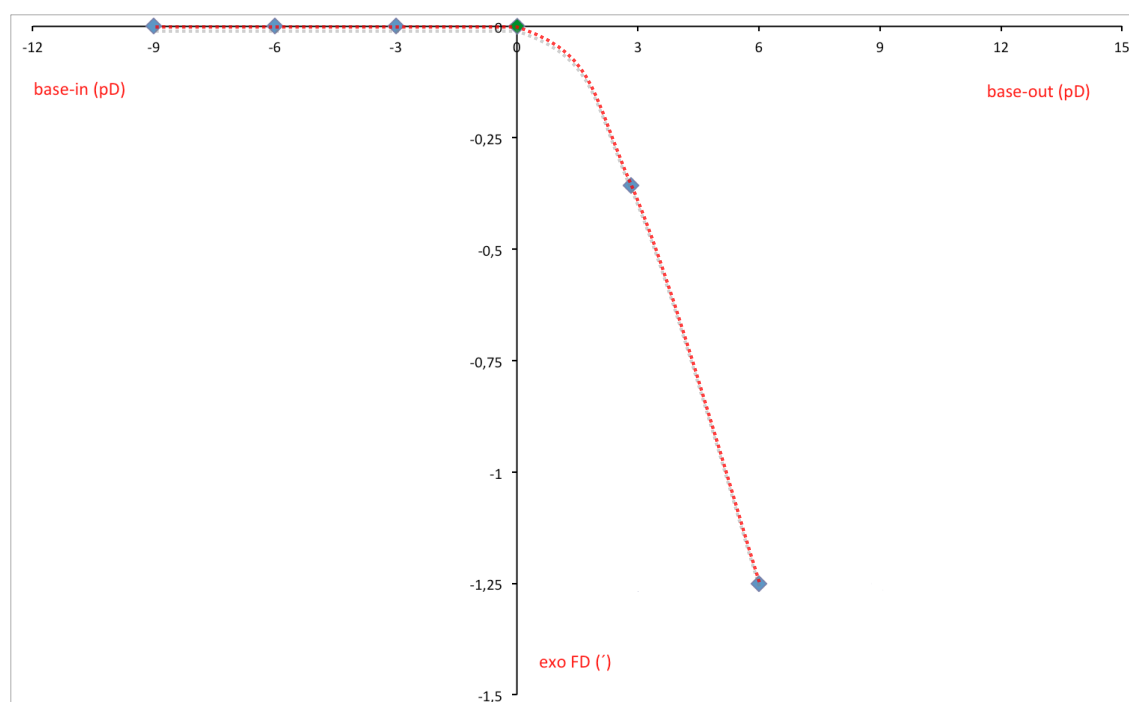


Obrázek 8: Křivka FD II. typu (eso FD). Charakteristickým znakem je neukončená adaptační oblast na prizmatický požadavek typu base-out (konvergenční požadavek), naopak adaptace většinou zcela chybí na base-in (divergenční) požadavek, což se projeví prudkým nárůstem FD ve směru eso. Hodnota FD se nachází na ose y a je vyznačena žlutě. Hodnota AF leží na ose x , vyznačená je zeleně.

III. typ křivky FD je většinou doprovázen FD typu *exo* (obrázek 9 ukazuje nulovou FD). Vergenční adaptace u III. typu křivky výrazně dominuje v divergenční (base-in) oblasti. Naopak pro oblast vynucené konvergence (base-out) je patrný prudký nárůst hodnot indukované exo-disparity. Nárůst FD v této souvisí s dalším zatěžováním již oslabené PFV. Opět platí, pokud vyšetřovaná osoba nemá subjektivní potíže a další

parametry křivky FD jsou v normě, že ani III. typ křivky sám o sobě ještě neznamená abnormální nález.

Je důležité vědět, že klinický rozsah testovaných hodnot vergenčních požadavků bývá v rozmezí 12 base-in – 12 base-out. Může se stát, že vygenerovaná křivka FD bude v tomto rozsahu tvarově odpovídat II. nebo III. typu. Pokud bychom si chtěli být typem křivky úplně jistí, museli bychom měření křivky v ploché oblasti ukončit až s takovou hodnotou vergenčního požadavku, u které by došlo k diplopii. Může totiž nastat situace, kdy u křivky II. typu dojde ve vysokých hodnotách předsazeného „base-out“ prizmatu k zakřivení konce ploché části křivky směrem do exo FD. Tím dojde de facto ke změně typu křivky na I. typ. K obdobné situaci může dojít i v případě III. typu a překlopení ploché „base-in“ části do hodnot eso FD. Proto, jak již bylo zmíněno, nelze tvrdit, že již samotný typ křivky FD do blízka jiný než I. dokazuje existenci binokulární abnormality. Stejně zjištění platí i pro křivku FD pro pohled do dálky.

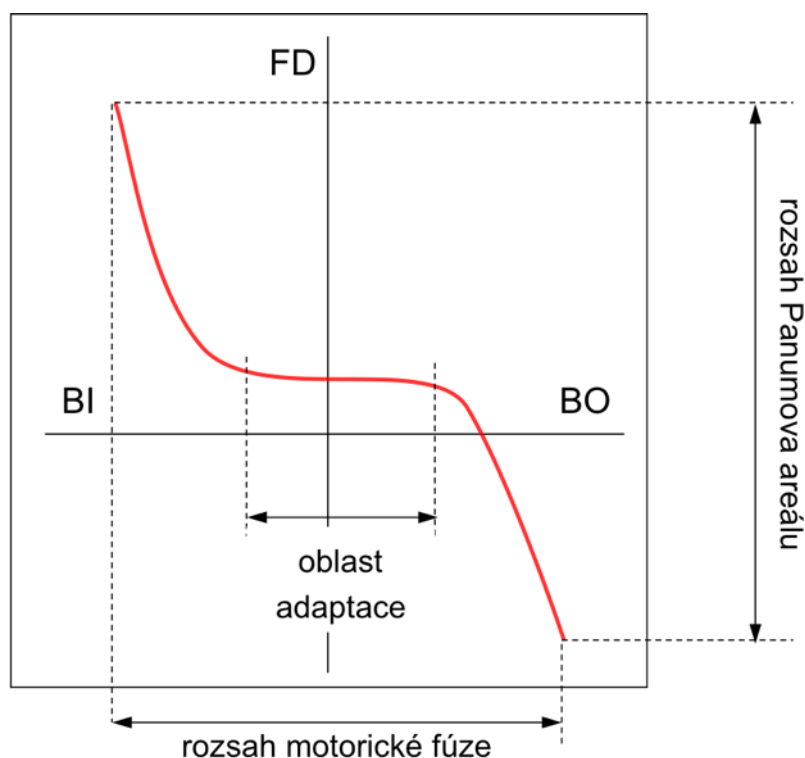


Obrázek 9: Křivka FD III. typu (exo). Dominance adaptace na divergenční požadavek (base-in) poukazuje na nevyváženost působení vergenční adaptace. Prudší nárůst hodnot exo FD s oblastí konvergenčního požadavku ilustruje oslabenou (nebo přetíženou) PFV. Danou křivku však díky nulové FD, AF a hodnotě sklonu menší než 1 nepovažujeme za symptomatickou. Pouze měření rozsahu „base-in“ až po navození diplopie může potvrdit, že se jedná o křivku III. typu.

Poslední typ křivky, IV. (nestabilní), se vyznačuje nestabilitou naměřených výsledků, tj. naměřené hodnoty se výrazně liší a netvoří charakteristický tvar křivky. Daný stav svědčí o nestabilním binokulárním vidění se závažnými akomodačně-vergenčními interakcemi, případně o značné převaze akomodační etiologie problému.

6. 2. 3 Interpretace křivky FD

Hotovou křivku FD lze pomocí sledovaných parametrů jednoduchým způsobem interpretovat. Výsledky jsou obzvláště důležité v situaci, kdy si nejsme jistí chováním vergenční (prizmatické) adaptace ve vztahu k stanovené AF. Zejména v případě výskytu III. typu křivky (exo FD) může být účinek prizmatické korekce podle AF částečně (v horším případě úplně) eliminován. V takovém případě je lepší zvolit pouze takový korekční účinek, jenž v co největší míře posune plochou část křivky FD k bodu



Obrázek 10: Rozsah motorické i senzorické fúze znázorněn pomocí křivky FD. [31] Plný rozsah obou složek fúze (motorická, Panumův areál) lze zjistit pouze za podmínky ukončení měření až po navození diplopie z obou vergenčních požadavků. Rozsah motorické fúze bude v pD, rozsah Panumova areálu v úhlových minutách. Oboustranně ohraničená plochá část křivky představuje oblast působení vergenční adaptace. Uprostřed této oblasti leží střed symetrie.

[0,0] soustavy. Jak ale z kapitoly 3 vyplývá, většina symptomatických případů vykazuje oslabenou vergenční adaptaci, což snižuje četnost bezúspěšných korekcí. Navíc existují poměrně jednoduché způsoby ověření účinku adaptace na prizmatickou korekci (kapitola 3.3.4)

Provádí-li vyšetřující testování binokulárního vidění pomocí křivky FD, měl by mít nashromážděna doplňující data k přesnému pojmenování daného souboru klinických znaků (viz kapitola 5). Jenom tak může s jistotou zvolit správný

management. K určení správné hodnoty vhodného korekčního typu (kapitola 1.4) mu slouží křivka FD.

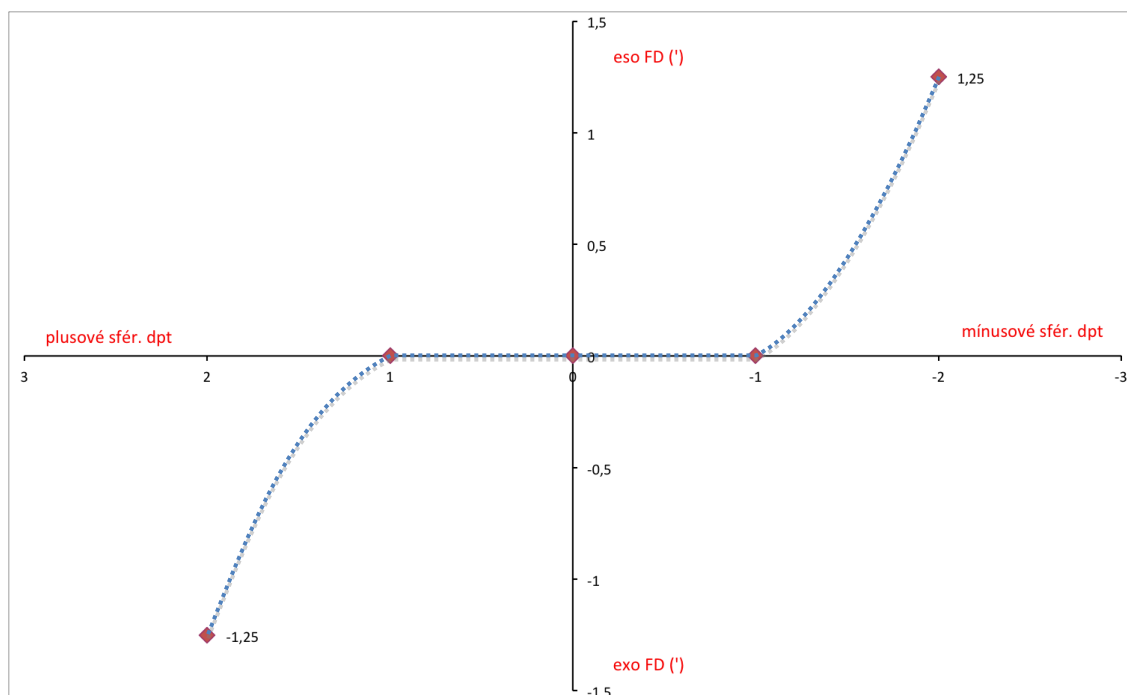
6. 2. 4 Speciální využití křivky FD

Vertikální křivka FD

V případě výskytu vertikální odchylky obvykle není potřebné zjišťovat křivku FD. Autoři Scheiman a Wick se shodují, že v 85% případů vertikálních odchylek je jejich křivka FD lineární a jako korekce dostačuje (prizmatická) hodnota vertikální AF. Ze zbylých 15% nelineárních průběhů vykazuje klinicky signifikantní nelinearitu asi třetina. V těchto ojedinělých případech se doporučuje zrakový trénink pro vertikální anomálie. [24]

Křivka FD naměřená změnou sférického požadavku

Křivku FD do blízka lze vygenerovat, stejně jako v případě různých prizmatických hodnot vergenčního požadavku, pomocí sférického požadavku (formou kladné a záporné adice). Na ose x se tedy nachází sférické dioptrie, avšak užitá konvence řadí záporné dioptrické hodnoty na pravou stranu a kladné na levou stranu osy x . Navození FD pomocí sférické adice se děje mechanismem změny amplitudy akomodační konvergence (akomodační odezva se pro zajištění ostrosti musí změnit v závislosti na hloubce ostrosti a dioptrické hodnotě předsazené adice).



Obrázek 11: Křivka FD navozená změnou sférického (akomodačního) požadavku. Motorem změn velikosti navozené FD je změna akomodace na podkladě adice. Zkoumají se interakce relativní akomodace s vergenčními složkami v prostředí, kde se vlivem lokální eliminace senzorické fúze (v místech viditelných každým okem zvlášť) manifestuje vzniklá fixační disparita.

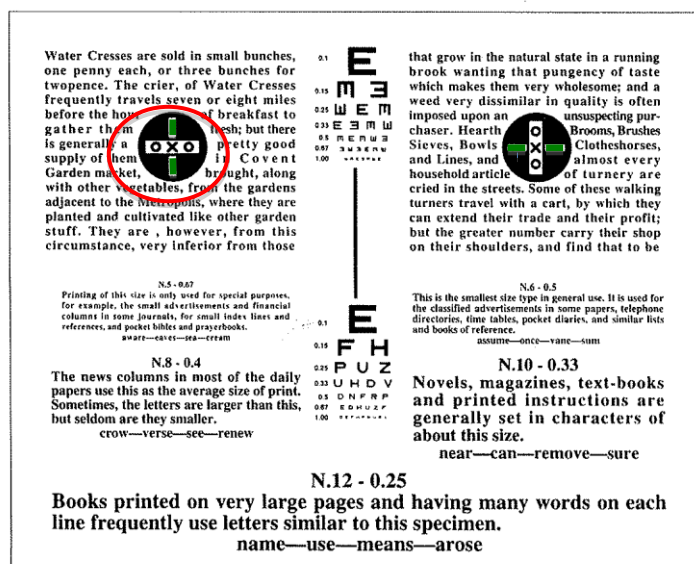
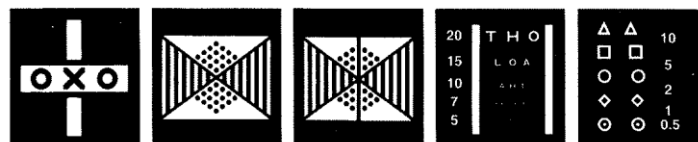
Křivku FD navozenou pomocí sférických hodnot dále neanalyzujeme pomocí sledovaných parametrů jak je tomu u prizmaticky navozené křivky. Slouží jako doplňující avšak důležitý ukazatel stavu binokulárního vidění. Kombinací dat z křivek FD získaných oběma způsoby (sférickým i prizmatickým) lze vygenerovat **binokulárně odvozený AC/A poměr**. Takto získaný AC/A poměr je v ideálním případě lineárním grafem společných hodnot FD pro akomodační i vergenční požadavek. Navíc oproti klasicky disociačně měřenému (nebo kalkulovanému) AC/A poměru zahrnuje ten binokulárně odvozený ve své hodnotě interakce konvergenční akomodace či působení adaptace. V neposlední řadě pomáhá přesněji určit hodnoty terapeutické sférické adice tam, kde jsou potřebné. [23] Odvození binokulárního AC/A poměru s využitím aproximace průběhu „akomodační“ i „vergenční“ křivky FD v praxi se věnuje výzkumná část této práce (kapitola 6.6).

6.3 Vybavení pro analýzu fixační disparity do blízka

Přístroje pro analýzu FD dělíme do dvou základních skupin:

- a. přístroje pro detekci FD a její korekci podle AF
- b. přístroje pro detekci velikosti FD a detailní analýzu pomocí křivky FD

Nejznámějším a v angloamerických zemích zřejmě nejrozšířenějším zástupcem skupiny *a*. je *Malletova jednotka do blízka* (obr. 12).



MALLET
MADE IN ENGLAND

R. Mallett © 1964

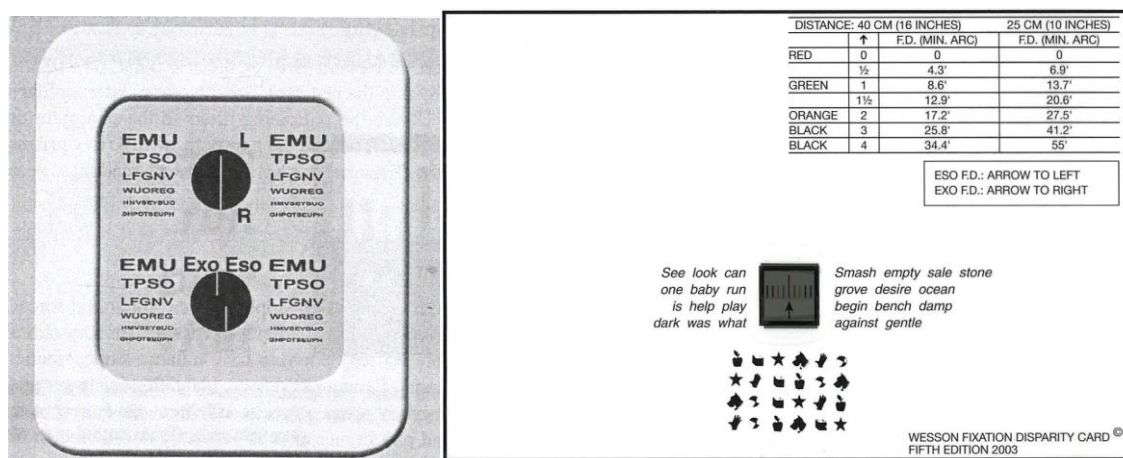


Obrázek 12: Přední panel Malletovy jednotky do blízka. [30] Horní část obsahuje různé binokulární testy. Uprostřed obou sloupců s textem se nachází pole testů pro detekci FD a velikosti asociační forie. Červeně je zakroužkován test pro detekci horizontální FD a AF, v pravém sloupci je obdobný test pro detekci vertikální FD. Oba testy jsou polarizované, tj. obsahují části vnímané každým okem zvlášť s využitím polarizace. Tyto monokulárně vnímané části testu jsou označené zelenou barvou. Ve výzkumu této diplomové práce sloužil daný Malletův test jako referenční pro srovnání typu FD a velikosti AF (používán byl test v červeném kroužku).

Malletův test se používá již celá desetiletí. Dnešní polarizované verzi předcházely verze anaglyfické, u kterých bylo disociace vjemů dosaženo použitím červeno-zeleného provedení a aplikací červeného filtru před jedno a zeleného před druhé oko. Velkou předností Malletova testu je přítomnost **centrálního fúzního podnětu** (na obr. 12 v červeném kroužku je to bílé pole s černými znaky ve tvaru

písmen O X O). Text kolem testu slouží jako periferní fúzní podnět. Fúzní podnět je vždy viděn oběma očima (není polarizován) a umožňuje vznik plnohodnotné *fúze* (motorické i sensorické složky). Přítomností centrálního i periferního fúzního podnětu je docílena co nejnižší míra rozptylu opakovaně naměřených hodnot. Polarizačně jsou provedeny (na obr. 12) zelené čáry testu, které od sebe oddělují nepolarizovaný centrální fúzní podnět. Polarizace disociuje monokulární části testu (obraz každé čáry dopadá pouze do jednoho oka). Tím existuje během fúze oblast sítnice bez možnosti vzniku sensorické fúze. Pro připomenutí, sensorická složka fúze působí ve zrakových centrech mozku, přičemž využívá *sítnicové korespondence*. Je definována jako sjednocení vizuálních signálů z korespondujících bodů sítnice do jednoduchého vjemu. [25] Důležitou vlastností sensorické fúze je její schopnost vytvořit jednoduchý binokulární vjem ze dvou ne zcela přesně korespondujících sítnicových obrazů, pokud tyto leží uvnitř Panumova areálu. Více informací o polarizaci či sensorické fúzi možno získat například v práci [13] na stránkách 11-15.

Do skupiny *b.* se řadí zejména *Wesson Card*, *Sheedyho disparometr*, případně *Saladin Near Point Balance Test* (ten je však málo rozšířen).



Obrázek 13: Sheedyho disparometr [23] (vlevo) a Wesson Card (vpravo). Obě pomůcky slouží k detekci křivky FD do blízka.

Sheedyho disparometr obsahuje horní oblast pro detekci vertikální FD a spodní pro horizontální křivku FD. Vzájemné posunutí noniových čar (polarizačně oddělených pro každé oko zvlášť) se nastavuje ze zadní části přístroje, následně se zkouší prizmatická hodnota, která posunutí (tedy navozenou FD) eliminuje. Černé kruhové pozadí testu slouží zároveň jako fúzní podnět. [23]

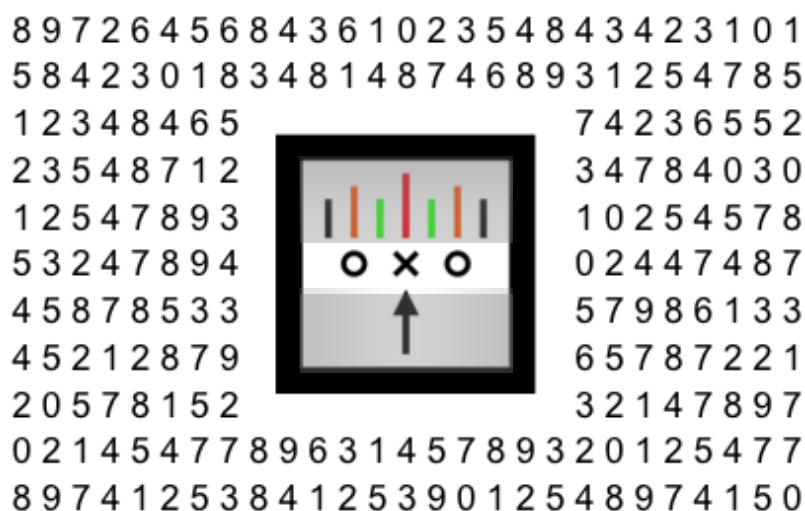
Nejrozšířenějším artiklem skupiny testů pro detekci křivky FD je *Wesson Card* (obr. 13 vpravo). Jedná se o laminovanou kartu, na které je vytištěn polarizovaný testovací obrazec složený z disociovaných polí pro pravé (stupnice) i levé oko (šipka). Po aplikaci prizmatického (i sférického) požadavku je navozena fixační disparita vyšetřovanému manifestována změnou vzájemné polohy stupnice a šipky. Test Wesson Card neobsahuje centrální fúzní podnět (čtvercový rámeček kolem testové oblasti spolu s okolním textem jsou považovány za podněty periferní).

Mnoho autorských kolektivů se zabývalo srovnáním naměřených parametrů křivky FD pomocí různých používaných testů. Nejčastěji jsou srovnávány právě Sheedyho disparometr a Wesson Card. Autoři jedné komparativní studie [26] potvrdili závěry svých předchůdců o neexistenci univerzálních normativních dat platných pro oba testy. Odlišnosti naměřených výsledků pro jednotlivé testy pramení z různého designu testů, rozměrů a vzdáleností mezi monokulárně vnímanými částmi. Další odlišnosti vytváří například nestejně provedení fúzních podnětů. [26]

6. 4 Návrh a konstrukce vlastního testu pro detekci křivky FD

Testy umožňující měření křivky FD nabízejí užitečný přehled o stavu binokulárního vidění z různých aspektů. Jedním je nutnost existence fúze (tedy existenci byť anomálního, ale pořád binokulárního vidění). Funkce motorické a senzorické složky fúze je zkoumána pomocí vergenčních i sférických požadavků, přičemž v případě testování do blízka se do celého procesu zapojují akomodační složky. Zrakový aparát jedince, u něhož lze vygenerovat křivku FD, tedy musí bez ohledu na výsledek splňovat základní binokulární funkce.

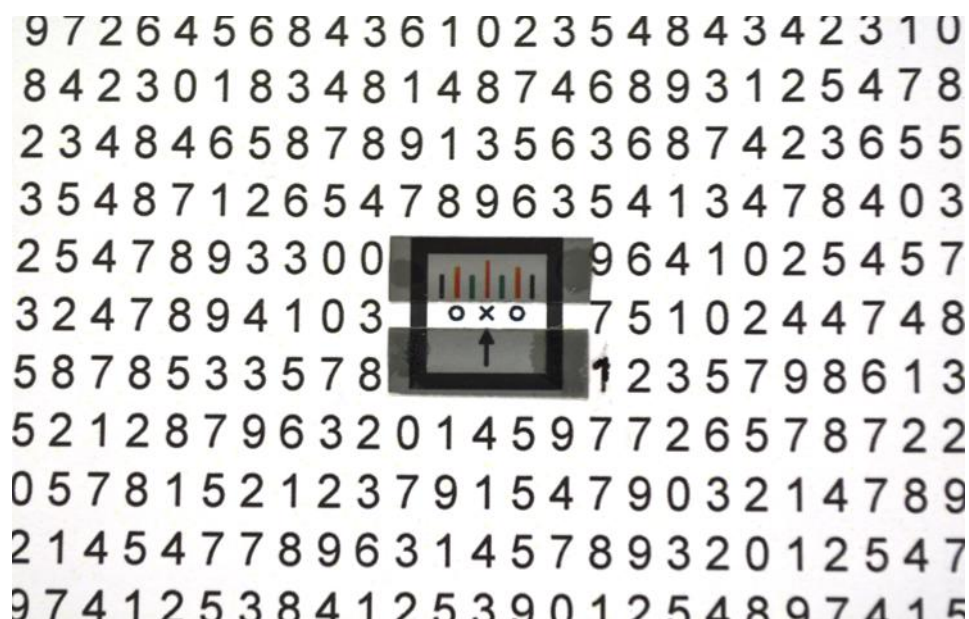
Závěrečná část autorovy bakalářské práce [13] poukazuje na opodstatněnost existence kvalitního univerzálního nástroje pro detekci křivky FD pro pohled do blízka. Úspěšná realizace obdobného projektu pro pohled do dálky v dané bakalářské práci výrazně podpořila myšlenky realizace nového výzkumného projektu s pracovním názvem *UP test*, jenž je těžištěm této diplomové práce.



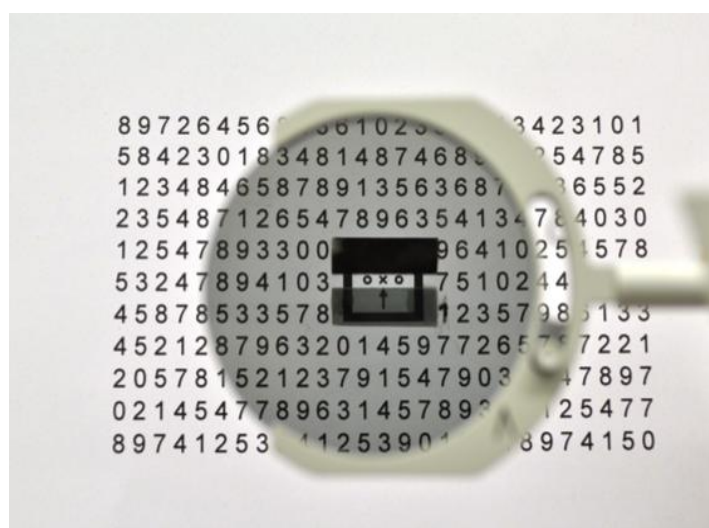
Obrázek 14: Zrealizovaná verze testu UP pro pohled do blízka. Centrální testovací pole se skládá z binokulárně vnímaného centrálního fúzního podnětu (bílý pruh uprostřed testu s černými znaky ve tvaru „OXO“), polarizovaných polí vnímaných každé pouze jedním okem (šedá oblast stupnice nahoře a šipky pod centrálním fúzním podnětem). Roviny polarizace monokulárně vnímaných částí svírají úhel 90 stupňů.

Design testu vychází, stejně jako design předchozího testu do dálky, z Wesson Card. Oproti Wesson Card je test modifikován o centrální fúzní podnět, tj. o nepolarizovanou centrální oblast se třemi černými znaky ve tvaru písmen „O X O.“ Tento prvek je charakteristický pro Malletovu jednotku (viz obr. 12). Oblast centrálního fúzního podnětu je vertikálně obklopena polarizovanými (tedy monokulárně vnímanými) částmi: nahoře stupnicí, dole šipkou. Na obrázku 14 jsou tyto části testu označené šedou barvou. Rovina polarizace horní a dolní části se liší o úhel 90°. Tím je docílena projekce právě jedné monokulární části do každého oka. Kolem centrální části testu se nachází řada číslic sloužících jako periferní fúzní podněty. Tato kompozice je ověřena jako nejstabilnější z hlediska variability naměřených výsledků. Na stabilitě výsledků se podílí i vertikální vzdálenost monokulárních polí (šipky a stupnice). Problematiku návrhu a vliv rozměrů jednotlivých parametrů rozebírá práce doktora optometrie M. T. Ukwade-ho. [27]

Test je vytištěn na tvrdém papíře formátu A4, polarizační fólie překrývají monokulárně vnímané části testu (šedé části na obr. 14, skutečná podoba na obr. 15). Fólie jsou k testu nalepeny svými okrajovými částmi, které mírně přesahují černé orámování centrální části testu, pomocí sekundového lepidla. Pro správnou funkci testu musí být dodržena vyšetřovací vzdálenost 40 cm.



Obrázek 15 (nahore): Fotografie detailu „UP testu“ pro detekci křivky FD při pohledu do blízka. Polarizační fólie překrývají monokulárně vnímané části testu.



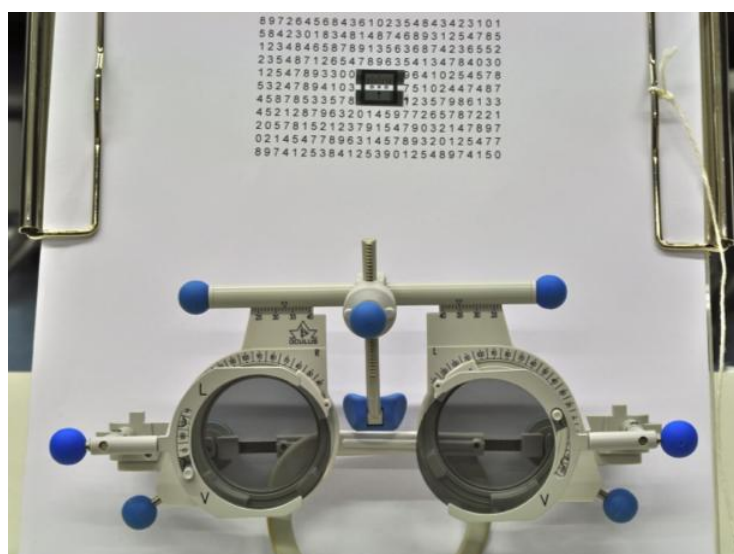
Obrázek 16: Fotografie znázorňující vjem pravého oka. Polarizační filtr připevněný na zkušební obrubu úplně eliminuje polarizované světlo z monokulární části testu určené pro levé oko. Analogicky nevidí levé oko spodní šipku. Toto je docíleno změnou úhlu polarizace o 90 stupňů.

Rozměry testu

Rozměry navrženého testu uvedené v tabulce 9 se týkají jeho černě orámované centrální části (viz obr. 14), nikoliv periferního číselného pole. Jak již bylo zmíněno, rozměry zohledňují poznatky o vlivech rozměrů či přítomnosti jednotlivých prvků testu na konečné stabilitě hodnot měřených parametrů (studie je k nalezení v seznamu literatury pod číslem [27]). Jednotlivé komponenty testu jsou rozděleny do tří tabulek. Rozměry jsou v úhlových minutách a platí pro pozorovací vzdálenost 40 cm.

Tabulka 9: Rozměry (v úhlových minutách) použité při návrhu UP testu do blízka

Vnější orámování testu	velikost [']
Délka vnějšího orámování	100`
Síla orámování	10`
Centrální fúzní podnět	velikost [']
Vertikální separace šipky a stupnice	20`
Šířka/výška znaků (o, x, o)	10`
Horizontální separace znaků	10`
Polarizované části a noniové čáry	velikost [']
Výška horních noniových čar	25`, 20`, 15`
Šířka noniové čáry	2,5`
Výška noniové šipky a střední čáry stupnice	25`
horizontální separace středů noniových čar	10`



Obrázek 17: Fotografie zkušební obruby s předsazenými polarizačními klipy s volitelným úhlem polarizace. V pozadí UP test uchycen na pracovním stojánku s nastavitelným sklonem.

6.5 Kritéria pro výběr testovaných osob

Kritéria pro výběr splnil jedinec ve věkovém rozmezí 18-35 let se schopností binokulární fúze obrazů z obou očí. Věkové kritérium bylo vytvořeno kvůli dostatečné akomodační amplitudě potřebné během testování FD vyvolané změnou akomodačního požadavku. Minimální hodnota zrakové ostrosti činila 6/6 (vízus = 1,0). Pokud byla nalezena pouze malá refrakční vada a daný účastník studie korekci nepoužíval, probíhalo měření bez korekce. Za kontraindikaci účasti na výzkumu byla považována epilepsie z důvodu nežádoucích efektů polarizace (lesknutí, případně krátkodobé blikání jednotlivých polí).

6.6 Metodika

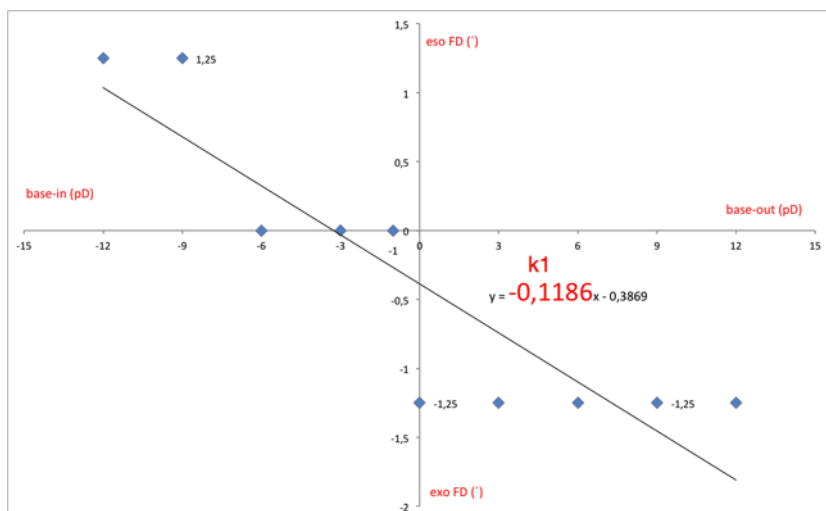
Měření probíhalo v laboratořích optometrie na Katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Intenzita osvětlení použitých světelných zdrojů v laboratořích dosahovala přibližně 300 lx. Bylo změřeno celkem 33 probandů ve věku 21-35 let. Měření bylo realizováno na UP testu a na Malletově jednotce do blízka (obr. 12). Vyšetřovací vzdálenost činila v obou případech 40 cm. Každému subjektu byly pomocí UP testu (obr. 15) naměřeny dvě křivky FD, jedna získaná změnou vergenčního požadavku (prizmata na ose x) a druhá změnou sférického požadavku (adice na ose x). U prizmaticky navozené křivky FD byla sledována následovná data: velikost a směr **FD**, hodnota **AF**, **typ** (tvar) křivky a **sklon** křivky. Hodnoty FD, AF i typ křivky byly určeny přímo z grafu. Sklon křivky byl vypočítán jako rozdíl naměřených hodnot FD (z osy y) v intervalu vergenčních požadavků 3BI - 3BO vydělený číslem 6 (tj. číselnou hodnotou rozsahu sledovaného vergenčního požadavku, viz obr. 6).

Doplňujícím experimentem bylo získání binokulárně odvozeného **AC/A poměru**. K tomu byly z obou druhů křivek FD stejného probanda použity pouze ty hodnoty FD, které se nacházely na grafech obou křivek. Takto upravenou oblastí křivky FD byla proložena regresní přímka. Regresní přímku, vyjadřující závislost mezi proměnnými x a y , lze obecně charakterizovat rovnicí: $y = kx + c$, kde směrnice k reprezentuje sklon přímky. Pokud směrnici přímky pro prizmaticky navozenou křivku

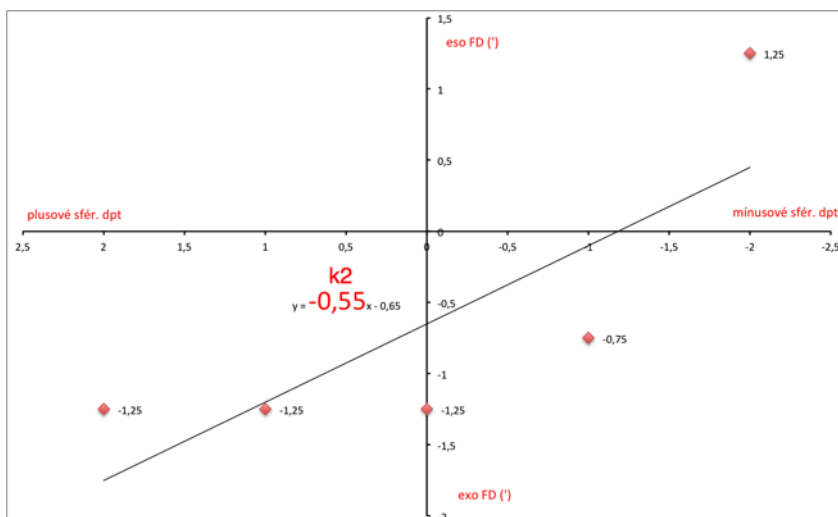
FD označíme k_1 a směrnici pro přímku sféricky navozené křivky FD označíme k_2 , pak můžeme AC/A poměr stanovit jako jejich podíl:

$$AC/A = k_2/k_1.$$

Příklady křivek FD s proloženou regresní přímkou pro stanovení AC/A poměru uvádí obrázky 18 a 19.



Obrázek 18: Regresní přímka křivky FD navozené změnou prizmatického požadavku. Rovnice regresní přímky udává směrnici k_1 pro výpočet binokulárně odvozeného AC/A poměru.



Obrázek 19: Regresní přímka křivky FD navozené změnou sférického požadavku. Rovnice regresní přímky udává směrnici k_2 pro výpočet binokulárně odvozeného AC/A poměru.

K rozlišení symptomatického od asymptomatického probanda byl použit dotazník s vyhodnocením symptomů týkajících se binokulárních potíží při pohledu do blízka. Exemplář dotazníku rozšířeného zejména v USA je dostupný například

v publikaci [10] na str. 228 a je rovněž součástí přílohy. Z naměřených hodnot sledovaných parametrů u jedinců bez subjektivních symptomů a s negativním vyhodnocením dotazníku byla vytvořena tabulka normálních hodnot daných parametrů pro daný test do blízka. Ve statistickém souboru nebylo zohledněno rozdělení podle typu HTF na exoforii a esoorii.

Průběh měření

Experimentální měření probíhalo s nasazenou zkušební obrubou, která byla vybavena polarizačními předsádkami (viz fotografie na obr. 17). Měření bylo vždycky zahájeno ověřením a korekcí případné vertikální FD na Malletově jednotce do blízka. Existence nekorigované vertikální odchylky totiž může výrazným způsobem ovlivnit jakákoli další měření v oblasti binokulárního vidění. Posléze začalo měření prizmaticky navozené křivky FD na UP testu do blízka. První pohled bez předsazených prizmat sloužil k změření hodnoty a směru fixační disparity. Pokud byla jakákoli FD detekována (tj. došlo k sebemenšímu subjektivně vnímanému vzájemnému posunu stupnice a šipky), hledala se korekční hodnota AF v krocích 0,5 pD.

V dalších krocích byly střídavě aplikovány vergenční požadavky systémem 3 pD base-in, 3 pD base-out, 6 pD base-in, 6 pD base-out, 9 pD base-in, 9 pD base-out, 12 pD base-in a 12 pD base-out.

K minimalizaci rizika zkreslení naměřených hodnot působením prizmatické adaptace, jejíž mohutnost a rozsáhlá vergenční oblast působení je charakteristická u osob s normálním binokulárním viděním, byly dodržovány následující zásady:

- střídání konvergenčních a divergenčních požadavků (i sférických)
- co nejkratší doba binokulární fúze během testování, během doby mezi jednotlivými kroky zavřené oči vyšetřovaného
- mezi jednotlivými kroky krátký binokulární pohled na test bez přidaného požadavku („vynulování“ případné adaptace na předešlý požadavek)

Po ukončení prizmatické části měření bylo figurantovi na témže testu obdobným způsobem prováděno měření dat pro sféricky indukovanou křivku FD. Na rozdíl od vergenčního požadavku, kde se prizmatický účinek předsazených čoček v obrubě sčítal,

byly všechny sférické čočky aplikovány párově (stejná dioptrická hodnota před obě oči). Pořadí jednotlivých kroků: +1D, -1D, +2D, -2D.

Měření následně probíhalo na Malletově testu (obrázek 12, test v červeném kroužku). Zde byla zjišťována přítomnost a typ FD (exo, eso). Vyskytla-li se FD, byla determinována hodnota AF stejným způsobem jako na UP testu. Pro komparativní účely byly změřeny mezní prizmatické hodnoty, při nichž se FD ještě neprojevila/ právě projevila. Tentýž postup byl proveden i pro sférické požadavky. Sledované hodnoty umožňovaly provést detailnější srovnání obou testů.

6.6 Výsledky

Z 21 zúčastněných žen a 12 mužů proběhlo u třech z nich opakované měření prizmaticky i sféricky naměřených křivek FD. Pomocí vyplněných dotazníků ([10], str. 228) bylo sedm účastníků vyčleněno ze skupiny normálních hodnot (asymptomatické osoby) a včleněno do skupiny s abnormálními hodnotami binokulárního vidění (symptomatické osoby). Dodatečně byly dvě osoby z výzkumu vyloučeny. Ze skupiny 26 asymptomatických osob (dle dotazníku) vychází statistická analýza s cílem získat normativní hodnoty sledovaných parametrů křivek FD pro daný test.

Tabulka 10: Normativní hodnoty sledovaných parametrů pro UP test do blízka (s výjimkou posledního sloupce „AF Malletův test.“ Ten uvádí srovnávací hodnoty asociální forie na Malletově jednotce do blízka). Hodnoty jsou stanoveny ze skupiny asymptomatických osob s normálním binokulárním viděním. Vysvětlivky: FD: fixační disparita (kladná: eso, záporná: exo); AF: asociální forie (kladná: base-out, záporná: base-in)

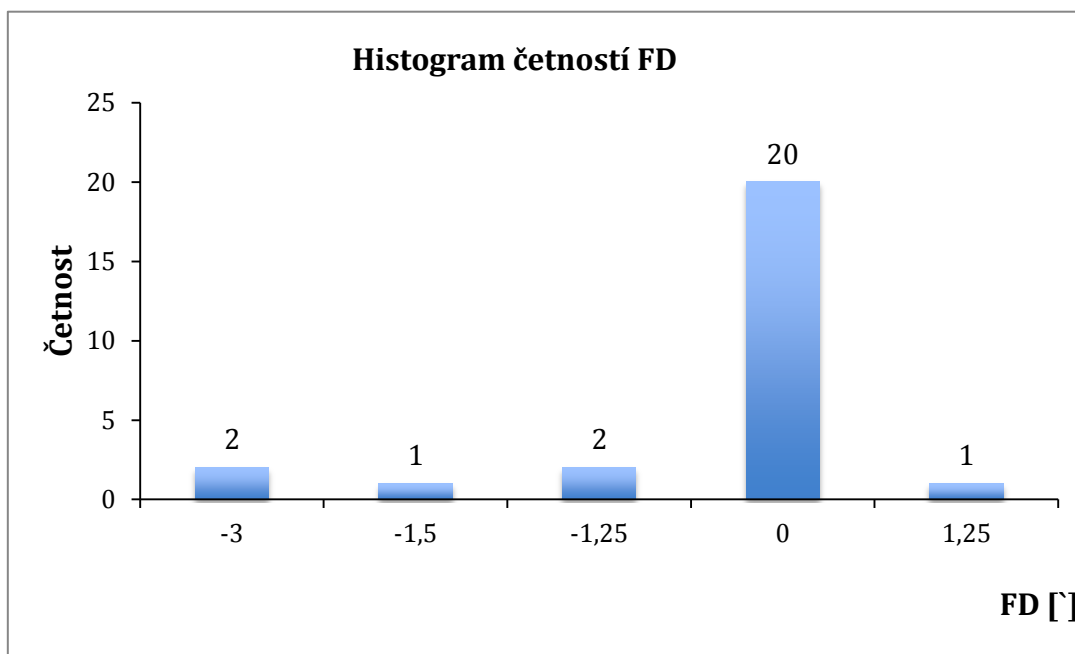
Parametr	FD ['] (so+;xo)	AF [pD] (BO+;BI-)	Sklon	AF Malletův test
Průměr	-0,34	-0,18	0,36	-0,15
Směrodatná odchylka	0,92	0,53	0,33	0,65

Naměřené typy FD (eso, exo nebo nulová FD) se na obou testech (UP test, Malletova jednotka do blízka) shodovaly v 88,5 % případů ze skupiny normálních hodnot (23 z 26 případů, viz graf 4).

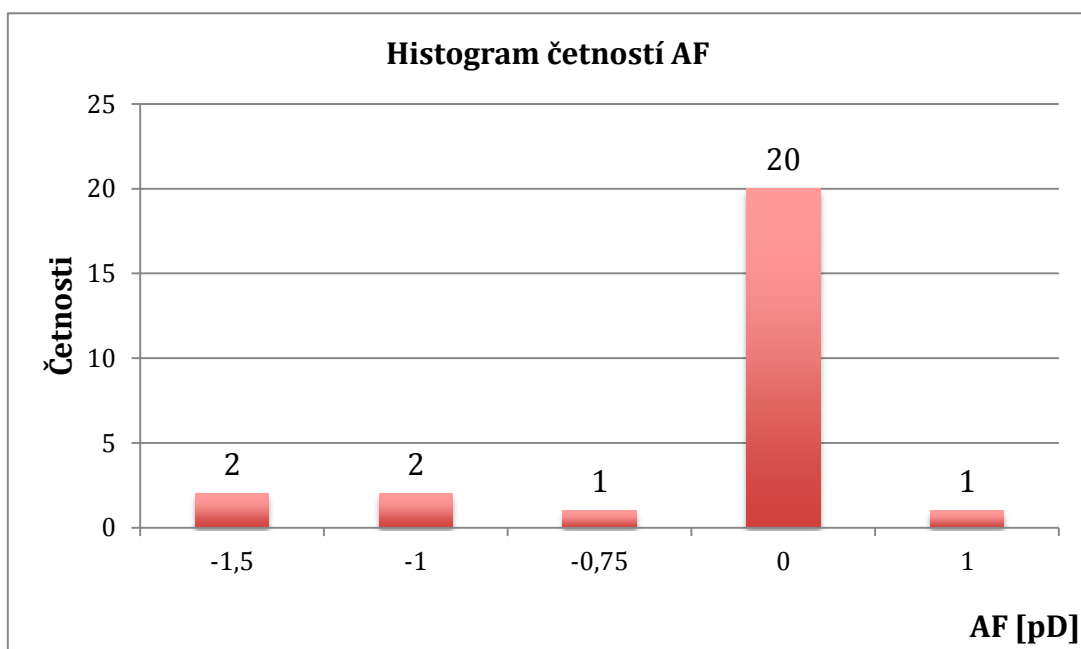
Tabulka 11: Početné i procentuální zastoupení jednotlivých typů křivek u asymptomatických osob.

Typ křivky	Četnost	Četnost v %
I	18	69,23
II	7	26,92
III	1	3,85
IV	0	0

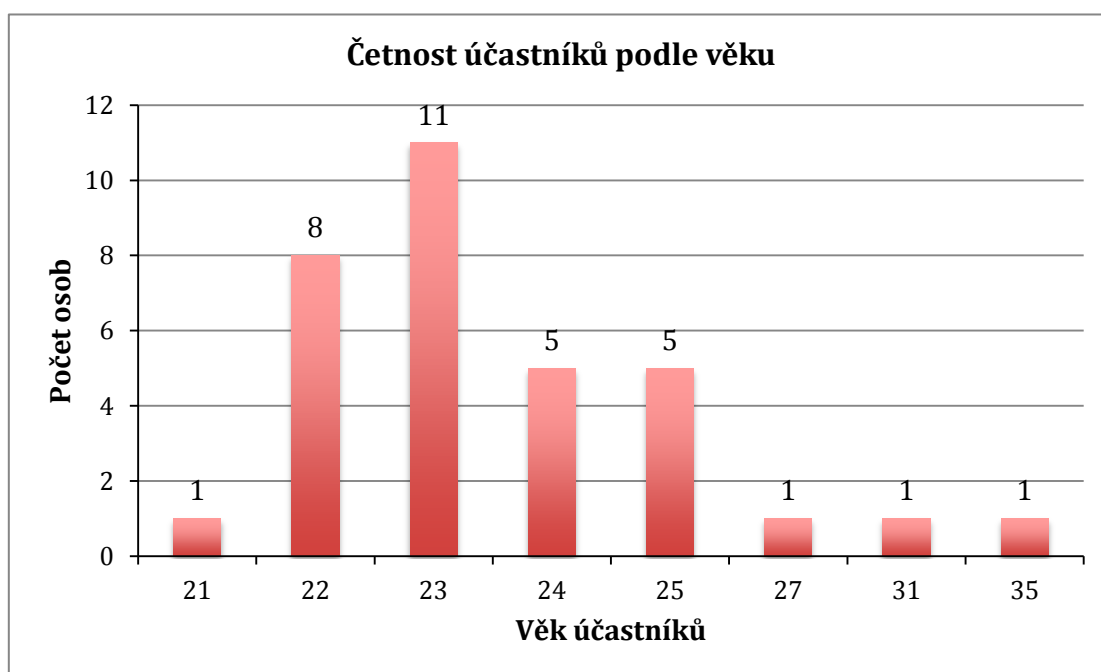
Nenulová hodnota FD se z celkových 26 případů vyskytla u UP testu 6 krát, z toho 5 případů bylo typu exo. U Malletova testu se nenulová FD vyskytla ve stejném souboru 5 krát, a to ve složení 2 krát eso a 3 krát exo (viz graf 4). Naměřené hodnoty AF pomocí Malletova i UP testu byly statisticky analyzovány pomocí dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu (hladina významnosti: 5 %). Analýza se nachází v statistickém souboru na přiloženém CD.



Graf 1: Histogram četností spektra všech normálních hodnot naměřené FD na UP testu do blízka. Záporné hodnoty na ose x představují FD typu exo, kladné hodnoty FD typu eso.



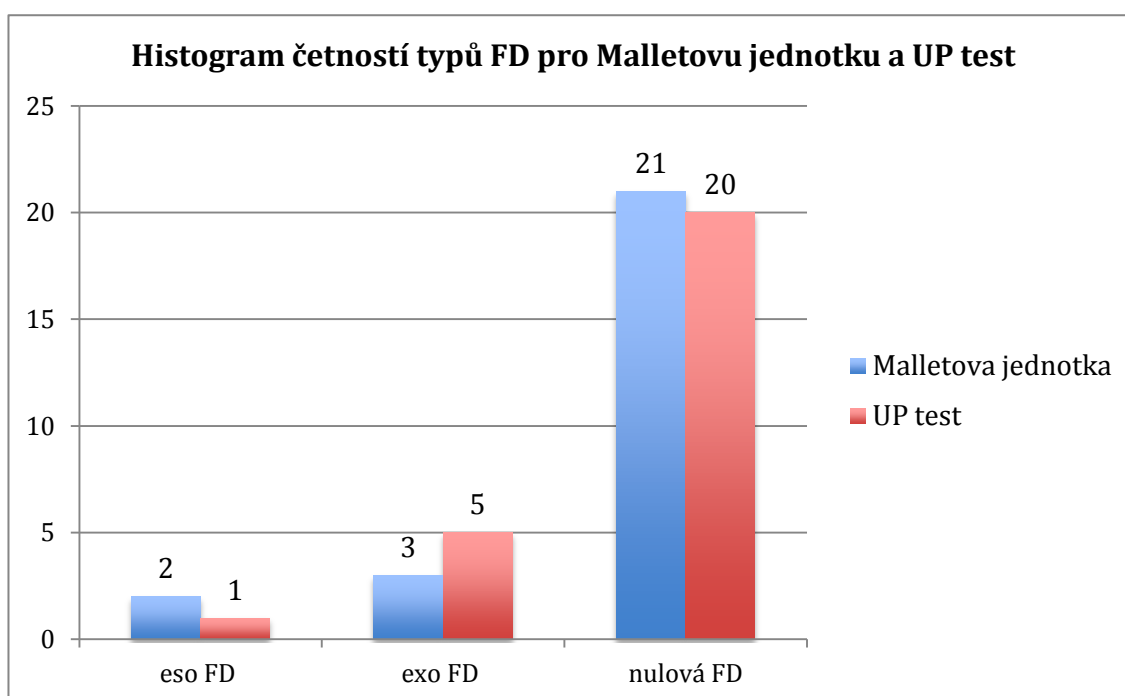
Graf 2: Histogram četností spektra všech normálních hodnot asociační forie naměřené na UP testu do blízka. Záporné hodnoty na ose x představují prizmata bází nazálně (base-in), kladné hodnoty se vztahují k prizmatům orientovaným bází temporálně (base-out)



Graf 3: Histogram četností všech účastníků výzkumu podle věku. Rozmezí bylo stanoveno na 18-35 let.

Tabulka 12: Naměřené normativní hodnoty AC/A poměru pro UP test ze skupiny asymptomatických subjektů.

AC/A poměr	
Průměr	4,13
Směrod. odchylka	1,9
Modus	4,06



Graf 4 (nahore): Histogram četností typů FD naměřených ve skupině probandů s asymptomatickým binokulárním viděním na Malletově jednotce do blízka a UP testu.

Tabulka 13: Statistika sledovaných parametrů UP testu (kromě sloupce „AF Malletův test,“ ten představuje hodnoty AF naměřené na Malletově jednotce do blízka) vytvořena pouze z naměřených nenulových hodnot FD ze skupiny normálního binokulárního vidění. Pro tabulku platí stejné vysvětlivky jako pro tabulku 10.

Parametr	FD ['] (so+;xo)	AF [pD] (BO+;BI-)	Sklon	AF Malletův test
Průměr	-1,46	-0,79	0,67	-0,80
Směrodatná odchylka	1,42	0,85	0,33	1,29

Posledním sledovaným parametrem u skupiny asymptomatických osob je typ (tvar) prizmaticky získané křivky FD. Jak ukazuje tabulka 11, I. typ se vyskytoval v téměř 70 % případů, následován II. typem (eso) s 27 %. V jednom normálním případě se vyskytl i typ III. (exo). IV. nestabilní typ se nevyskytl u žádného probanda.

6.7 Diskuze

Byla ověřena funkčnost a použitelnost UP testu do blízka. Naměřené normální hodnoty FD na UP testu jsou v absolutních hodnotách poměrně výrazně nižší oproti průměrným naměřeným hodnotám FD na Wesson Card a Sheedyho disparometru z různých studií. U Wesson Card se ve všech případech vyskytuje FD typu exo, u Sheedyho disparometru se dají nalézt i výsledky typu eso. Výrazné rozdíly ve výsledcích panují mezi jednotlivými studiemi. V některých se hodnoty FD z Wesson Card i disparometru zásadně odlišují od hodnot FD téže testů v jiných studiích. Velmi záleží na zvolené metodice. [28] Z hlediska srovnání UP testu s Wesson Card a Sheedyho disparometrem se potvrdila domněnka, že přítomnost centrálního fúzního podnětu sníží hodnotu FD. Další výhodou je prokázaná stabilita naměřených výsledků a menší variabilita hodnot dalších parametrů.

Ve srovnání UP testu s Malletovou jednotkou do blízka došlo k vysoké míře shody v typu naměřené FD (28 z 33 případů). Přitom je vhodné brát v úvahu vysokou citlivost testů na drobné odchylky a jejich odlišnou konstrukci, což mohlo finální shodu snížit. Naměřené hodnoty **asociační forie** (AF, viz tab. 10) jsou asi nejjasnějším důkazem míry shody měření na UP testu a Malletově jednotce, přičemž Malletova jednotka je považována za velmi spolehlivý nástroj pro stanovení vhodné AF u symptomatických jedinců. [29] Navíc oba testy ukázaly ve velkém počtu normálních případů schopnost nemanifestovat žádnou hodnotu FD (viz graf č. 4). Ve srovnání s Wesson Card a Sheedyho disparometrem vykazuje UP test opět výrazně nižší průměrnou hodnotu AF než jejich nejnižší průměrné hodnoty AF. I zde platí, že výsledky se od studie ke studii výrazně odlišují. Hodnoty AF například u Wesson Card kromě studie realizované Wesson a Koenig z r. 1983 ani v jedné další studii neklesají pod 2 pD base-out. Průměrné hodnoty disparometru vykazují méně konzistence a mění se u nich i znaménka. Díky tomu náš test oba soupeře předčí i v nižší hodnotě směrodatné odchylky. [26] [28] Celkově z pohledu korekce mohou být vyšší korekční

hodnoty AF u obou zahraničních testů poněkud zarážející. Na druhé straně je nutné při použití daných testů tyto hodnoty znát, poněvadž AF o velikosti 2 pD base-in naměřené na Wesson Card by vyšetřující měl považovat za normální hodnotu a vyšetřovanému ji nepředepsat. Zato stejné 2 pD base-in naměřené na Malletově jednotce či s pomocí UP testu představují úplně jinou, závažnější binokulární situaci.

Již zmíněnou vysokou míru shody naměřených AF na UP testu a Malletově jednotce dokládá provedený dvouoborový párový t-test na srovnání hodnoty, pomocí něhož mezi hodnotami AF nebyl nalezen statisticky významný rozdíl.

Sklon křivky je mnohými autory považován za jeden z nejcitlivějších ukazatelů výskytu binokulární anomálie. Z hlediska tohoto parametru dosahuje UP test opět nejnižších normálních hodnot, ale rozdíl už není několikanásobný, což je dobře pro všechny testy. Ve srovnání se Sheedyho disparometrem jsou hodnoty sklonu podobné o trochu víc s našim UP testem než s Wesson Card. [26] [28] Ve dvou případech z testovaného souboru asymptomatických jedinců získaná hodnota sklonu dosáhla z normativního hlediska již abnormální hodnoty 1, přičemž hodnoty AF a FD vyšly na hranici normy. Vyplněný dotazník tyto osoby zařadil do skupiny s normálním nálezem, z čeho lze usoudit, že stanovené normativní hodnoty parametrů UP testu jsou celkem přísné a ani osamocený nadlimitní sklon nemusí automaticky znamenat dekompenzaci binokulárního vidění. U jediného známého případu s výskytem symptomů byla naměřena vysoká hodnota sklonu (2,5) i ostatních sledovaných veličin.

Z hlediska čtyř typů křivek FD dominoval I. typ s výskytem ve zhruba 70 % případů. Výsledky jsou podobné výsledkům studií Wesson Card. Sheedyho disparometr ve většině studií vykazuje méně křivek I. typu na úkor víc křivek II. typu. [28] Zajímavostí je výskyt I. typu křivky u 6 ze 7 subjektů patřících do skupiny abnormálních hodnot. Daný jev potvrzuje fakt známý už z ověřování obdobného testu pro měření křivky FD do dálky, že typ křivky sám o sobě ještě nic nedokazuje ani nevyvrací.

Ve srovnání s obdobným experimentálním testem do dálky, jenž byl předmětem výzkumu autorovy bakalářské práce, [13] bylo do blízka naměřeno signifikantně víc nulových hodnot FD a AF. Průměrná FD do blízka je typu exo, do dálky to byl typ eso. Průměrná hodnota AF do blízka je ve srovnání s AF do dálky nižší včetně nižší směrodatné odchylky. Dominujícím typem křivky pro test do dálky byla křivka II. typu,

což neodpovídalo distribuci typů křivek testovaných do blízka. Tato skutečnost byla zdůvodněna normálním nastavením akomodace oka při pohledu do dálky (normální oko bez refrakční vady je zaostřeno na vzdálenost cca. 1,25-1,5 m).

Celkově vychází práce na UP testu do blízka vesměs pozitivně, žádný z probandů neměl problém interpretovat přítomnou odchylku, dokonce byl úspěšně změřen i proband s lehkou amblyopií. Opatření proti zásahům adaptace u normálního binokulárního vidění zmíněné v metodice výzkumu (6.6) se ukázaly jako dostatečné.

Stanovené normální hodnoty pocházejí z výsledků, které vzhledem k počtu zúčastněných dobrovolníků nebyly rozděleny podle typu HTF. Některé studie toto rozdělení preferují, aby se tak předešlo příliš velkému rozptylu naměřených hodnot. [26] V našem výzkumu k výraznému rozptylu testovaných hodnot nedošlo, naopak, rozptyl normálních hodnot všech parametrů patří ve srovnání s výsledky jiných testů k nejnižším.

Výzkum přinesl zajímavé výsledky binokulárně odvozeného AC/A poměru (viz tab. 12). Stanovené normativní hodnoty přesně odpovídají všeobecně akceptovaným normálním hodnotám. [6] Opakované kontrolní měření křivek FD na UP testu, které proběhlo u třech probandů, přineslo u všech rozdíly v rozmezí několik desetin hodnoty AC/A poměru. Jedním z úskalí měření AC/A poměru je časová náročnost výkonu. Je potřeba vymezit použité hodnoty FD z vergenční i sférické křivky tak, aby každé hodnotě FD odpovídala konkrétní sférická i prizmatická hodnota z osy x . V některých případech bylo potřeba některou hodnotu aproximovat, aby bylo možné poměr vygenerovat, což mohlo snížit jeho přesnost. Další komplikace, jež znemožnila AC/A poměr změřit, nastala ve třech z celkových 33 případů. V zmíněných případech nebyl nalezen žádný sférický požadavek z rozmezí $-2D$; $+2D$, který by navodil nenulovou hodnotu FD. Tuto skutečnost můžeme pravděpodobně vysvětlit pečlivou spoluprací vergenční adaptace s dalšími složkamivergence, přičemž určitý podíl mohla sehrát hloubka ostrosti či výrazný centrální fúzní podnět.

Výzkumný dotazník plnil důležitou funkci rozdělení účastníků studie na skupinu normálních (asymptomatických) a abnormálních (symptomatických) nálezů. Byl to jediný dostupný dotazník s letitou praxí použití. Zaměření dotazníku směřovalo k odhalování insuficience konvergence. Z interpretace odpovědí plyne, že některé osoby s jinak normálním klinickým nálezem uvedly příliš mnoho suspektních odpovědí. Tyto

osoby byly ze skupiny normálních nálezů preventivně odstraněny. Dotazník potvrdil svou funkci v případě známé symptomatické osoby. Citlivost dotazníku k odhalení suspektních osob by mohla být dalším námětem pro výzkum.

K většímu zobecnění případně modifikaci normálních hodnot UP testu by prospěl větší počet probandů s normálním binokulárním viděním. Námětem pro další výzkum se již stalo srovnání stávajících metod měření AC poměru s metodou prováděnou ve výzkumu této práce. Pro usnadnění a zpřesnění této metody by bylo prospěšné nahradit použité regresní přímky polynomickou křivkou, jejíž průběh by plně odpovídal průběhu křivky FD.

ZÁVĚR

Diplomová práce popisuje obecní principy použití metod moderní analýzy nestrabických poruch binokulárního vidění, tedy diagnostickou oblast, která přináleží speciálně optometristovi. V úvodní kapitole práce stručně přibližuje rozčlenění a účast jednotlivých složek vergence na vergenční reakci dané povahou vyšetřovacích podmínek binokulárního vidění. Kapitola se dále věnuje možnostem korekce a terapie binokulárních anomálií s důrazem na přínosy použití analýzy fixační disparity, která je prováděna ve fúzních podmínkách. V dalších kapitolách práce popisuje fenomén vergenční adaptace a její účinky na funkci i případnou korekci binokulárního vidění. Dále přibližuje tzv. integrativní analýzu, jež představuje komplexní diagnostický systém zohledňující specifické klinické skupiny parametrů, pomocí nichž je optometrista schopen přesněji charakterizovat a posléze i řešit danou anomálii. Posléze je čtenáři přiblížena problematika vzájemných interakcí akomodačního a vergenčního systému, která v současné době s využitím počítačových simulací patří mezi nejdynamičtější zkoumané oblasti optometrie. V této kapitole jsou mimo jiné nastíněny dosud často zanedbávané vlivy hloubky ostrosti oka i proximální vergence na celkovou vergenční reakci či spolupráce fúzní a akomodační vergence. Poslední kapitola teoretické části práce se věnuje klasifikaci, specifikaci a managementu nestrabických vergenčních poruch při pohledu do blízka.

Výzkumná část práce je zaměřena na konstrukci a ověření funkčnosti experimentálního testu pro měření křivky fixační disparity při pohledu do blízka (pracovně nazvaného *UP test*). Práce tím navazuje na závěry autorovy bakalářské práce, kde byla analýza křivky fixační disparity pro použití do blízka považována za velmi vhodnou část vyšetření anomálního binokulárního vidění. Pro účely vysvětlení některých principů vyšetřování a analýzy křivky fixační disparity je bakalářská práce v textu odkazována. Dále jsou ve výzkumné části v potřebné míře popsány sledované parametry křivky fixační disparity, interpretace naměřených dat a taktéž nastíněné další možnosti využití testu, zejména pro stanovení binokulárně odvozeného AC/A poměru. Touto metodou odvozený AC/A poměr se více přibližuje zkoumání v přirozených zrakových podmínkách než tradiční disociované metody.

Výzkumu se účastnilo 33 probandů ve věkovém rozmezí 21-35 let. Každý proband vyplnil dotazník, jehož negativní vyhodnocení začlenilo účastníka do skupiny

normálního binokulárního vidění. Pozitivní vyhodnocení dotazníku znamenalo zařazení do skupiny suspektně abnormálního binokulárního vidění. Proband se následně podrobil měření křivek fixační disparity pomocí prizmatického i sférického požadavku, z nichž byly ze skupiny s normálním binokulárním viděním stanoveny normativní hodnoty sledovaných parametrů křivky fixační disparity (hodnota a typ fixační disparity, hodnota asociační forie, typ křivky a sklon křivky). Stanovené normativní hodnoty *asociační forie* UP testu byly posléze srovnány s hodnotami stejné veličiny na referenční Malletově jednotce do blízka.

Dalším využitím sféricky (tj. změnami akomodace) i prizmaticky navozené křivky fixační disparity bylo stanovení hodnoty binokulárně odvozeného AC/A poměru. Z takto získaných hodnot AC/A poměru pro skupinu probandů s normálním binokulárním viděním vzešly normativní hodnoty poměru na UP testu.

V závěrečné diskuzi je diskutováno srovnání stanovených normativních hodnot UP testu s hodnotami jiných, především v zahraničí používaných testů (Wesson Card, Sheedyho disparometr). Rovněž je diskutována vysoká míra podobnosti naměřených hodnot asociační forie UP testu a referenční Malletovy jednotky do blízka na stejném souboru dobrovolníků. Konzistence a nízký rozptyl naměřených hodnot testu jsou příslibem širokého diagnostického i korekčního potenciálu pro zkušeného vyšetřujícího. Méně zkušenému specialistovi test současně nabízí jednoduchý způsob stanovení základních korekčních hodnot v případě výskytu subjektivních potíží. Byla tedy prokázána konkurenceschopnost UP testu, jenž byl vyroben v podmínkách univerzitních optických laboratoří, s prestižními (a někdy nesrovnatelně dražšími) zahraničními testy. Pro zevšeobecnění normativních hodnot by bylo vhodné otestovat větší počet účastníků s normálním (asymptomatickým) binokulárním viděním.

Seznam použité literatury

- G. von Noorden, E. Campos, „Physiology of the Ocular Movements,“ v *Binocular Vision and Ocular Motility: Theory and Management of Strabismus*, 6th Edition, St. Louis, USA, Mosby Inc., 2002, str. 67-77.
- 1]
- F. Pluháček, *Normální binokulární vidění (výukové materiály)*, Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, str. 58.
- 2]
- D. B. Elliot, *Clinical Procedures in Primary Eye Care*, 3rd Edition, Philadelphia, USA, Butterworth Heinemann Elsevier, 2007.
- 3]
- B. J. W. Ewans, R. Karania, „The Mallett Fixation Disparity Test: influence of test instructions and relationship with symptoms,“ *Ophthalmic & physiological optics*, č. 26, str. 507-522, 2006.
- 4]
- M. Scheiman, B. Wick, „Diagnosis and General Treatment Approach,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 70-79.
- 5]
- M. Scheiman, B. Wick, „Diagnostic Testing, Table of Expecteds,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 9.
- 6]
- M. Scheiman, B. Wick, „Case Analysis and Classification,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 62-67.
- 7]
- M. Scheiman, B. Wick, „General Treatment Modalities, Guidelines and Prognosis,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 99-116.
- 8]
- M. Rosenfield, „Tonic Vergence and Vergence Adaptation,“ *Optometry and Vision Science*, č. 74, str. 303-328, 1997.
- 9]

- M. Scheiman, B. Wick, *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accomodative, and Eye Movement Disorders*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
- 10] D. Carter, „Fixation disparity and heterophoria following prolonged wearing of prisms,“ *American Journal of Optometry*, č. 42, str. 141-152, 1965.
- 11] J. Cooper, „Clinical Implications of Vergence Adaptation,“ *Optometry and Vision Science*, č. 69, str. 300-307, 1992.
- 12] M. Hraško, *Analýza fixační dispartiy*, bakalářská práce, Editor: F. Pluháček, Univerzita Palackého v Olomouci, 2010.
- 13] C. M. Schor, „The influence of rapid prism adaptation upon fixation disparity,“ *Vision Research*, č. 19, str. 757-765, 1979.
- 14] M. Scheiman, B. Wick, „Interactions Between Accomodation and Vergence,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 451-467.
- 15] M. Scheiman, B. Wick, „Diagnostic Testing,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 10.
- 16] M. Scheiman, B. Wick, „Case Analysis and Classification,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 72.
- 17] M. Scheiman, B. Wick, „Low AC/A Conditions: Convergence/Divergence Insufficiency,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 223-262.
- 18] T. Grosvenor, „Management of Anomalies of Refraction and Binocular Vision,“ v *Primary Care Optometry*, 5th Edition, St. Louis, USA, Butterworth Heinemann (Elsevier), 2007, str. 263-267.
- 19]

- G. von Noorden, E. Campos, „Anomalies of Convergence and Divergence,“ v
20] *Binocular Vision and Ocular Motility: Theory and Management of Strabismus*, 6th Edition, St. Louis, USA, Mosby, Inc., 2002, str. 500-507.
- M. Scheiman, B. Wick, „High AC/A Conditions: Convergence Excess and
21] Divergence Excess,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 264-301.
- M. Scheiman, B. Wick, „Normal AC/A Conditions: Fusional Vergence
22] Dysfunction, Basic Esophoria and Basic Exophoria,“ v *Clinical Management of Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 303-332.
- M. Scheiman, B. Wick, „Fixation Disparity,“ v *Clinical Management of Binocular
23] Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 426-447.
- M. Scheiman a B. Wick, „Cyclovertical heterophoria,“ v *Clinical Management of
24] Binocular Vision*, 2nd Edition, Philadelphia, USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002, str. 407-411.
- G. von Noorden, E. Campos, „Binocular Vision and Space Perception,“ v
25] *Binocular Vision And Ocular Motility: Theory and Management of Strabismus*, 6th Edition, St. Louis, USA Mosby Inc., 2002, str. 10-11.
- D. Goss, J. Patel, „Comparison of Fixation Disparity Curve Variables Measured
26] with the Sheedy Disparometer and the Wesson Fixation Disparity Card,“ *Optometry and Vision Science*, sv. 72, č. 8, str. 580-588, 1995.
- M. T. Ukwade, „Effects of Nonius Line and Fusion Lock Parameters on Fixation
27] Disparity,“ *Optometry and Vision Science*, sv. 77, č. 6, str. 309-320, 2000.
- D. Dittmore, J. Crum, D. Kirschen, „Comparison of Fixation Disparity
28] Measurements obtained with the Wesson Fixation Disparity Card and the Sheedy Disparometer,“ *Optometry and Vision Science*, sv. 70, č. 5, str. 414-420, 1993.

D. Dowley, „Fixation Disparity,“ *Optometry and Vision Science*, sv. 66,
29] č. 2, str. 98-105, 1989.

R. Mallet, „Mallet Near Vision Unit- uživatelská příručka,“ 1997.
30]

F. Pluháček, „Analýza křivky fixační disparity,“ v *Nestrabické poruchy*
31] *binokulárního vidění (výukové materiály)*, Univerzita Palackého v Olomouci,
2012, str. 26.

PŘÍLOHA

Dotazník pro účastníky výzkumu k diplomové práci

1. Máte unavené oči nebo nepohodlí při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

2. Bolí vás hlava při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

3. Cítíte se ospalý při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

4. Ztrácíte koncentraci při čtení nebo práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

5. Máte problém si zapamatovat, o čem jste četli?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

6. Objevuje se dvojité vidění při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

7. Zdá se vám, že se slova pohybují, plavou na stránce nebo poskakují během čtení?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

8. Cítíte, že čtete pomalu?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

9. Bolí vás někdy oči nebo jsou podrážděné při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

10. Cítíte tlak nebo „táhnutí“ okolo očí při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

11. Pozorujete, že jsou slova během čtení rozmazaná nebo se rozmazávají a zaostřují?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

12. Ztrácíte pozici při čtení textu nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

13. Musíte znovu přečíst ten samý řádek při čtení nebo jiné práci do blízka?

NIKDY - OBČAS - ČASTO - VELMI ČASTO

Vyhodnocení dotazníku: Body za označené odpovědi se přidělují následovně: NIKDY= 0 b, OBČAS= 1 b, ČASTO= 2 b, VELMI ČASTO= 3 b. Součet 9 bodů a víc by měl indikovat s velkou pravděpodobností existenci již rozvinuté binokulární potíže. Dotazník je konkrétně zaměřen na insuficienci konvergence, která je nejfrekventovanější nestrabickou vergenční anomálií.

Dotazník byl převzatý z následujícího zdroje:

Scheiman M. O.D., Wick B., O.D., Ph.D. Low AC/A Conditions: Convergence Insufficiency and Divergence Insufficiency. Str. 228. *Clinical Management of Binocular Vision*. Second Edition. Philadelphia : Lippincot Williams and Wilkins, 2002.