

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2022**

**KATEŘINA  
HLADÍKOVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů**

**Porovnání metod pro vyšetření fúzních rezerv**

**Comparison of methods of fusional vergence evaluation**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Kateřina Hladíková**

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Ondřej Polícar, MSc.

---

**Kladno 2022**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hladíková** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **491818**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Optika a optometrie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Porovnání metod pro vyšetření fúzních rezerv**

Název bakalářské práce anglicky:

**Comparison of methods for fusional vergence evaluation**

Pokyny pro vypracování:

V úvodních kapitolách student popíše základní principy binokulárního vidění. Hlavní náplní teoretické části bude popis vyšetřovacích metod pro diagnostiku anomálií binokulárního vidění, a to zejména vyšetření fúzních rezerv. Student provede podrobnou rešerši na téma vyšetření fúzních rezerv a porovná jednotlivé metody na základě dřívějších studií. Různé metody pro vyšetření fúzních rezerv vytváří odlišné podmínky pro zrakový aparát a ty mohou ovlivnit výsledky. Student popíše možné faktory, které by mohly způsobovat rozdíly mezi metodami. Na základě rešerše student sestaví metodiku pro praktickou část práce. Hlavním cílem práce je porovnat různé metody pro vyšetření fúzních rezerv a zjistit, zda jsou mezi sebou zaměnitelné.

Seznam doporučené literatury:

- [1] MITCHELL, S., Wick., B., Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, ed. 4th, Philadelphia, PA: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2014, ISBN 9781451175257
- [2] EVANS, B.J.W., Pickwell's Binocular Vision Anomalies, ed. 5, Elsevier, Butterworth Heinemann, 2007, 464 s., ISBN 978-0-7506-8897-0
- [3] LANÇA, C.C., ROWE, F.J., Measurement of fusional vergence: a systematic review, Strabismus, ročník 27, číslo 2, 2019, pp. 88-113 s., DOI:10.1080/09273972.2019.1583675

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Bc. Ondřej Polícar, MSc.**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2023**

prof. RNDr. MUDr. Petr Maršálek, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
děkan

## **Název bakalářské práce:** Porovnání metod pro vyšetření fúzních rezerv

### **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním metod pro vyšetření fúzních rezerv. Do dálky byly fúzní rezervy měřeny pomocí prizmatické lišty a synoptoforu. Dále byly porovnány fúzní rezervy do blízka pomocí vektogramu, tranaglyfu a prizmatické lišty. Existuje velice málo studií, které by porovnávaly naměřené výsledky těmito metodami. Pro výzkumnou část práce bylo vybráno 46 respondentů ve věku od 20 do 25 let, kteří splňovali předem stanovená kritéria. Statistické zpracování výsledků bylo provedeno pomocí Analýzy rozptylu s post hoc analýzou, použitou pro tři metody do blízka. Naměřené hodnoty byly vyobrazeny Bland-Altmanovou metodou v rozdílových grafech a klinicky zhodnoceny. Bylo zjištěno, že naměřené hodnoty fúzních rezerv do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu nelze v praxi považovat za shodné. Synoptoforem byly naměřeny vyšší hodnoty fúzních rezerv nežli prizmatickou lištou. Metody pro vyšetření fúzních rezerv do blízka rovněž nelze označit za shodné. Pomocí vektogramu byly naměřeny nejnižší hodnoty fúzních rezerv. Bylo poukázáno, že k porovnání vektogramu a tranaglyfu je zapotřebí stejného centrálního fúzního podnětu.

### **Klíčová slova:**

fúzní rezerva, fúzní vergence, prizmatická lišta, synoptofor, vektogram, tranaflyf

**Theme of the thesis:** Comparison of methods of fusional vergence evaluation

**Abstract:**

This bachelor thesis deals with comparison of methods of fusional vergence evaluation. Fusional vergence ranges for distance were measured by a prism bar and a synoptophore. Fusional vergence for near were measured by vectogram, tranaglyph and prism bar. Unfortunately, few studies have been published to compare fusional vergence with these methods. Forty-six participants between the age of 20 and 25 years old were evaluated in this study. Statistical analysis was performed using Anova with post hoc analysis for evaluation of fusional ranges at near. Fusional vergence amplitude were clinically evaluated by Bland-Altman plot. It was found that using a prism bar and a synoptophore can not be considered identical for fusional vergence evaluation. Higher values of fusional vergence were measured by synoptophore than by a prism bar. The methods for evaluation of near fusional vergence also can be described as different. The lowest fusional vergence range were measured by the vectogram. It has been observed that the same central fusion stimulus is needed to compare vectogram and tranaglyph.

**Key words:**

fusional vergence range, prism bar, synoptophore, vectogram, tranaglyph

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu Bc. Ondřeji Policarovi, MSc. za poskytnuté rady a vstřícný přístup při psaní bakalářské práce.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Porovnání metod pro vyšetření fúzních rezerv*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v příloženém seznamu.

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

V Kladně dne .....

.....

podpis

## Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod .....                                     | 7  |
| 2     | Jednoduché binokulární vidění (JBV) .....      | 8  |
| 2.1   | Stupně JBV .....                               | 8  |
| 2.2   | Reflexní oblouk binokulární fúze .....         | 9  |
| 2.2.1 | Motorická složka fúze .....                    | 9  |
| 2.2.2 | Senzorická složka fúze .....                   | 10 |
| 2.3   | Vývoj JBV .....                                | 10 |
| 3     | Vergence .....                                 | 12 |
| 3.1   | Složky vergence .....                          | 12 |
| 3.1.1 | Tonická vergence .....                         | 12 |
| 3.1.2 | Akomodační vergence .....                      | 13 |
| 3.1.3 | Proximální vergence .....                      | 13 |
| 3.1.4 | Fúzní vergence .....                           | 13 |
| 3.2   | Adaptační mechanismus vergenčního tonu .....   | 14 |
| 3.2.1 | Rychlá fúzní vergence .....                    | 14 |
| 3.2.2 | Pomalá fúzní vergence .....                    | 14 |
| 3.2.3 | Anatomizace .....                              | 16 |
| 3.3   | Vergenčně-akomodační synkinéza .....           | 17 |
| 3.4   | Vergenční poruchy .....                        | 18 |
| 3.4.1 | Základní esoforie .....                        | 18 |
| 3.4.2 | Excess konvergence .....                       | 19 |
| 3.4.3 | Insuficience divergence .....                  | 19 |
| 3.4.4 | Základní exoforie .....                        | 20 |
| 3.4.5 | Insuficience konvergence .....                 | 20 |
| 3.4.6 | Excess divergence .....                        | 21 |
| 3.4.7 | Dysfunkce fúzní vergence .....                 | 22 |
| 3.4.8 | Zhodnocení kompenzace vergenčních poruch ..... | 22 |
| 4     | Fúzní rezervy .....                            | 24 |
| 4.1   | Princip měření PFV .....                       | 24 |
| 4.2   | Princip měření NFV .....                       | 25 |
| 4.3   | Plynulá (smooth) vergence .....                | 25 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.4   | Skoková (step) vergence .....                           | 27 |
| 4.5   | Faktory ovlivňující měření fúzních rezerv .....         | 29 |
| 4.6   | Testy pro přímé měření fúzních rezerv .....             | 30 |
| 4.6.1 | Prizmatická lišta .....                                 | 31 |
| 4.6.2 | Synoptofor .....  | 32 |
| 4.6.3 | Tranaglyf .....   | 33 |
| 4.6.4 | Vektogram .....   | 34 |
| 4.6.5 | Risleyho otočné prizma .....                            | 34 |
| 4.6.6 | Vergenční facilitita .....                              | 35 |
| 5     | Využití prizmat v terapii binokulárního vidění .....    | 37 |
| 6     | Zrakový trénink .....                                   | 40 |
| 6.1   | Nejčastěji používané vybavení pro zrakový trénink ..... | 41 |
| 7     | Praktická část .....                                    | 43 |
| 7.2   | Cíle .....  | 43 |
| 7.3   | Hypotézy .....  | 43 |
| 7.4   | Metodika výzkumu .....                                  | 44 |
| 7.4.1 | Vyšetřované osoby .....                                 | 44 |
| 7.4.2 | Vyšetřovací postupy .....                               | 46 |
| 7.4.3 | Analýza dat .....                                       | 51 |
| 7.5   | Výsledky .....  | 52 |
| 7.5.1 | Hypotéza č. 1 .....                                     | 52 |
| 7.5.2 | Hypotéza č. 2 .....                                     | 58 |
| 7.6   | Diskuze .....   | 63 |
| 7.7   | Závěr .....   | 67 |
|       | Seznam použité literatury .....                         | 69 |
|       | Seznam symbolů a zkratek .....                          | 75 |
|       | Seznam obrázků .....                                    | 76 |
|       | Seznam tabulek .....                                    | 77 |
|       | Seznam grafů .....                                      | 78 |
|       | Přílohy .....   | 79 |

# 1 Úvod

Vyšetření zraku optometristou neznamena pouze stanovení dioptrické korekce, ale i provedení podrobné diagnostiky stavu binokulárního vidění. Práce s digitálními zařízeními se stala běžnou součástí našeho každodenního života, a tudíž i nároky na zrakové pohodlí se čím dál více zvyšují. Namáháním akomodačně-vergenčního aparátu může docházet k poruchám binokulárního vidění. Vzniklé astenopické potíže mohou jedince přivést za optometristou, který na základě rozboru binokulárního vidění nalezne příčinu problému a nabídne vhodné řešení. Jednou z možných příčin poruch vergenčního systému je neadekvátní rozsah fúzních rezerv, pro které zrakový trénink představuje možné řešení k poskytnutí zrakové pohody. Velikost fúzních rezerv optometristovi podává informaci o schopnosti kompenzace heteroforie. Pro fúzní rezervy se používá řada synonym jako například fúzní vergence, fúzní amplituda, relativní vergence či šířka fúze.

První kapitola teoretické části bakalářské práce obecně pojednává o problematice binokulárního vidění a jeho vývoji. V rámci kapitoly vergence jsou popsány její složky, především pomalá a rychlá složka fúzní vergence. Dále je vysvětlen princip vergenčně-akomodační synkinézy a jsou popsány jednotlivé vergenční poruchy. Následující kapitola již podrobněji pojednává o fúzních rezervách, jejich principech, přístrojovém vybavení a očekávaných hodnotách. Jsou zde popsány i faktory, které ovlivňují měření fúzních rezerv.

Cílem výzkumné části je porovnání různých metod pro vyšetření fúzních rezerv do dálky a do blízka. Do dálky je porovnávána prizmatická lišta a synoptofor. Do blízka byly k porovnání použity vektogram, tranaglyf a rovněž prizmatická lišta. Motivací k zpracování tohoto tématu bylo zjistit, do jaké míry se jednotlivé testy mezi sebou liší a získané poznatky si odnést do praxe, zaměřené především na zrakový trénink. V metodické části jsou sepsány kritéria pro výběr respondentů a vyšetřovací postupy pro zjištění velikosti fúzních rezerv jednotlivými metodami. Podle výsledků statistické analýzy jsou vyvráceny nebo potvrzeny předem stanovené hypotézy. Závěrečná diskuze se věnuje zhodnocení naměřených výsledků, porovnání se zahraničními studiemi a očekávanými hodnotami.

## 2 Jednoduché binokulární vidění (JBV)

JBV lze popsat jako integraci nezávislých obrazů pravého a levého oka do jednoho binokulárního vjemu. [1]

Pro správný průběh binokulárního vidění je však nutné splnění několika senzorických a motorických podmínek. Mezi senzorické podmínky se řadí podobná velikost sítnicových obrazů, centrální fixace na obou očích a normální retinální korespondence. Další důležitou podmínkou pro senzorickou složku je schopnost fúze a správná funkce zrakových drah a center v centrální nervové soustavě. [2,3]

V rámci motorické složky je podmínkou paralelní postavení očí při pohledu do dálky, volná pohyblivost očí, adekvátně pracující akomodace a její vztah s konvergencí. Další důležitou podmínkou je rovněž správná funkce motorických drah a center. [2,3]

### 2.1 Stupně JBV

Dle Wortha je JBV rozděleno do tří stupňů. Prvním stupněm je superpozice neboli překrytí dvou různých obrázků. Nejznámějším příkladem je tzv. obrázek lva v kleci na synoptoforu [3].

F. Rowe [4] kromě superpozice rozlišuje ještě schopnost simultánní percepce, která představuje jakýsi předstupeň superpozice. Jedná se o schopnost současně vnímat dva obrazy, kdy každý se nachází na sítnici jednoho oka. Po potvrzení přítomnosti simultánní percepce lze ověřit schopnost superpozice neboli překrytí dvou obrazů vytvořených na korespondujících místech sítnice s projekcí do stejného místa v prostoru. [4] Pro zjištění případné suprese a potvrzení nepřítomnosti superpozice lze použít přístroj synoptofor či některou anaglyfní techniku například Worthovy světla nebo Schoberův test. Bez schopnosti superpozice nemohou být přítomny ostatní stupně JBV. [3]

Druhý stupeň JBV představuje velmi důležitá fúze, při které dochází ke spojení dvou téměř identických sítnicových obrazů v jeden. Fúze se skládá ze senzorické a motorické složky [3]. Dle rozsahu sítnice, která se na spojení obrazu účastní je fúze rozdělena na periferní, makulární a foveolární. [2]

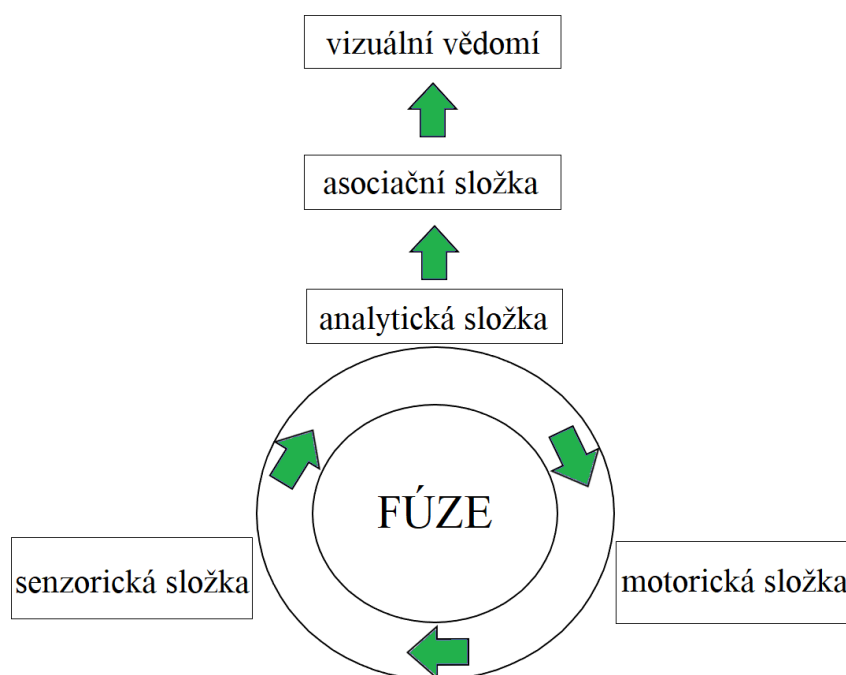
Nejvyšším stupněm JBV je stereopse (prostorové vidění), při které obrazy předmětu dopadají na lehce horizontálně disparátní místa sítnice, tedy na místa v rámci Panumova prostoru. Výsledkem je trojrozměrné vnímání neboli rozlišení hloubky objektů v prostoru [3,4].

## 2.2 Reflexní oblouk binokulární fúze

Vytvoření jednoduchého binokulárního vjemu ze sítnicových obrazů každého oka se děje na kortikální úrovni a je nazýváno jako binokulární fúze. [5] Tento proces zpracování obrazu vizuálním systémem je znám pod pojmem tzv. fúzní teorie. [6]

Reflexní oblouk binokulární fúze (*obr. 2.1*) lze rozdělit do několika složek neboli kroků, důležitých k vytvoření binokulárního vjemu. Je to motorická složka fúze (2.2.1 Motorická složka fúze) a sensorická složka (2.2.2 Sensorická složka fúze), kterou lze ještě rozdělit na složku analytickou a percepční. Nejvyšším stupněm reflexního oblouku binokulární fúze je asociační složka a vizuální vědomí. [7]

V asociační korové oblasti v primární zrakové oblasti Brodmannově aree 18 a 19 probíhá zpracování zrakových informací asociační složkou binokulární fúze. Nacházejí se zde dvě dráhy. Dorzální dráha neboli magnocelulární, která zpracovává informace o pohybu a prostoru. Ventrální dráha neboli parvocelulární analyzující detaily a barvy. [7,8]



Obrázek 2.1 Reflexní oblouk binokulární fúze [7]

### 2.2.1 Motorická složka fúze

Motorická složka fúze zajišťuje pomocí rozsahu očních pohybů správnou funkci a udržení sensorické složky fúze. [4,9] Úkolem motorické fúze je správné protnutí os vidění v předmětu fixace tak, aby fixovaný předmět byl zobrazen na hlavních korespondujících

místech sítnice. [3] V případě, že je předmět zobrazen na disparátních místech sítnice, mimo Panumův prostor, dochází ke korekčnímu fúznímu pohybu směrem do konvergence nebo divergence tak, aby byl pozorovaný předmět viděn opět jednoduše. [3,9] Na rozdíl od sensorické složky, která probíhá mezi korespondujícími místy sítnice, motorická fúze je záležitostí extrafoveolární sítnicové periferie. Není přítomen žádný stimul pro vykonání motorické fúze, pokud obrazy pozorovaných objektů dopadají do fovey každého oka. [9]

Lidé se strabismem většinou neumí udržet motorickou fúzi, protože nezvládají současně umístit obraz objektu na foveu každého oka. V případě, že je strabismus spojen se supresií je nedostačující jak motorická, tak i sensorická složka fúze. Naopak, pokud je strabismus spojen s anomální retinální korespondencí je nedostatečná pouze motorická fúze. Díky anomální retinální korespondenci neboli anomální formě binokulárního vidění je sensorická fúze funkční. [6]

### 2.2.2 Sensorická složka fúze

Senzorická fúze je schopnost vnímání dvou podobných obrazů, promítaných na sítnici obou očí a jejich spojení v jeden vjem na úrovni zrakového kortexu. [4,6] Charakteristickým znakem sensorické složky je, že nastává i bez vykonání očního pohybu. [3]

V týlním laloku primární zrakové kůry se nachází oblast V1, do které jsou zasílány zrakové informace prostřednictvím akčních elektrických potenciálů. V oblasti V1 v area striata, neboli Brodmanově aree 17 dochází ke spojení obrazových informací pravého a levého oka, na čemž se podílí analytická složka binokulární fúze. Hlavní funkcí analytické složky je porovnání obrazových signálů a detekce signálu o disparitě a rozostření. V případě nalezení nestejných monokulárních signálů ve velikosti, jasů a ostroty vzniká překážka v analytické složce a reflexní oblouk binokulární fúze následně neprobíhá správně. [7,8] Nestejně obrazy jsou tedy závažnou překážkou pro fúzi. [9] Například anizometropie nebo amblyopie způsobí rozrušení sensorické fúze. [6] Odlišnosti v barvě a konturách obrazů mohou vést i k tzv. retinální rivalitě. [9]

## 2.3 Vývoj JBV

Vývoj JBV není po narození zcela ukončen, naopak nejdůležitější kroky ve vývoji zraku se dějí během několika prvních měsíců života a postupně se upevňují a zdokonalují do 6 let věku. V případě, že do normálního vývoje zasáhne nějaká porucha, dochází k přerušení rozvoje zrakových funkcí a binokulární vidění získává patologický průběh. [2] Období několika prvních měsíců je pro vývoj JBV nejcitlivější a označuje se jako tzv. kritická perioda vývoje JBV. [4,5]

V případě vzniku poruchy začínají pracovat adaptační mechanismy, které na nově vzniklou situaci reagují. [3] Takovými adaptačními mechanismy je suprese, amblyopie nebo anomální retinální korespondence. [9]

Ihned po narození jedinec reaguje na světelný zdroj pouze nekoordinovanými konjugovanými pohyby, centrální fixace není přítomna. Foveola není ještě zcela vyzrálá a asociační spoje mezi sensorikou a motorikou nejsou vytvořené. Postupem času začínají být pohyby očí plynulejší. Ve 2. měsíci života začíná dítě sledovat předměty konjugovanými pohyby, fovea začíná být funkčně vyzrálejší. Se zlepšováním centrálního vidění jsou i oční pohyby mnohem přesnější. [3]

Vergenční pohyby očí se začínají objevovat ve 3. měsíci, kdy dítě pozoruje vzdálenější a bližší předměty. O měsíc později si dítě předměty dokáže prohlížet a zaostřovat na ně, je přítomný reflex akomodace. V 6. měsících dochází k centrálnímu spojení obrazů obou očí v jeden vjem, což je známé pod pojmem fúze. [2] Postupem času se fúze upevňuje. Při předložení prizmatického hranolu bází zevně je možné pozorovat korekční pohyb k obnovení bifoveální fixace. [4,10]

Do 1. roku se fúzní pohyby upevňují. [10] V 1. roce života si dítě začíná osvojovat chůzi a jiné motorické dovednosti se smyslem pro vzdálenost, které přispívají k rozvoji prostorového vidění. [3]

## 3 Vergence

Vergenční pohyby slouží k sledování postupně vzdalujícího nebo přibližujícího cíle nebo k rychlé změně fixace z jednoho cíle v určité vzdálenosti na druhý cíl v jiné vzdálenosti před očima. [5] Mezi vergenční pohyby patří konvergence, divergence, pozitivní a negativní vertikální vergence a in/ex cyklovergence. Konvergence nastane v případě přibližujícího se objektu, divergence při pozorování vzdalujícího se objektu. [9] Při vergenci se pohyby očí stáčí opačným směrem, nazývají se jako disjungované, při kterých oční svaly spolupracují odlišným způsobem než při verzích (konjugovaných) očních pohybech. [9] Při verzích pohybech jsou přítomné rychlé sakadické pohyby o rychlosti  $100^{\circ}$ – $500^{\circ}$  za sekundu. U vergenčních pohybů jsou rychlé pohyby nahrazeny pomalými se zřetelným tonickým rázem. Rychlost u disjungovaných pohybů nabývá okolo  $20^{\circ}$  za sekundu. [5]

### 3.1 Složky vergence

Prvním, kdo definoval složky vergence byl Maddox. Uvedl, že vergenční pohyby očí se skládají ze 4 složek, tonické, akomodační, proximální a fúzní. [11]

#### 3.1.1 Tonická vergence

**Tonická vergence** je zajištěna základním tonem vnitřních okohybných svalů, které udržují klidové paralelní postavení očí. [10] I v klidové poloze bdělých očí stále probíhá elektrická aktivita skrze okohybné svaly. [9] Ikdyž není přítomen fúzní podnět, jsou oči stočeny lehce do konvergence, přibližně  $0,25$ – $0,75$  metrových úhlů [12]. Z tohoto důvodu je tonická vergence označována také jako tonická konvergence. [10] Ve spánku tonická vergence není přítomna, oči se stácejí lehce zevně a nahoru. Toto je známé jako tzv. Bellův fenomén. [4]

Tonická vergence vyjadřuje rozdíl mezi anatomickou a fyziologickou (tonickou) polohou očí. Klidová anatomická poloha představuje postavení očí bez jakékoliv inervace přivedené k okohybným svalům. [5] Bylo uvedeno, že anatomické postavení očí je divergentní. [5,9,12] Vyšetřování byli zemřelí anebo bylo provedeno pozorování polohy očí během celkové anestezie či v hlubokém spánku a vše potvrdilo divergentní anatomickou polohu. Bylo zjištěno, že anatomická poloha nabývá hodnot v rozmezí  $0^{\circ}$ – $-25^{\circ}$ . [12]

Tonická vergence nastává, když všechny vnější vergenční podněty pracují na minimum, jako je například proximální, akomodační konvergence, částečná disparita [12] Tonickou polohou očí lze zjistit pomocí elektromyografických technik během svalové inaktivity. [12] Extraokulární svaly v klidové fázi nikdy nejsou bez elektrické aktivity. [9] Již v roce 1948

Cogan tvrdil, že tonická inervace v oko-hybných svalech vzniká ze čtyřech primárních zdrojů: labyrinto-vestibulární aparát, propioceptivní impulsy vycházející z veškerého svalstva, především krčních svalů, dalším zdrojem je sítnice osvětlená alespoň částí zorného pole a vyšší centra nervové soustavy. [13]

Z výše uvedených informací lze říci, že správná hodnota tonické vergence může být určena z rozdílu mezi anatomickou ( $-20^\circ$ ) a fyziologickou klidovou (tonickou) polohou ( $+3^\circ$ ) oka. Přibližná hodnota tonické vergence vychází tedy  $+23^\circ$ . Klidová fyziologická poloha (tonická) leží téměř u paralelnímu postavení očí. [12]

### 3.1.2 Akomodační vergence

**Akomodační** vergenci (konvergenci) lze vyvolat předložením rozptylky před jedno oko, která způsobí akomodaci. Zároveň na druhém zakrytém oku dojde ke stočení očí lehce do konvergence. Vztah mezi akomodací a akomodační konvergencí je vyjádřen pomocí AC/A poměru, který říká, že určité akomodaci v dioptriích odpovídá určitá hodnota konvergence v prizmatických dioptriích (3.3 Akomodačně-vergenční synkinéza). Hodnota AC/A poměru je pro každého individuální a odvíjí se od případné vergenční poruchy. [10]

### 3.1.3 Proximální vergence

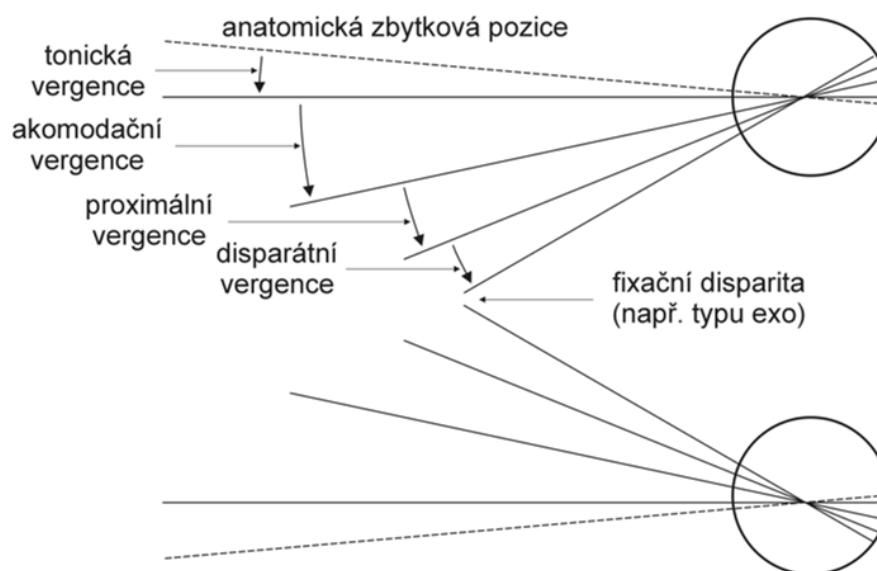
**Proximální** vergence (konvergence) nazývaná občas jako psychická je podmíněna vnímáním blízkého předmětu. Může se objevit při vyšetřování na přístrojích, na kterých je optickým zobrazením pozorovaný obraz posouván do nekonečna. I přesto, že optický aparát přístroje navozuje desakomodaci, fyzické vnímání blízkého předmětu může být silnější a proximální konvergence se projeví. [3] Dle Scheimana a Wicka při pohledu do blízka tvoří proximální vergence téměř 70 % z celkové vergence. [15]. Ovšem dle výzkumů z posledních let nevychází zcela jednoznačný závěr, jak velký podíl má proximální vergence. V závislosti na tzv. closed-loop podmínkách akomodace, může být příspěvek proximální konvergence na celkové vergenci i mnohem nižší. Tyto výsledky ovšem nejsou potvrzené. [14]

### 3.1.4 Fúzní vergence

**Fúzní** vergenci lze označit za disparátní, způsobenou sítnicovou disparitou. Jejím úkolem je srovnání os vidění tak, aby bylo zajištěno JBV. Fúzní vergence kompenzuje heteroforii a opravuje sumu ostatních vergenčních složek. [11,16]

Fúzní vergence se skládá ze dvou komponent, z rychlé a pomalé složky vergenční reakce. (3.2.1 Rychlá fúzní vergence a 3.2.2 Pomalá fúzní vergence)





Obrázek 3.1 Složky vergence [16]

## 3.2 Adaptační mechanismus vergenčního tonu

Většina cvičení vergence je postavena na principu třístupňového adaptačního mechanismu vergence dle Guytona, který tento princip popsal ve vztahu k prizmatické zátěži. Jedná se o fyziologický mechanismus, který se prostřednictvím cíleného dávkování vergenční zátěže používá k terapii motorické složky fúze. Mechanismus se skládá ze tří fází a klíčovou úlohu v něm hraje vergenční tonus. [17]

### 3.2.1 Rychlá fúzní vergence

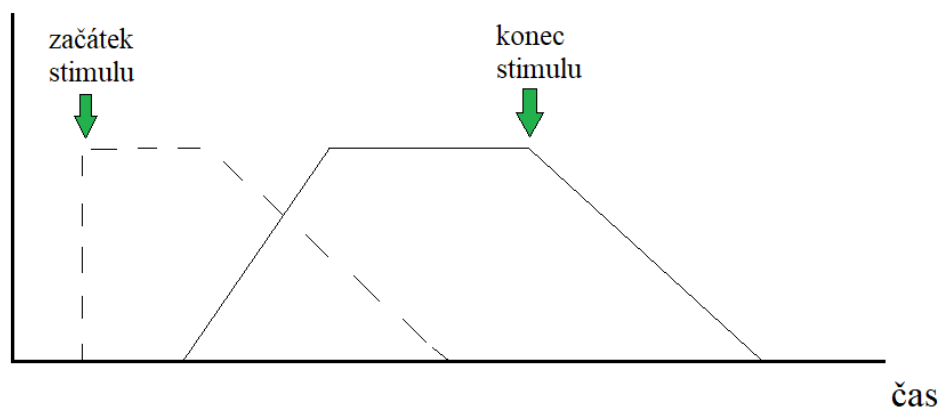
**Rychlý systém** vergenční adaptace představuje první fázi, pro kterou je charakteristické, že časová konstanta je v řádu ms. Pokud zrakový aparát detekuje disparitní signál, zareaguje fúzní vergence, která disparitu vyruší. Při vymizení disparity, vymizí i odpověď rychlé fúzní vergence. Při delším působení rychlá složka plynule přechází v pomalou složku fúzní vergence. [12,17]

### 3.2.2 Pomalá fúzní vergence

**Pomalý systém** vergenční adaptace je druhou fází s časovou konstantou 4-5 minut. Je to například situace, kdy prizma před okem ponecháme delší dobu. Dochází zde k dlouhodobé detekci konstantní disparity. Rychlá disparitní vergence je nahrazena pomalou tonickou

vergenčí, která vergenční odpověď udrží déle. Po vymizení disparity je vergence zachována a nulový bod vergence je změněn, posunut do nového nulového bodu. [17]

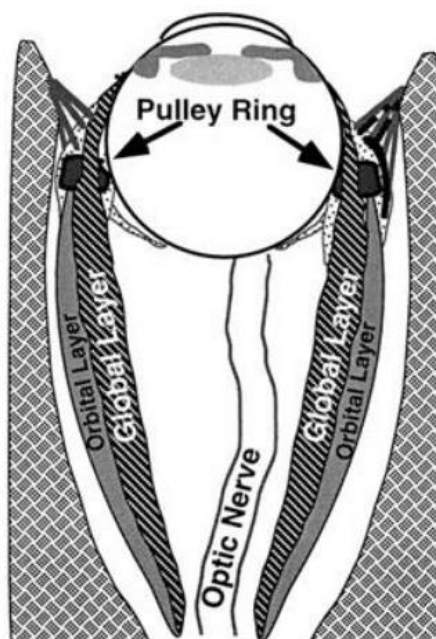
vergenční reakce



Obrázek 3.2 Schéma prizmatické adaptace [12]

Pomalá a rychlá složka fúzní vergence patří do mechanismu vergenční adaptace, [17], kterou lze popsat na příkladu prizmatické adaptace. Obr. 3.2. zobrazuje přerušovanou čarou rychlou složku fúzní vergence. Začátkem stimulu může být předložení prizmatu před oko. Po určité době začne křivka rychlé fúzní vergence klesat a je pozvolně nahrazena křivkou pomalé fúzní vergence (plná čára). Na konci doby působení fúzního podnětu dochází i k rozpadu pomalé fúzní složky. [12]

V souvislosti s vergenční adaptací roku 2000 Joseph Demer popsal tzv. teorii aktivních kladek, [18] která uvádí, že oko-hybný sval má dvě vrstvy: bulbární (vnitřní) a orbitální (vnější) (obr. 3.3). Tonická vergence se realizuje pomocí orbitální vrstvy, která komunikuje s tzv. kladkami. Kladky prostřednictvím orbitálních vláken mohou měnit svoji polohu a tím pádem měnit akci bulbární vrstvy (vnitřní). [18,19]



Obrázek 3.3 Bulbární a orbitální vrstva okohybného svalu [18]

**Rychlá fázičká vergence** je dána kontrakcí bulbární vrstvy a je pro ni charakteristické, že rovina úponů svalu a rovina kladek se vůči sobě dostávají do určitého úhlu. Bulbární vlákna ale mají celkem složitou strukturu na to, aby postavení udrželi dlouhodobě. To je pro zrakový aparát energeticky náročné. Pokud tedy vynucené postavení očí, např. konvergence trvá dostatečnou dobu (3-5 minut), přemění se akce bulbární vrstvy na akci v orbitální vrstvě. Tah v orbitální vrstvě změní polohu aktivních kladek. [18,19]

**Pomalá tonická reakce** je reprezentována orbitálními vlákny. Vzniká nový nulový bod vergence, ze kterého může vycházet další fázičká rychlá vergence a cyklus se opakuje. [18,19]

Pokud náhodou požadavek na vergenční postavení trvá ještě déle (týdny, měsíce), dojde ke změně délky okohybných svalů. (3.2.3 Anatomizace) [17]

### 3.2.3 Anatomizace

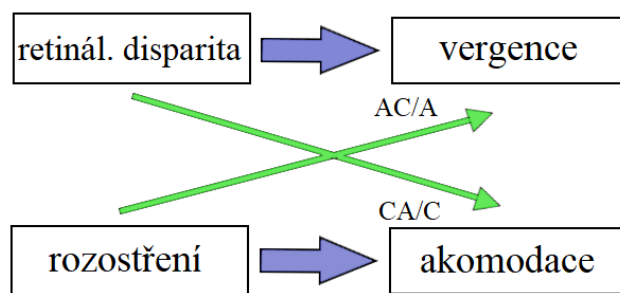
Kromě neurálního mechanismu vergenční adaptace reprezentované rychlou a pomalou složkou fúzní vergence, byl uveden druhý mechanismus týkající se adaptace okohybných svalů. [17]

Po dlouhodobé ustálené fixaci dochází ke změně v tonické vergenci. Třetí fází třístupňového adaptačního mechanismu je **změna délky okohybných svalů**, pro kterou je potřeba nejdelší časová konstanta, a to několika dnů až týdnů. Změna délky okohybných svalů není záležitostí adaptace jako tomu je u rychlé a pomalé vergenční adaptace, ale procesem

učení. Prakticky si to lze představit tak, že prizma v brýlích ponecháme dlouhodobě. Nejprve zapůsobí disparitní vergence, po které následuje tonická vergence. V průběhu týdnů se tonická vergence tzv. anatomizuje. [17,19]

### 3.3 Vergenčně-akomodační synkinéza

Vergence je vždy doprovázena akomodací a akomodace je rovněž vždy doprovázena vergencí. (obr. 3.4) Při stimulaci akomodace je současně vyvolán impuls do vergenčního systému, který o určitou akomodační konvergenci zvýší konvergenci očí. Toto se nazývá jako akomodační konvergence, která je vyjádřena pomocí AC/A poměru. Naopak při konvergenci je vyslán impuls do akomodačního systému, který o určitou konvergenční akomodaci zvýší akomodaci. Toto se nazývá jako konvergenční akomodace, popisována pomocí tzv CA/C poměru. [16]



Obrázek 3.4 Vergenčně-akomodační synkinéza [20]

AC/A poměr udává, jaký konvergenční podnět v pdpt je vyjádřen zapojením akomodace. Slovně vyjádřeno, kolik pdpt konvergence připadá na 1 D akomodace. [16]

Velikost AC/A poměru je charakteristickým znakem binokulárních diagnóz. Například excess konvergence charakteristický vysokým AC/A poměrem je vhodný řešit plusovými čočkami. Naopak základní esoforie s normálním AC/A poměrem je naopak vhodná pro prizmatickou korekci nebo zrakový trénink. [15]

Velikost AC/A poměru lze měřit dvěma metodami. Gradientní metodou jsou předkládány spojky +1,0 D (+2,0 D) a rozptylky -1,0 D (-2,0 D), které ovlivňují akomodaci a následně i vergenci. Pomocí změny forie, způsobené předložením mínusové čočky, je následně možné určit AC/A poměr. [16] Například u esoforie 2 pdpt na blízko se po předložení

-1,0 D změny esoforie na 7 pdpt, výsledný AC/A poměr je 5:1. [15] Normální hodnoty AC/A poměru změřeného gradientní metodou jsou 3:1 pdpt/D. [16]

Druhá metoda se nazývá početní, vzorec pro výpočet AC/A poměru početní metodou:

$$\frac{AC}{A} = PD (cm) + f(m) * (HTFB - HTFD)$$

Pro výpočet AC/A poměru je nutné znát pupilární vzdálenost (PD), fixační vzdálenost do blízka (f) a velikost heteroforie do blízka (HTFB) a do dálky (HTFD). Exoforické odchylky mají zápornou hodnotu a esoforické kladnou. [15]

Zjištění AC/A poměru pomocí těchto dvou metod bývá rozdílené. Početní metoda mívá obvykle vyšší hodnoty AC/A poměru než gradientní. Například u excessu konvergence nebo excessu divergence lze gradientní metodou naměřit normální AC/A poměr a početní metodou zvýšený AC/A poměr. Vysvětlením je účinek proximální konvergence a tzv. lag of accommodation. [15]

### 3.4 Vergenční poruchy

Vergenční poruchy neboli nestrabické binokulární anomálie lze rozdělit podle AC/A poměru. Hodnoty normálního AC/A poměru nacházíme u základní esoforie, základní exoforie a u dysfunkce fúzní vergence. Nízký AC/A poměr je charakteristický pro insuficienci konvergence a insuficienci divergence. Naopak vysoký AC/A poměr lze najít u excessu konvergence a excessu divergence. [15]

Každá vergenční porucha má své charakteristické znaky, mezi které mimo jiné patří i ovlivnění velikosti fúzních rezerv.

#### 3.4.1 Základní esoforie

Úchylka do dálky i do blízka je stejná. [5] Charakteristickými symptomy jsou astenopické potíže, občasné rozmazané nebo i dvojité vidění. Při vyšetření nalézáme snížené NFV do dálky i do blízka, sníženou schopnost vergenční facility při předložení flipperu s prizmatem BN. Dále sníženou pozitivní relativní akomodaci a horší akomodační facilitu s mínusovými čočkami. V případě společného výskytu základní esoforie a hypermetropie, pomáhá předepsání brýlí pro korekci hypermetropie vyřešit i problém základní esoforie. Jako primární řešení základní esoforie je považováno předepsání prizmatické korekce, které může být sekundárně doplněné zrakovým tréninkem. [15]

### 3.4.2 Excess konvergence

Velikost esoforie je větší do blízka nežli do dálky. [1,4] Primární příčinou je vysoký AC/A poměr, který u excessu konvergence bývá větší než 6 pdpt/D. Mezi symptomy patří rozmazané vidění do blízka, únava očí, bolest hlavy, problémy s přestřováním do dálky po dlouhé práci do blízka. Excess konvergence se týká především mladých lidí, u kterých je na místě provést cykloplegickou refrakci k zjištění latentní hypermetropie nebo spasmu akomodace. V mnoha případech pouze změna pracovní vzdálenosti může zlepšit subjektivní obtíže. [1]

Nadměrné akomodační úsilí, způsobené buď nekorigovanou hypermetropií, latentní hypermetropií, včasnou presbyopií, spasmem akomodace nebo pseudomyopií jsou stavy, které problém s excesem konvergence mohou stav excessu konvergence ještě zhoršit. V případě výskytu hypermetropické refrakční vady je nutné nasazení plné plusové korekce. [1]

Primárním řešením excessu konvergence je předepsání adice do brýlí. Alternativou jsou multifokální brýlové čočky, které přináší úlevu při čtení. [1]

V rámci zrakového tréninku se používají testy pro podporu akomodace bez zapojení konvergence, například posílení pozitivní relativní akomodace. Další možností je posílení NFV a vergenční facility při předložení flipperu s prizmatem BN, při které s neměním akomodace nýbrž pouze divergentní pohyb očí. Prizmatická korekce není primárním řešením. [1]

### 3.4.3 Insuficience divergence

Velikost esoforie je do dálky větší nežli do blízka. [4] Nejčastější příčinou insuficience divergence je nekorigovaná hypermetropická vada. Obvykle po nasazení správné hypermetropické korekce dojde k snížení insuficience divergence. U mladých lidí by měla být možná přítomnost latentní hypermetropie vyloučena cykloplegií. Symptomy se objevují spíše při pohledu do větší vzdálenosti a ve večerních hodinách. Konkrétně lidé mívají bolest hlavy v čelní oblasti, občasnou diplopii a zamlžené vidění v případě nekorigované hypermetropie. V některých případech i po nasazení hypermetropické korekce nedojde ke zlepšení a jedná se o nerefrakční, neakomodační typ esoforie. [1]

V případě, že korekce refrakční vady nezlepší stav insuficience divergence je primárním řešením předepsání prizma. [15] Dále je možné přistoupit i k zrakovému tréninku. Příkladem může být cvičení založené na fyziologické diplopii. Dotyčný pozoruje jeden předmět umístěný ve vzdálenosti 3-6 m a u druhého předmětu ve vzdálenosti přibližně 40 cm vnímá jeho rozdvojení. Pacient následně zvládá uvědomění si zkřížené i nezkřížené fyziologické diplopie

při střídavé fixaci z dalekého na blízký předmět. Další postupy cvičení u insuficience divergence spočívají v posílení NFV a pozitivní relativní akomodace. [1]

### 3.4.4 Základní exoforie

Úchylka do dálky i do blízka je stejná. [5] Mezi symptomy základní exoforie patří intermitentní suprese, která zamezí vzniku astenopických obtíží. Objevují se bolesti hlavy, oční únava, občasná diplopie. Intermitentní exoforie u dětí bývá spojena s nadměrným mrkáním. [1]

Vliv na exoforickou odchylku mají i anatomické faktory očnice a vnitřních přímých svalů. Roli může hrát i hypermetropie, která je vyšší, nežli je akomodační amplituda. Prostřednictvím nedostatečné akomodace nemůže být hypermetropie zkorigována. Akomodace a konvergence je oslabena a vzniká dekompenzovaná exoforie. Tato situace může nastat v případě vysoké hypermetropie u dětí, ale i u lidí s nižší hypermetropií v presbyopickém věku. V případě vykorigování hypermetropické vady je opět umožněno zapojení akomodace a konvergence, exoforie se sníží. Toto tvrzení nesedí s pravidly, že plusové dioptrie zvětšují exoforii. Naopak v tomto případě mohou plusové dioptrie exoforii snížit. [1]

Může se ovšem stát, že po nasazení hypermetropické korekce se velikost exoforie zvětší. Pokud se oči na tuto změnu nezadaptují, předepisuje se pouze částečná korekce, aby binokulární vidění bylo stabilní. [1]

Primárním řešením základní exoforie je zrakový trénink, který dokáže velice efektivně stav základní exoforie zlepšit. U lidí se základní exoforií nacházíme snížené PFV do dálky i do blízka, dále sníženou vergenční facilitu při použití flipperu s prizmatem BT a akomodační facilitu s plusovými čočkami nebo i nízkou negativní relativní akomodaci. Zrakový trénink tedy spočívá v posílení PFV, negativní relativní akomodace a používají se i testy využívající fyziologické diplopie. [15]

Sekundární možností je i tzv. antikorekce. U lidí s exoforií v presbyopickém věku by měla být velikost adice co nejnižší, která zajistí pohodlnou práci na blízko. V případě, že zrakový trénink není efektivní používají se pro kompenzaci exoforie prizmatické čočky, které jsou u dospělých jedinců mnohdy vhodnější cestou nežli zrakový trénink. [1]

### 3.4.5 Insuficience konvergence

Insuficience konvergence je nejčastější vergenční anomálií, při které je velikost exoforie do blízka větší nežli do dálky. [1,4] Jedná se o neschopnost udržet dostatečnou konvergenci. Blízký bod konvergence je vzdálenější než 8 cm. Symptomy se objevují při pohledu do blízka. Kromě bolestí očí a hlavy je typickým subjektivním příznakem rozmazané až dvojité vidění

a pacienti uvádějí, že po zakrytí jednoho oka, se symptomy zmírňují. [1] V rámci vyšetření nalézáme snížené PFV především do blízka, vzdálený blízký bod konvergence, sníženou vergenční facilitu při poloze vergenčního flipperu BT a rovněž sníženou akomodační facilitu s hodnotou +2,0 D. [15]

Hlavní příčinou insuficience konvergence je snížený AC/A poměr. Dále nekorigovaní myopové, presbyopové nebo absolutní hypermetropové mohou mít snížené akomodační úsilí a prostřednictvím akomodačně vergenční synkinézy může dojít k manifestaci konvergenční insuficience. Korekce myopie tedy pomáhá zlehčit stav insuficience konvergence. [1]

Správné určení diagnózy insuficience konvergence může být ovlivněno insuficiencí akomodace. Stav, který je zapříčiněn akomodační insuficiencí a sekundárně připomíná insuficienci konvergence se označuje jako tzv pseudoinsuficience konvergence. Charakteristickým znakem pro určení pseudoinsuficience konvergence je snížená akomodační amplituda, nižší hodnoty binokulární akomodační facility, zapříčiněné obtížným zaostřením mínusové čočky a nízká pozitivní relativní akomodace. U insuficience mají tyto testy normální hodnoty. Po předložení slabé plusové čočky se schopnost konvergentního souhybu zlepšuje. V tomto případě je řešením zrakový trénink založený na posílení akomodace, následně podpořený cvičením konvergence. [15]

Primárním řešením insuficience konvergence je zrakový trénink, založený na posílení NPC, cvičení PFV a vergenční facility, doplněný o free-space techniky. [15]

### 3.4.6 Excess divergence

Velikost exoforie je do dálky mnohem větší nežli do blízka. [4,5] Do blízka bývá exoforie kompenzována a nebývá větší nežli 7 pdpt. Občas je excess divergence popisován jako rozdíl alespoň 15 pdpt odchylky na dálku a na blízko. Lidé s excesem divergence obvykle nemívají subjektivní obtíže. Může se objevit intermitentní diplopie, kterou si dokážou supresí vyrušit. V rámci diagnostiky je potřeba provádět zakrývací testy na vzdálenost větší než 6 m, například při pohledu z okna. U lidí s excesem divergence se většinou nevyskytuje vysoká refrakční vada. Abnormální jsou fúzní rezervy, kdy NFV do dálky jsou velmi vysoké, a to až 20 pdpt. Ovšem zde je důležité kontrolovat, zda nedochází k supresi jednoho oka. [1]

Vykorigování myopie v mnoha případech pomáhá k snížení exoforie do dálky. Další možností je použití antikorekce, která ovšem nepřináší dlouhodobé řešení, slouží pouze na určitou dobu, kdy v rámci zrakového tréninku usilujeme o zvýšení PFV. Jako prevence excessu konvergence na blízko je možné použití bifokálních skel. [1]



Zrakový trénink u excessu divergence je volbou spíše u mladých lidí a spočívá ve stejném postupu jako u základní exoforie. Posilují se PFV, negativní relativní akomodace, potlačuje suprese a rozvíjí správné pochopení fyziologické diplopie. U excessu divergence (stejně jako u excessu konvergence) se prizmatické brýle používají málokdy, jelikož narušují vidění do blízka (do dálky). K chirurgickému zákroku se přistupuje až u starších dětí a v případě, že exo úchylnka je přítomna ve všech fixačních vzdálenostech. [1]

### 3.4.7 Dysfunkce fúzní vergence

Dysfunkce fúzní vergence představuje velmi důležitou kategorii, která může být v praxi optometry snadno přehlédnuta. U člověka je přítomna ortoforie nebo jen malá esoforie či exoforie do dálky a do blízka, AC/A poměr je normální. Charakteristickým znakem je porucha ve fúzní vergenci. Rozsah NFV a PFV je snížen. Oslabena je rovněž i schopnost vergenční facility, je nízká PRA a NRA. Při měření binokulární akomodační facility je obtížné zaostření textu s plusovou i minusovou čočkou. Monokulární akomodační facility je ovšem v normě, což správně potvrzuje problém v oblasti vergence nikoliv akomodace. Refrakční vady nebývají vysoké. Lidé s dysfunkcí fúzní vergence mohou prokazovat astenopické symptomy, občasné zamlžené vidění, slzení, horší míru soustřednosti, především v pozdějších večerních hodinách. V případě absence subjektivních symptomů je potřeba myslet na případnou supresi jednoho oka. [15]

Primárním řešením dysfunkce fúzní vergence je zrakový trénink. [15]. Mnoho autorů provádělo výzkum na efektivnost zrakového tréninku u dysfunkce fúzní vergence. Hoffman, Cohen, and Feuer [21] zjistili 94% úspěšnost zrakového tréninku s výrazným snížením subjektivních obtíží a obnovením normálních hodnot binokulárních funkcí. Grisham [22] pozoroval lidi s dysfunkcí fúzní vergence a zjistil, že zrakový trénink obnovuje normální hodnoty vergenční facility.

### 3.4.8 Zhodnocení kompenzace vergenčních poruch

Na základě stanovení rozsahu fúzní vergence a velikosti odchylky lze vypočítat velikost prizmatické korekce pro kompenzaci heteroforie. Kritéria, která tyto pravidla určují se nazývají Sheardovo a Percivalovo kritérium. [15]

### Sheardovo kritérium

Podmínkou pro pohodlné vidění je, aby velikost  $FR \geq 2$  HTF, například u exoforie 10 pdpt je nutné mít velikost PFV 20 pdpt. V případě, že tato podmínka není splněna, lze použít vztah pro výpočet velikosti prizmatické korekce:

$$\Delta = 2/3 |HTF| - 1/3 |FR|$$

Ve vzorci je velikost FR brána jako bod rozmazání (blur point). Ačkoliv toto kritérium lze použít na jakýkoliv typ heteroforie, Sheard předpokládal, že nejlépe platí pro kompenzaci exoforie. [15]

### Percivalovo kritérium

Podle Percivala nezáleží na velikosti odchylky šilhání. Podmínkou je, aby velikost menší  $FR > 1/2$  větší FR, pokud není, výpočet velikosti prizmatu je:

$$\Delta = 1/3 (\text{větší } FR) - 2/3 (\text{menší } FR)$$

Výsledná kladná hodnota představuje velikost předepsaného prizmatu. Nulové nebo negativní číslo znamená, že prizmatická korekce není potřebná. Percivalovo kritérium je efektivní především pro kompenzaci esoforie. [15]

Předepsání prizmatické korekce je primárním řešením zejména u nestrabických binokulárních anomálií jako je insuficience divergence, základní esoforie a vertikální forie. [15]

## 4 Fúzní rezervy

Fúzní rezervy představují maximální hodnotu fúzní vergence dostupnou pro udržení normálního binokulárního vidění na danou fixační vzdálenost. V případě rozpadu JBV se pozorovaný objekt stává dvojitým. Měření fúzních rezerv je prováděno pro horizontální a vertikální směry. Je možné i měření fúzních rezerv v rotačním směru. Horizontální fúzní rezervy jsou považovány za důležitější a dle směru je lze rozdělit na pozitivní (PFV) a negativní (NFV) fúzní vergenci. [5]

Během měření fúzních rezerv jsou rozlišovány tři důležité body. Prvním bodem je okamžik **rozmazání (blur point)** pozorované značky, který vyjadřuje hodnotu relativní fúzní vergence bez zapojení akomodace. [15] Tato hodnota indikuje dosažení limitu fúzní vergence, kdy akomodace už dále není udržena na daný podmět. [23]

Druhým bodem je okamžik **rozdvojení (break point)** obrazu, který představuje prizmatickou sílu, při které dotyčný ohlásí diplopii nebo dojde k manifestaci heterotropie, která není opravena motorickou fúzí. [24] Bod rozdvojení odpovídá hodnotě fúzní a akomodační vergence. [15]

Třetím bodem je okamžik **opětovného spojení (recovery point)** oznamující prizmatickou sílu, při které je fúze obnovena. [24] Poskytuje informaci o pacientových schopnostech získat zpět JBV po objevené diplopii [15]

Pro termín fúzní rezervy je používáno několik synonym. Nejvíce známé označení je pozitivní (PFV) a negativní (NFV) fúzní vergence. Dále se používá amplituda fúze neboli šířka fúze. Pojem šířka fúze se využívá spíše v ortoptice, kde na synoptoforu je odečítána pozitivní a negativní šířka fúze (viz. 4.6.2 Synoptofor). V dokumentaci se pak uvádí jako její rozsah, např.  $-8^\circ$  až  $+12^\circ$ . [2] Dalším synonymem je relativní vergence, která je používána spíše pro vyjádření tzv. bodu rozmazání. Dále je možné využít označení prizmatická vergence, která ale není příliš častá. [1]

Dle Antona je průměrná hodnota PFV do dálky 10-25 pdpt, do blízka 15-30 pdpt. NFV je do dálky 4-8 pdpt a do blízka 12-18 pdpt. Vertikální vergence nabývá nejnižších hodnot, a to maximálně 3-6 pdpt. [10]

### 4.1 Princip měření PFV

Při měření PFV se pacient snaží vidět co nejdéle pozorovanou značku ostře a jednoduše. Pro udržení bifoveální fixace je třeba zapojení konvergence a ponechání akomodace na dané neměnné úrovni. Je důležité si uvědomit, že přirozeně podle pravidel vergenčně-akomodační

synkinézy po předložení prizmatu začne pacient konvergovat a kvůli stoupající vergenční akomodaci začne postupně i akomodovat. Hodnota vergenční akomodace závisí na AC/A a CA/C poměru. Při testování PFV však pacient musí povolit akomodaci a akomodační konvergence nemůže být použita pro zapojení konvergence. Akomodace skrze CA/C poměr musí být potlačena, tudíž pacient musí využít své schopnosti PFV pro udržení ostrého jednoduchého obrazu. V případě, že tuto situaci dlouhodobě nezvládne a zapojí akomodační konvergenci objeví se bod rozmazání. Čím více je prizmatická zátěž zvyšována, přestane fungovat správně fúzní mechanismus a nastane i bod rozdvojení [15]

## 4.2 Princip měření NFV

Měření NFV vyžaduje, aby pacient pro udržení bifoveální fixace zapojil divergenci a zároveň akomodaci udržel na dané konstantní úrovni. Je důležité si uvědomit, že po předložení prizmatu dochází k divergenci a akomodační odezva klesá z důvodu poklesu vergenční akomodace. Velikost poklesu ve vergenční akomodaci závisí na CA/C poměru. Pacient ale musí zapojit a udržet akomodaci tak, aby vyrovnal pokleslou vergenční akomodaci. Pro udržení ostrého předmětu je pacient nucen použít NFV neboli mechanismu kompenzace předloženého prizmatu BN. V případě, že toto dlouho nezvládne, objeví se bod rozmazání a následně rozdvojení. [15]

## 4.3 Plynulá (smooth) vergence

Testování **smooth vergence** je jednou z metod používaných pro hodnocení fúzních rezerv, jak pozitivních, tak negativních do dálky i do blízka. Jedná se o přímé měření fúzní vergence, které je možné měřit pomocí Risleyho prizmatu na foropteru, na synoptoforu nebo pomocí vektogramu a tranaglyfu. Důležitým aspektem testování smooth vergence je, že síla prizmatu je zvyšována pomalu a postupně. [15]

Tabulka 4.1 Očekávané hodnoty smooth vergence [15]

| Očekávané hodnoty smooth vergence |              |             |              |
|-----------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| NFV (dálka)                       | NFV (blízko) | PFV (dálka) | PFV (blízko) |
| -7/4                              | 13/21/13     | 9/19/10     | 17/21/11     |

Bylo provedeno několik výzkumů, ve kterých měřili velikost fúzních rezerv pomocí Risleyho rotačního prizmatu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny níže v tabulce 4.2 a 4.3.

Tabulka 4.2 Hodnoty NFV měřené Risleyho rotačním prizmatem

| Rok       | Počet | Věk   | Velikost<br>fixačního<br>podnětu | NFV (pdpt)                    |                              |
|-----------|-------|-------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|           |       |       |                                  | Break/recovery                |                              |
|           |       |       |                                  | Blízko (40 cm)                | Dálka (6 m)                  |
| 2005 [25] | 271   | 21–30 | 1,0                              | –                             | $9,5 \pm 2,8 / 5,2 \pm 2,2$  |
| 2008 [23] | 61    | 20    | 0,8                              | $16,0 \pm 4,3 / 8,2 \pm 4,0$  | $10,0 \pm 2,4 / 5,3 \pm 2,0$ |
| 2008 [26] | 118   | 20–21 | 0,8                              | $22,9 \pm 5,4 / 11,5 \pm 4,6$ | $13,0 \pm 4,6 / 5,2 \pm 2,1$ |
| 2010 [27] | 111   | 20-40 | (dva řádky<br>pod BCVA)          | $13,9 \pm 5,0 / 10,6 \pm 4,5$ | $7,4 \pm 3,0 / 4,8 \pm 2,4$  |
| 2011 [28] | 50    | 18–35 | 0,5                              | $20,8 \pm 5,0 / 10,9 \pm 4,9$ | –                            |

Tabulka 4.3 Hodnoty PFV měřené Risleyho rotačním prizmatem

| Rok       | Počet | Věk   | Velikost<br>fixačního<br>podnětu | PFV (pdpt)                    |                               |
|-----------|-------|-------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|           |       |       |                                  | Break/recovery                |                               |
|           |       |       |                                  | Blízko (40 cm)                | Dálka (6 m)                   |
| 2005 [25] | 271   | 21–30 | 1,0                              | -                             | $19,3 \pm 8,2 / 8,2 \pm 5,4$  |
| 2008 [23] | 61    | 20    | 0,8                              | $29,2 \pm 8,4 / 19,2 \pm 6,8$ | $24,7 \pm 7,4 / 11,8 \pm 5,7$ |
| 2008 [26] | 118   | 20–21 | 0,8                              | $29,7 \pm 9,0 / 13,7 \pm 7,6$ | $23,8 \pm 8,8 / 8,0 \pm 5,4$  |
| 2010 [27] | 111   | 20-40 | (dva řádky<br>pod BCVA)          | $15,5 \pm 6,2 / 12,4 \pm 6,2$ | $10,9 \pm 4,6 / 7,9 \pm 3,8$  |
| 2011 [28] | 50    | 18-35 | 0,5                              | $25,9 \pm 9,7 / 12,6 \pm 9,4$ | -                             |

## 4.4 Skoková (step) vergence

Testování skokové změny vergence je velmi podobné plynulému měření. Výjimkou ovšem je, že prizmatická zátěž nemá pozvolný průběh, ale skokový. K testování se využívá zejména prizmatická lišta. [15]

Velkou výhodou je objektivní kontrola, vyšetřující může pozorovat oči vyšetřovaného a zpozorovat ztrátu binokulárního vidění. Z tohoto důvodu je měření fúzní vergence step metodou vhodnější u dětí a hůře spolupracujících lidí. [15] Další významnou výhodou je periferní vnímání okolí a více fúzních podmětů. Z tohoto důvodu mohou být hodnoty fúzních rezerv naměřené step metodou vyšší. [29]

Nevýhodou je skoková změna 2,0 pdpt od 1 do 20 pdpt a 5 pdpt od 20 do 45 pdpt na prizmatické liště. Výsledné hodnoty fúzních rezerv tedy nemusí být zcela přesné. [29]

Tabulka 4.4 Očekávané hodnoty step vergence [15]

| Očekávané hodnoty step vergence |              |             |              |
|---------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| NFV (dálka)                     | NFV (blízko) | PFV (dálka) | PFV (blízko) |
| 7/4                             | 13/10        | 11/7        | 19/14        |

Bylo provedeno několik výzkumů, ve kterých měřili velikost fúzních rezerv pomocí prizmatické lišty. Výsledné hodnoty jsou uvedeny níže v tabulce 4.5 a 4.6.

Tabulka 4.5 Hodnoty NFV měřené prizmatickou lištou

| Rok       | Počet | Věk   | Velikost<br>fixačního<br>podnětu | NFV (pdpt)<br>Break/recovery          |                                     |
|-----------|-------|-------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
|           |       |       |                                  | Blízko (40 cm)                        | Dálka (6 m)                         |
| 1997 [30] | 20    | 18-35 | 1,0                              | <b>18,6</b> ± 8,6 / <b>11,0</b> ± 4,4 | <b>9,7</b> ± 4,3 / <b>5,9</b> ± 2,2 |
| 2008 [23] | 61    | 20    | 0,8                              | <b>12,1</b> ± 3,4 / 9,8 ± 3,0         | <b>8,6</b> ± 1,9 / <b>6,3</b> ± 1,8 |
| 2011 [28] | 50    | 18-35 | 0,5                              | <b>21,4</b> ± 9,4                     | –                                   |
| 2016 [32] | 530   | 6-14  | 0,6 (33 cm)<br>0,2 (6 m)         | <b>9,7</b> ± 2,0                      | <b>7,0</b> ± 1,8                    |

Tabulka 4.6 Hodnoty PFV měřené prizmatickou lištou

| Rok       | Počet | Věk   | Velikost fúzního podnětu | PFV (pdpt)<br>Break/recovery           |                                       |
|-----------|-------|-------|--------------------------|--|---------------------------------------|
|           |       |       |                          | Blízko (40 cm)                         | Dálka (6 m)                           |
| 1997 [30] | 20    | 18-35 | 1,0                      | <b>56,9</b> ± 12                       | <b>33,2</b>                           |
| 2008 [23] | 61    | 20    | 0,8                      | <b>28,9</b> ± 9,4 / <b>19,7</b> ± 6,0  | <b>23,3</b> ± 7,7 / <b>14,5</b> ± 4,2 |
| 2011 [28] | 50    | 18-35 | 0,5                      | <b>28,9</b> ± 11,0 / <b>16,0</b> ± 7,5 | –                                     |
| 2016 [32] | 530   | 6-14  | 0,6 (33 cm)<br>0,2 (6 m) | <b>20,2</b> ± 5,0                      | <b>13,1</b> ± 3,2                     |

Otázkou je, zda je možné vyšetřovací pomůcky pro smooth a step vergence mezi sebou zaměňovat. Antona a kol. [23] porovnávali rotační prizma na forofteru a prizmatickou lištou u 61 studentů optometrie ve Španělsku. Hodnoty NFV na forofteru a prizmatickou lištou byli více podobné, nežli hodnoty PFV do dálky i do blízka. Průměr rozdílů měření dvou metod byl pro NFV méně než 0,5 pdpt, zatímco pro PFV byly hodnoty více než 2 pdpt. Bod rozdvojení byl naměřen vyšší na forofteru, zatímco bod spojení byl naměřen vyšší u prizmatické lišty. Závěr byl takový, že zaměnění prizmatické lišty a Risleyho rotačního prizmatu nebylo do klinické praxe doporučeno. [23]

Goss a Becker [28] provedli podobnou studii a rovněž shrnuli, že rozsah fúzní vergence do blízka zjištěný prizmatickou lištou nemůže být použit zaměnitelně s hodnotami fúzní vergence do blízka zjištěnými pomocí rotačního prizmatu. Hodnoty s prizmatickou lištou vycházely vyšší. Nejnižší koeficient shody byl nalezen 7,3 pdpt u NFV bodu spojení. Ostatní koeficienty shody vycházely mnohem vyšší. Bod rozdvojení PFV měl koeficient shody 15,4, bod rozdvojení 19,5 pdpt. [28]

Záměna metod nemůže být použita za účelem sledování progresu u jednotlivých pacientů nebo za účelem porovnání hodnot fúzní vergence jednotlivce s danými normami [28]. Vyšetřující by měl používat pouze jednu nebo druhou metodu při vstupním vyšetření. Při sledování pokroku pacienta například při pravidelném cvičení by závěrečné zhodnocení a přeměření výsledků fúzní vergence mělo být provedeno stejnou metodou jako na vstupním vyšetření. [15]

## 4.5 Faktory ovlivňující měření fúzních rezerv

Existuje celá řada faktorů, které mohou ovlivnit měření fúzních rezerv. Jedním z faktorů, diskutovaných v mnoha studiích je **věk**. Bylo zjištěno, že s věkem dochází ke snížení NFV a PFV. [25,33]. Álvarez a kol. hodnotili velikost fúzních rezerv do dálky pomocí Risleyho otočného prizmatu. Uvádí, že s věkem dochází k poklesu hodnot PFV a NFV pouze pro bod spojení. Hodnoty bodu rozdvojení zůstávají stejné [25]. Fray uvádí, že s věkem dochází pouze k poklesu PFV, zatímco NFV se věkem nemění [39].

Dalším faktorem může být **změna refrakce**. Refrakční stav oka není považován za ovlivňující faktor vergenčního aparátu. Byly provedeny dvě studie, zaměřené na to, jak změna refrakčního stavu oka působí na změnu amplitudy fúznívergence [29]. Jorge a kol. se zaměřovali na myopický posun během vysokoškolského studia. Zjistili, že změna v refrakčním stavu významně neovlivňuje parametry binokulárního vidění a akomodace. Objevili se některé výjimky, které naznačovali, že zvýšená NFV může být predikujícím faktorem narůstajícím myopie u mladých lidí. Tento výsledek však nebyl statisticky signifikantní a opakovaně potvrzen [26].

**Opakovatelnost měření** má také vliv na měření fúzních rezerv. Antona kol. zjistili lepší opakovatelnost měření u NFV jak při měření na foropteru, tak i s prizmatickou lištou do dálky i do blízka. Snížená opakovatelnost se nachází u měření PFV, u kterých při opakování dochází k jejich nárůstu. Důležitými faktory, které toto zjištění mohou ovlivňovat je akomodace, proximální konvergence a pomalá složka fúznívergence [23].

**Oční dominance** téměř neovlivňuje velikost fúzních rezerv. Studie nenašly výrazný rozdíl v měření fúzních rezerv před dominantním nebo nedominantním okem [34,35]. Studie porovnávali použití prizmatické lišty nebo Risleyho prizmatu, ani v jednom případě nebyl naměřen rozdíl při testování před dominantním nebo nedominantním okem. Jednou při měření PFV byly změřeny vyšší hodnoty před nedominantním okem, ovšem tyto změny nebyly statisticky signifikantní [29].

Jedním z nejdůležitějších faktorů je zvolené **pořadí PFV a NFV**. Jako jeden z faktorů byl tento závěr několikrát potvrzen a uvádí, že jako první v pořadí se měří NFV [36,37]. Jednotlivé výsledky studií jsou statisticky signifikantní. Důvodem, proč se zabývat pořadím testování PFV a NFV je, že konvergence navozuje vergenční adaptaci a má vliv stav fúze, který následně zkreslí (sníží) hodnoty NFV [12,38].

**Rychlost**, jakou je zvyšována prizmatická síla rovněž ovlivňuje výsledné hodnoty fúzních rezerv. Příčinou, která zde působí je rychlá a pomalá fúznívergence. V případě že je



změna prizmatu rychlá, posuzuje se pouze rychlá složka, zatímco při pomalé změně bude převládat vliv pomalé složky. Rychlost výměny prizmatu by neměla být delší než doba potřebná k adaptaci pomalé složky vergence. Uvádí se, že vhodnou rychlostí je 2pdpt/s [1].

I **vzdálenost** hraje roli při měření fúzních rezerv. Hodnoty fúzních rezerv měřené na blízko budou výrazně vyšší než hodnoty do dálky. Je to dané především působením proximální konvergence [29]. Měření horizontálních fúzních rezerv na 3 m ukázalo srovnatelné výsledky jako měření na 6 m [31]. Zatímco, dle Fray [39] bylo potvrzeno, že při měření fúzních rezerv na vzdálenost 1/3 m a 6 m dochází k statisticky významnému rozdílu [39]. Ze zjištění vyplývá, že testování fúzních rezerv je potřebné provádět na obě vzdálenosti zvlášť.

**Velikost pozorovaného objektu** rovněž ovlivňuje naměřené hodnoty fúzní vergence. Čím větší bude pozorovaný cíl, tím větších hodnot PFV dosáhneme [31]. Dle F. Rowe existuje výrazný rozdíl v porovnání PFV na blízko za použití centrálního nebo periferního fixačního znaku u dospělých jedinců. Vyšší naměřené hodnoty jsou získány při periferním podnětu, průměrná hodnota bodu rozdvojení je 35 pdpt BT. V porovnání při fixaci na centrální podnět bylo naměřeno průměrně 25 pdpt BT na bodu rozdvojení [31].

Feldman a kol. toto tvrzení potvrdili. Uvádějí, že velikost fúzní vergence závisí nejen na velikosti stimulu, ale i tvaru, detailu, pozadí a prostorovém vnímání stimulu. Ve studii byl hodnocen vektograf, Risleyho prizma, počítačový software a random dot stereogram. Jelikož jednotlivé testy a přístroje poskytují rozdílné obrazové informace nelze je používat záměnně [40].

Velikost fixační značky ovlivňuje i nástup vergenční adaptace. Čím větší rozměr vergenčního stimulu, tím větší vliv na velikost vergenční adaptace. Po odstranění vergenčního stimulu, rychlá složka vergence zmizí rychleji, zatímco pomalá složka či adaptační vergence mizí pomaleji a postupně. [12]

Dle Evanse je vhodné do dálky použít řádek o čtyřech znacích a velikosti 6/9. [1]

**Přítomnost heteroforie** také ovlivňuje výsledky fúzních rezerv. Exoforie bývá spojena se zvýšenou NFV. U esoforie bývá naopak vyšší hodnota PFV. [15, 32, 31]

## 4.6 Testy pro přímé měření fúzních rezerv

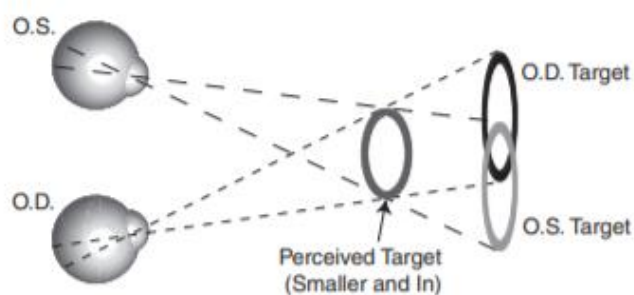
Velikost fúzních rezerv je možné změřit několika způsoby. Mezi vhodné vybavení patří prizmatická lišta, synoptofor, vektogram, tranaglyf nebo Risleyho otočné prizma. Dynamiku vergenčního systému lze hodnotit změřením vergenční facility. [15]

Během měření fúzních rezerv může nastat několik mechanismů. Kromě rozmazání

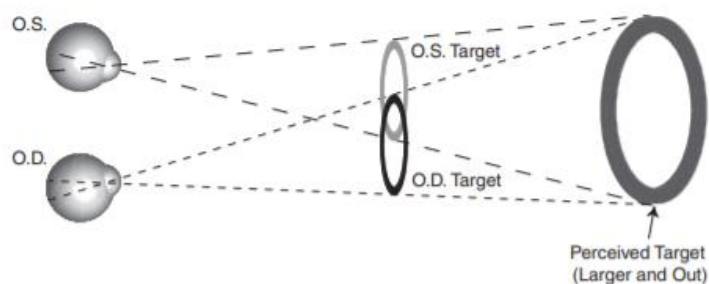
a rozdvojení obrazu se lze setkat se supresí, změnou velikosti fúzovaného obrazu (SILO fenomén), nebo odleskem. [15]

Suprese je jednoduchým zpětným mechanismem. Jednotlivé testy obsahují prvky pro kontrolu vzniku suprese. Například součástí vektogramů je kontrolní písmeno „R“ viditelné pouze pravým okem a „L“ viděné pouze okem levým. V případě ztráty některého písmene, lze potvrdit přítomnost suprese oka. Ostatní techniky využívají odlišných prvků. [15]

SILO fenomén vychází z anglické zkratky „small in, large out“ a popisuje změnu velikosti fúzovaného vjemu. Při zvyšování konvergence a současného udržení fúze je možné pozorovat zmenšení a přiblížení obrazu. Naopak při zvýšení požadavku do divergence je fúzní vjem vnímán jako větší a vzdálenější. [15]



Obrázek 4.1 Menší a bližší vnímání obrazu při PFV [15]



Obrázek 4.2 Větší a vzdálenější vnímání obrazu při NFV [15]

#### 4.6.1 Prizmatická lišta

Prizmatické lišty jsou horizontálně nebo vertikálně orientované řady prizmatických klínů o stoupající síle. Konstrukčně se prizmatické lišty podobají skiaskopickým lištám. Práce s prizmatickou lištou umožňuje rychlejší střídání prizmatických klínů oproti volným prizmatům [3]. Během měření fúzních rezerv pomocí prizmatické lišty pacient pozoruje fixační značku. Fúzní rezervy se měří do dálky i do blízka. Nejdříve se provádí měření do divergence pro

zjištění NFV s předloženým prizmatem BN. Dále pro zjištění PFV do konvergence s prizmatem BT. I přesto, že vertikální fúzní rezervy nenabývají vysokých hodnot, lze jejich rozsah zjistit předložením prizmatické báze nahoru nebo dolů. Prizmatická zátěž se postupně zvyšuje rychlostí 2 pdpt/s, do doby, než nastane okamžik rozmazání a rozdvojení. V momentě rozdvojení je prizma ještě navýšeno a následně snižováno do chvíle, kdy je značka opět jedna. Vyšetřující si zaznamenává bod rozmazání, rozdvojení a opětovného spojení [1,15].

Výchozím stavem pro měření fúzních rezerv prizmatickou lištou je heteroforické postavení. Například u dětí s velkou exoforií je velký požadavek na zapojení konvergence. Předložení prizmatu BN způsobuje relaxaci konvergence a současně s měřením NFV dochází k postupnému vyrovnání úchylky. Z tohoto důvodu je možné u lidí s větší exoforickou úchylnou nalézt vysoké hodnoty NFV [41].

Během měření je vyšetřovaný motivován udržet fixační značku ostrou a jednu. Výhodou použití prizmatické lišty je objektivní kontrola očí u dětských nebo obtížně vyšetřitelných lidí. [1,15]

Ve spojení s prizmatickou lištou jsou občas používána Bagoliniho skla, která mají malou disociaci obrazu. Výhodou použití Bagoliniho skel je kontrola přerušování JBV a vzniku suprese. Na druhou stranu podle studie [43] použití této kombinace přináší nižší hodnoty fúzních rezerv do blízka. Jedním z důvodů může být použití odlišného fixačního podnětu, kterým je světlo. [29]

#### 4.6.2 Synoptofor

Synoptofor neboli dříve označovaný troposkop je přístroj sloužící k diagnostice i terapii poruch binokulárního vidění. M. C. Maddox v roce 1931 poprvé uvedl troposkop do klinické praxe. [3] V okulárech jsou umístěny čočky +7,0 D, které uvolňují akomodaci očí a umožňují změření úchylky do dálky. Součástí vybavení pro měření na synoptoforu jsou superpoziční, fúzní a stereoskopické obrázky. [2]

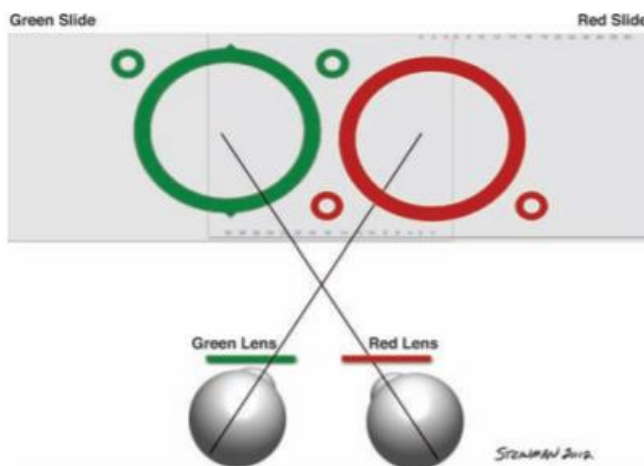
Na synoptoforu se v praxi pro označení měření fúznívergence používá termín šířka fúze. Před samotným měřením je nejdříve pomocí superpozičních obrázků změřena odchylka šilhání. Nejprve dochází k vykorigování úchylky šilhání a až poté následuje měření šířky fúze. Měření na synoptoforu reflektuje pravdivou hodnotu fúznívergence. [41]

Po vykorigování úchylky šilhání jsou ramena přístroje nastavena v objektivním úhlu. Do tubusů jsou zasunuty fúzní obrázky nejdříve periferní a poté makulární velikosti fúze. Hromádková uvádí velikost obrázků pro makulární fúzi 2°–15°. [2] V případě potvrzení přítomnosti fúze jsou obrázky makulární fúze v tubusech ponechány a měří se její šíře. Ramena

synoptoforu jsou plynule posouvána směrem do divergence, konvergence a případně i vertikálním směrem. V okamžiku, kdy vyšetřovaný oznámí rozdvojení fúzního obrázku, lze na stupnici odečíst negativní, pozitivní či vertikální šířku fúze. Šířka fúze se na synoptoforu měří v úhlových stupních. Vyšetřující může objektivně hodnotit přerušeni fúze na pohybech očí a rohovkových reflexech. Pro zápis šířky fúze se uvádí její úhel, například od  $-4^\circ$  do  $+10^\circ$ , hodnota šířky fúze je  $14^\circ$ . [2]

### 4.6.3 Tranaglyf

Tranaglyf se skládá ze dvou doplňujících se karet, které se od sebe liší barvou a disparitou obrazu. Jedna karta obsahuje červené obrazce, druhá zelené. Vyšetřovaný pozoruje karty přes anaglyfní červeno-zelené brýle. Červený filtr bývá umístěn před pravým okem, zelený filtr před levým okem. Červený filtr umožňuje pozorování karty se zelenými znaky, zeleným filtrem je viděna karta s červenými znaky. Pro zvýšení konvergentního požadavku a zjištění velikosti PFV je zelená karta posouvána doleva a červená karta doprava. Naopak pro stimulaci divergence a zjištění velikosti NFV je zelená karta posouvána doprava, zatímco červená karta doleva. Vyšetřovaný se snaží udržet co nejdéle pozorovaný obraz jednoduše. [15]



Obrázek 4.3 Princip měření na tranaglyfu [15]

Všechny tranaglyfy mají v dolní části karet uvedenou stupnici čísel pro hodnocení fúzních rezerv. Při dodržení vzdálenosti 40 cm, odpovídá posunu 4 mm velikost fúznívergence 1 pdpt [15].

Existuje několik druhů tranaglyfů lišící se velikostí pozorovaného obrázku. Z tohoto důvodu jsou tranaglyfy rozdělovány na centrální a periferní. Periferní tranaglyfy obsahují velice málo centrálních značek a stimulují pouze periferní fúzi. Mohou být spojeny i s prostorovým

vnímáním. Velikost samostatného centrálního podnětu ovlivňuje míru akomodace. Například v začátcích zrakového tréninku jsou využívány tranaglyfy s malým množstvím centrálních detailů a vyšetřovaný tedy neudává bod rozmazání. Naopak při využití tranaglyfů s četnými centrálními detaily je vyžadovaná přesná akomodace a vyšetřovaný zaznamenává bod rozmazání. [15]

Úkolem vyšetřovaného je spojení dvou odlišně barevných obrazů v jeden vjem. Kombinací červené a zelené barvy může vzniknout fenomén odlesku. V případě, že vyšetřovaný vnímá pouze jednu barvu, lze očekávat vznik suprese. [15]

Tranaglyfy jsou považovány za obtížnější test nežli vektogramy. Použití červené a zelené barvy vytváří výraznější překážku pro fúzi zejména u pacientů se supresí a výraznými akomodačními anomáliemi. Červeno-zelené brýle mohou vytvářet nerovnosti v osvětlení sítnice a urychlit vznik suprese. [15]

#### 4.6.4 Vektogram

Použití vektogramů je velmi podobné práci s tranaflyfy. Jediným hlavním rozdílem je použití polarizačních brýlí a polarizačního materiálu v obrázkových kartách. Vektogramy jsou historicky starší oproti tranaglyfům a také jsou hůře cenově dostupné než tranaglyfy [15]. V dolní části vektogramu se nachází stupnice s písmeny a číslicemi. Písmena představují prizmatickou hodnotu NFV, čísla odpovídají velikosti PFV.

#### 4.6.5 Risleyho otočné prizma

Měření fúzních rezerv pomocí Risleyho otočného prizmatu probíhá na foropteru a řadí se do techniky smooth vergence. Úkolem vyšetřovaného je opět udržet co nejdéle fixační značku ostrou a jednu. Rychlost zesilování prizmatické zátěže je 2 pdpt/s. Jako u všech ostatních testů se začíná měřením NFV, po které následuje měření PFV. V případě oznámení bodu rozmazání vyšetřující odečte hodnotu prizmatu a následně je ještě více zvyšována zátěž negativní fúznívergence až do bodu rozdvojení. Po oznámení bodu rozdvojení je prizmatická síla o 2–4 pdpt zvýšena a následně snižována až do okamžiku opětovného spojení. Měření se provádí do blízka na 40 cm s fixací na vertikálně orientovaný řádek o velikosti 20/30 a do dálky s fixací na izolovaný znak o velikosti 20/30. Alternativou rotačního prizmatu v foropteru je ruční Risleyho otočné prizma (obr. 4.8). [15]



Obrázek 4.4 Risleyho ruční otočné prizma [47]

#### 4.6.6 Vergenční facilitita

Stav fúzní vergence lze dále posoudit změřením vergenční facility neboli dynamiky systému fúzní vergence. Měřítkem vergenční facility je schopnost provést rychlé opakující vergenční změny za časovou jednotku, což je následně klinicky hodnoceno. [15]

Do nedávna byl ještě nedostatek shromážděných informací ohledně síly prizmatu, která by měla být použita pro měření vergenční facility. Možnosti byly 16 pdpt BT a 4 pdpt BN nebo 8 pdpt BT a 8 pdpt BN. [15] Ovšem Gall a kol. [48] provedli první systematickou studii na vergenční facilitu a zjistili, že kombinace 3 pdpt BN a 12 pdpt BT přinesla největší význam pro oddělení symptomatických lidí od asymptomatických. Dokonce zjistili, že tyto hodnoty vergenčního flipperu poskytují opakovatelné výsledky při testování vergenční facility na blízko. Očekávané výsledky vergenční facility, při použití 3 pdpt BN a 12 pdpt BT jsou dle studie 15 cpm na blízko. [48]

Důležitý je rozdíl mezi vergenční facilitou a smooth či step vergencí. Jednotlivé výše zmíněné testy pro přímé měření fúzních rezerv posuzují vergenční amplitudu, zatímco vergenční facilitita měří dynamiku vergence, nikoliv její rozsah. [15] Několik studií [49,50] udává, že je možné mít normální fúzní vergenci (amplitudu) a zároveň problém v oblasti vergenční facility, která označuje odlišný aspekt vergenčního systému.

Důvodem, proč tyto dva testy mezi sebou nekorelují může být účast vergenční adaptace. V případě, že pacient trpí symptomy charakteristickými pro binokulární anomálii a testování rozsahu fúzní vergence neodhalí žádné problémy, je vhodné přistoupit k zjištění stavu vergenční facility, možné příčiny astenopických obtíží. [51]



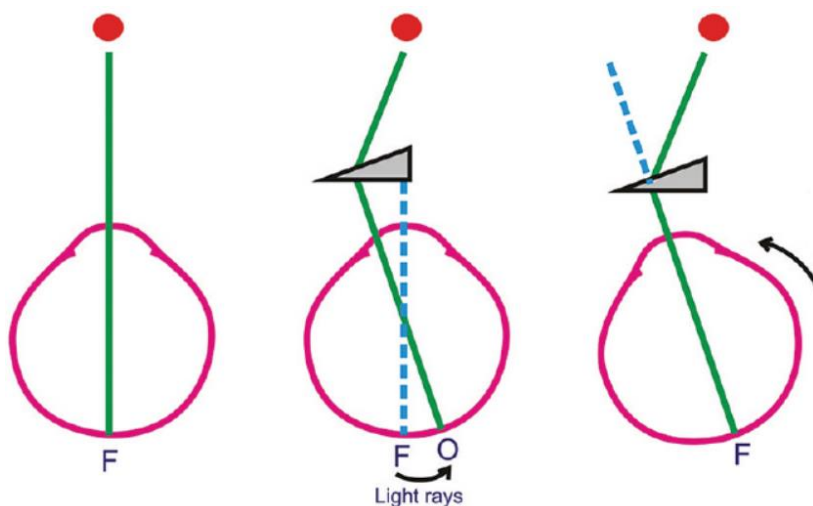
Obrázek 4.5 Flipper pro vergenční facilitu [52]

Vyšetření fúzní vergence lze provést i nepřímými postupy. Nepřímé vyšetření odkazuje na testy jako je například negativní relativní akomodace, pozitivní relativní akomodace, binokulární akomodační facilitu nebo MEM retinoskopie, které jsou primárně považovány za testy ke zjištění akomodačního stavu. Vzhledem k tomu, že akomodace a vergence jsou propojeny skrze akomodačně vergenční synkinézu, tyto metody nepřímo hodnotí i stav vergence. Výsledky testování fúzní vergence lze použít k potvrzení nebo naopak vyvrácení konkrétní klinické hypotézy poruchy binokulárního vidění. [15] První, kdo tuto myšlenku formulovali byli Percival a Sheard. [53,54]

## 5 Využití prizmat v terapii binokulárního vidění

Prizma se používá jak v diagnostice, tak v terapii binokulárních poruch. Může poskytovat symptomatickou úlevu u šilhání ale i u nestrabických vergenčních poruch. Prizma je dále vhodnou pomůckou i u nystagmů nebo hemianopsií. V některých případech jsou prizmatické čočky jediným řešením binokulární anomálie. Kromě možnosti kompenzace odchylky šilhání či jiné poruchy jsou prizmata používána v rámci zrakového tréninku [55].

Prizma je pevný, průhledný hranol (klín) složený z báze (základny) a apexu (vrcholu). Velikost vrcholového lámavého úhlu určuje sílu prizmatu. Prizma o velikost 1 pdpt posune obraz předmětu umístěného 1 m před očima o 1 cm. Ačkoliv se obraz při průchodu paprsků posunuje k apexu a vyšetřované oko má tendenci se uchýlit rovněž k apexu, světlo procházející hranolem se láme směrem k bázi. [55]



Obrázek 5.1 Prizma před okem [55]

Důsledkem předložení prizmatu je posun sítnicového obrazu k bázi prizmatu. Reakcí motorické složky binokulární fúze je opravena skoková změna disparity a obraz opět dopadá do fovey obou očí. (3.2.1 Rychlá složka fúzní vergence)

Předložení prizmatické čočky před oko má vliv na vergenční systém. Existují 4 strategie pro využití prizmat v terapii binokulárního vidění [19].

**První strategie** se nazývá **stimulační**, pro kterou je charakteristické, že i když je disparitní signál správně detekován, adaptační odpověď není zcela dostačující. Stimulační strategie je založena na aplikaci hyperprizmatu, které zvyšuje vergenční zátěž a tím pádem u dotyčného podporuje cvičení fúzních rezerv. Prizma se předkládá apexem proti směru úchylky. Rozdíl polohy oka mezi tonickou a anatomickou polohou se označuje jako tzv. tonická zóna. Je to zóna, kterou kompenzuje tonická vergence. Dynamická zóna je rozdíl mezi tonickou



a ortoforickou polohou a je ovlivněna přes disparitní signál. U forií je dynamická zóna zodpovědná za astenopické potíže. Čím vyšší síla prizmatu, tím více dochází k zvětšení dynamické zóny. Dlouhodobé ponechání prizmatu v brýlích způsobí tonizaci a postupné zvětšování tonické zóny, které ještě po delším časovém období může ovlivnit délku oko-hybných svalů a způsobit anatomizaci. (3.2.3 Anatomizace) Účelem stimulační strategie je vyrovnání dynamické a tonické zóny a po odstranění hyperprizmatu snížení dynamické zóny, zodpovědné za astenopické potíže. Tato metoda korekce strabismu je označována jako tzv. „chirurgie šilhání bez skalpelu“. [19]

**Druhá strategie** je **substituční**, při které adaptační odpověď není vůbec dostačující. Má opačný princip aplikace oproti stimulační strategii. Principem je předložení hypoprizmatu, který vergenční zátěž snižuje, a to bází proti směru úchytky. Do této strategie jsou zařazeni lidé, u kterých nefunguje správně adaptační mechanismuvergence dle Guytna a schopnost prizmatické adaptace je vyčerpána. Díky hypoprizmatu je redukována dynamická zóna, usnadněna fúze a menší astenopické potíže. [19]

**Třetí strategie** se nazývá **kauzální**, při které je detekován chybně již disparitní signál a následná adaptační odpověď je také chybná. Tato strategie se uplatňuje u heterotropií s extrafoveolární fixací. Prizma (hypoprizma) nahrazuje fyziologickou vergenční reakci. Důležitou poznámkou je, že plná korekce úchytky většinou nefunguje, kvůli fenoménu zvaném jako „eating up the prism“, který vysvětluje neustálé uchylování oka ve směru odchytky šilhání. Prizma sice paprsek uchýlí z extrafoveolárního místa zpět do fovey, jenže fovea už neplní funkční místo fovey. Oko za prizmatem se stáčí více, aby pozorovaný objekt opět dopadal do extrafoveolárního místa a manifestní úhel se zdvojnásobí. Vyvarování se tomuto problému se provádí tzv. předoperační prizmatický test pro posouzení subnormální binokularity a dostupnosti normální retinální korespondence u heterotropie. Provádí se před operací nebo u dětí pro posouzení, zda-li prizmatická korekce dokáže restartovat fúzi u redukovat manifestní úhel šilhání. [19]

Hromádková [2] předoperační prizmatický test nazývá jako prizmatický adaptační test, který popisuje reakci pacienta s esotropií na hyperkorekční prizma, předložené BT. Účinkem hyperkorekčního prizmatu se přesouvá obraz z utlumené nasální části sítnice na temporální část sítnice a vzniká diplopie. Vizualní systém tento stav může vyřešit třemi způsoby. První možností je, že nedojde k žádné vergenční reakci, druhým řešením je vznik konvergentního pohybu k obnovení fúze. Tyto první dvě možnosti přinášejí příznivou cestu pro operaci strabismu. Třetí, ovšem nepříznivou reakcí je, že dojde k hyperkonvergenci a zvětšení

konvergentní odchylky. Pro pacienta to znamená, že s vysokou pravděpodobností se po operaci k šilhání opět vrátí. [2]

**Čtvrtá strategie je kompenzační**, při které prizmatická čočka kompenzuje chybu motorické a senzorické složky binokulárního vidění. Patří sem například paralytické šilhání, u kterého prizma představuje jakýsi kompromis mezi proměnlivým úhlem šilhání a konstantním efektem prizmatické čočky. Dále lze tuto strategii uplatnit u homonymní hemianopsie nebo nystagmu. [19]

## 6 Zrakový trénink

Zrakový trénink je primárním řešením zejména u insuficience konvergence, základní exoforie, dysfunkce fúzní vergence a excessu divergence. Existuje řada pomůcek pro posílení fúzních rezerv [15].

Jednotlivé testy lze rozdělit do dvou skupin, podle toho, zda je změna vergence doprovázena změnou akomodace. Jedná se o cvičení relativní a synkinetické vergence. Synkinetická vergence je harmonicky provázena akomodací, souběžně probíhají 2 mechanismy, a to disparitní vergence, řízená disparitním signálem a akomodační vergence, řízena signálem o rozostření. Při cvičení je pozorovaný cíl posouván směrem k očím. Typickým příkladem je cvičení konvergence. Při relativní vergenci dochází k izolované změně vergence bez akomodačního doprovodu. Jedná se o nefyziologický mechanismus, kterého se účastní pouze disparitní signál. Příkladem cvičení jsou právě fúzní rezervy. Mezi pomůcky pro cvičení relativní vergence patří například stereoskopy, tranaglyfy, vektogramy, synoptofor nebo prizmatická lišta [56].

Scheiman a Wick rozdělují nástroje pro zrakový trénink do dalších 2 hlavních skupin. První skupinou je cvičení v přístrojovém prostoru, jehož zástupcem je například stereoskop a synoptofor. Druhou hlavní skupinou je cvičení ve volném prostoru, kam patří tzv. free space techniky. Některé testy ale nelze přímo zařadit do kategorie přístrojového nebo volného prostoru. Jedná se například o techniky využívající anaglyfní a polarizační filtry nebo zařízení s clonou, bez přítomnosti čoček nebo prizmat. Ipřesto, že anaglyfní a polarizační techniky využívají speciálních brýlí, vyšetřovaný se při cvičení nedívá do žádného přístroje. Použití anaglyfní a polarizačních se testů tudíž více blíží přirozeným podmínkám vidění [15].

U diagnózy dysfunkce fúzní vergence je primárním řešením zrakový trénink. Před zahájením je důležitá správná korekce refrakční vady, především skryté hypermetropie. V případě přítomnosti vertikální odchylky je vhodné předepsání vertikálního prizmatu do brýlí. U dospělých jedinců efekt cvičení nastává přibližně po 10 návštěvách. Zrakový trénink je zaměřen na rozšíření pozitivních a negativních fúzních rezerv a dále na posílení vergenční facility. Při cvičení se začíná s posilováním konvergence, jelikož je oproti divergenci považována za lehčí techniku. Oblíbeným nástrojem pro posilování konvergence a pozitivní fúzní vergence je Brockova šňůra. Vybavení zaměřené na posilování smooth vergence je pro člověk s dysfunkcí fúzní vergence jednodušší. Patří sem například cvičení na vektogramu, tranaglyfu a stereoskopu. Ve chvíli, kdy klient prokazuje zlepšení PFV, přistupuje se k tréninku NFV za použití stejných technik. I přesto, že klienti s dysfunkcí fúzní vergence nemívají

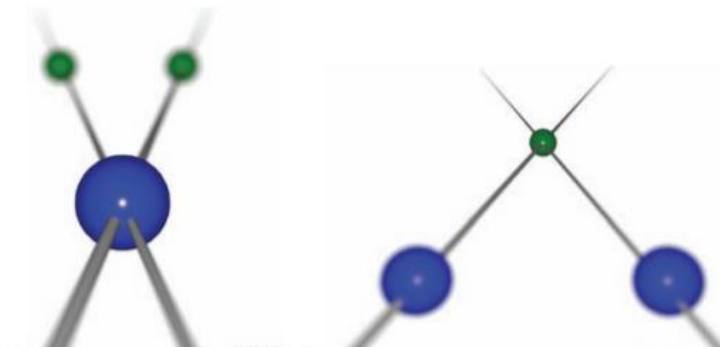
problémy s akomodační facilitou, lze toto cvičení v začátcích tréninku provádět, pro uvědomění si pocitu blízkého a vzdálenějšího předmětu [15].

## 6.1 Nejčastěji používané vybavení pro zrakový trénink

Přístrojové vybavení popsané v kapitole 4.6 Testy pro přímé měření fúzních rezerv je vhodné nejen pro diagnostiku, ale i pro zrakový trénink. Synoptofor, prizmatická lišta, Risleyho otočné prizma, polarizační a anaglyfní techniky jsou efektivní metody pro posílení fúzních rezerv. Mezi další vybavení používané v rámci zrakového tréninku, založeného na zvýšení fúzních rezerv patří stereoskopy, počítačové programy a cvičení ve volném prostoru tzv. free space techniky, do kterých se řadí například brockova šňůra, „tři kočky“ a speciální fúzní karty [15].

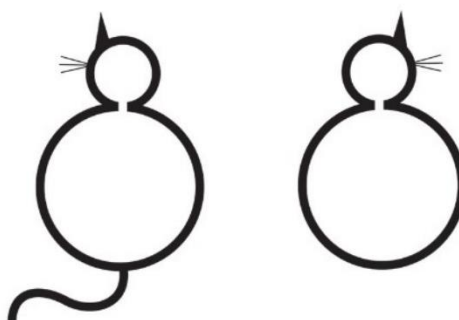
Cvičení v přístrojovém prostoru umožňují stereoskopy, které oddělují vjem pro pravé a levé oko. Disociace obrazu je dosaženo nejčastěji pomocí mechanických překážek. Vyšetřovaný pozoruje obrázky přes optiku, kterou tvoří zevně decentrované čočky s prizmatickým efektem. Takového principu využívá Brewster-Holmesův stereoskop. Konstrukce Brewster-Holmesova stereoskopu neumožňuje měnit vzájemnou vzdálenost mezi pozorovanými obrázky. Naopak vergenční stereoskop umožňuje měnit obrázkovou vzdálenost [3]. Cvičení fúznívergence se na stereoskopu provádí posouváním lišty s obrázky. Posunutím dopředu, blíže k očím vyšetřovaného dochází k zapojení akomodace a cvičení NFV. Při posouvání lišty dozadu, dále od očí vyšetřovaného dochází k relaxaci akomodace a cvičení PFV. Jedná se o relativní postup cvičenívergence, kdy cvičení funguje opačným způsobem než za přirozených podmínek vidění [15].

Brockova šňůra (*obr. 6.1*) se skládá z vlákna se třemi korálky odlišných barev. Existují i alternativy s více korálky. Jedná se o velice jednoduché a efektivní cvičení, které se primárně využívá u diagnózy insuficience konvergence, pro kterou je také charakteristické snížení PFV do blízka. Mechanismus cvičení s brockovou šňůrou pracuje na principu fyziologické diplopie [15]. Jeden konec vlákna vyšetřovaný drží u kořene nosu, druhý konec je připevněn v místnosti ve stejné výšce nad zemí. Při pohledu na nejbližší korálek jsou ostatní korálky rozdvojeny a vlákno tvoří obraz písmena V. Při fixaci na prostřední korálek vlákno vytváří obraz písmena X a při fixaci na vzdálený korálek vyšetřovaný vnímá, že vlákna tvoří obraz písmene A. Při cvičení se provádí střídavá fixace mezi korálkami. Je důležité, aby ke křížení vláken docházelo přesně ve fixovaném korálku a žádné vlákno se neztrácelo [15,56].



Obrázek 6.1. Princip cvičení s Brockovou šňůrou [15]

Další cvičení prováděné ve volném prostoru jsou tzv. „Tři kočky“ (obr. 6.2). Na cvičicí kartě umístěné 40 cm před očima jsou nakresleny dvě kočky, vzdálené přibližně 5 cm od sebe. Pro každou kočku je charakteristické, že postrádá některé detaily. V případě spojení obou obrázků vzniká jeden úplný obrázek kočky se všemi detaily. U exoforických pacientů je používána neprůhledná karta. Pacient fixuje na prst nebo tužku umístěnou před kartou. Pomocí fyziologické diplopie postupně vzniká obrázek třetí kočky se všemi detaily. Velikost akomodace neodpovídá vzdálenosti tužky, na kterou dotýčný konverguje. Dochází k zapojení konvergence, relaxaci akomodace a zároveň se cvičí negativní relativní akomodace. Zvětšující se vzdáleností koček lze zvýšit náročnost cvičení. U esoforických pacientů je vhodné použít průhlednou kartu, přes kterou pacient fixuje vzdálený fixační bod. Na průhledné kartě se postupně objeví tři kočky, prostřední kočka se všemi detaily. Při správně provedeném cvičení dochází k divergenci očí a udržení akomodace na vzdálenost cvičicí karty před očima, zároveň se cvičí pozitivní relativní akomodace [1].



Obrázek 6.2. „Tři kočky“ [57]

## 7 Praktická část

Praktická část bakalářské práce se zabývá měřením fúzních rezerv. Velikost fúzních rezerv je ovlivněna mimo jiné i vyšetřovací vzdáleností. V rámci výzkumu bylo provedeno měření do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu. Do blízka byly fúzní rezervy měřeny pomocí vektogramu, tranaglyfu a rovněž prizmatické lišty.

Měření probíhalo na fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně.

### 7.2 Cíle

Hlavním cílem praktické části je porovnat jednotlivé metody pro danou vyšetřovací vzdálenost a zjistit, zdali se naměřené hodnoty budou od sebe významně lišit.

### 7.3 Hypotézy

Výzkum se zabývá ověřením následujících hypotéz:

**H01:** Prizmatická lišta a synoptofor poskytují shodné výsledky velikosti fúzních rezerv do dálky.

**HA1:** Prizmatická lišta a synoptofor poskytují rozdílné výsledky velikosti fúzních rezerv do dálky

Prizmatická lišta zjišťuje velikost fúzních rezerv krokovou metodou, zatímco synoptofor využívá plynulé metody fúznívergence. Synoptofor oproti prizmatické liště navozuje proximální vergenci vlivem přístrojového prostoru. Oba testy také využívají odlišných fixačních značek, tudíž nelze předpokládat shodu v naměřených hodnotách.

**H02:** Prizmatická lišta, vektogram a tranaglyf poskytují shodné výsledky fúzních rezerv do blízka.

**HA2:** Prizmatická lišta, vektogram a tranaglyf poskytují rozdílné výsledky fúzních rezerv do blízka.

Vektogram využívá polarizační disociaci obrazu. Tranaglyfy jsou založeny na anaglyfní disociaci. Oba tyto testy lze zařadit do plynulé metody fúznívergence. Prizmatická lišta patří do krokové metody. Dále velikost centrálních fúzních podnětů je pro každý test jiná, tudíž nelze předpokládat shodu v naměřených hodnotách.

## 7.4 Metodika výzkumu

Metodika práce popisuje soubor vyšetřovaných osob, použité přístrojové vybavení a samotný vyšetřovací postup.

### 7.4.1 Vyšetřované osoby

Celkový soubor respondentů tvořil 50 osob, 38 žen a 12 mužů. Jednalo se o studenty fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně ve věku od 20 do 25 let.

Ke zpracování výsledků byli vybráni pouze ti respondenti, kteří splňovali následující kritéria:

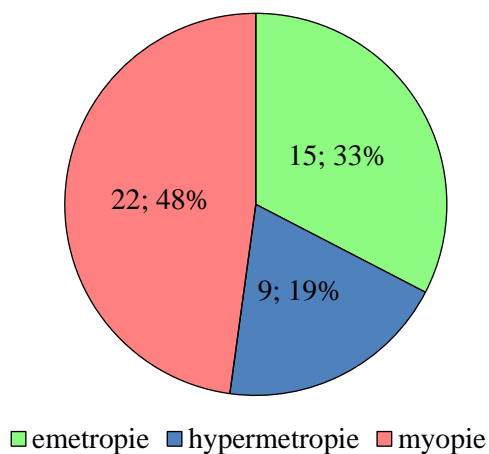
1. Velikost heteroforie do dálky nebo do blízka nenabývá větších hodnot než 10 pdpt.
2. Korigovaná zraková ostrost je 6/6 a lepší.
3. Vyloučení přítomnosti suprese
4. Vyloučení přítomnosti paralytického strabismu
5. Vyloučení přítomnosti heterotropie
6. Vyloučení přítomnosti závažné oční patologie
7. Vyloučení přítomnosti amblyopie a anizometropie větší než 2,0 D

Z celkového souboru byli vyřazeni 4 respondenti, kteří nespĺňovali vstupní kritéria bakalářské práce. Konkrétně u 3 studentů byla přítomna suprese jednoho oka, z toho u 1 respondenta vzniklo podezření na anomální retinální korespondenci. Dále u 1 respondenta byla naměřena úchylka šilhání 16 pdpt BT do blízka a rovněž nemohl být do výzkumu zařazen.

Konečný soubor byl tedy složen z 46 respondentů, v zastoupení 34 žen a 12 mužů. Měření se účastnili lidé jak s myopickou a hypermetropickou refrakční vadou, tak i emetropové. V případě astigmatismu byli dotyční respondenti zařazeni do jednotlivých skupin podle výpočtu sférocylického ekvivalentu. Respondenti se sférocylickým ekvivalentem  $\pm 0,25$  D byli zařazeni do skupiny emetropů.

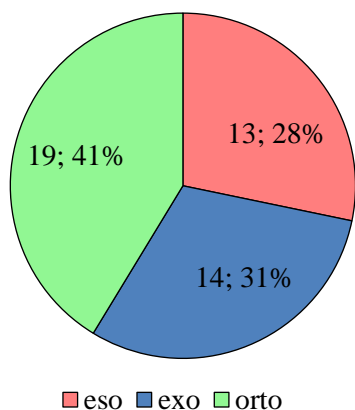
$$SE = sph + \frac{cyl}{2}$$

Zastoupení refrakčních vad ve zkoumaném vzorku znázorňuje *graf 7.1*.

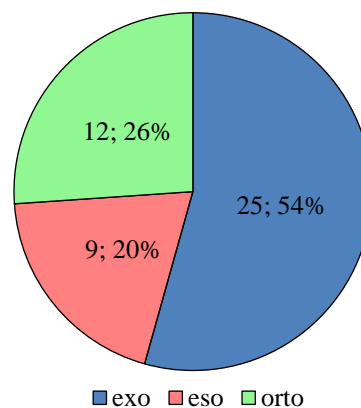


Graf 7. 1. Výskyt refrakčních vad ve zkoumaném souboru

Jelikož měření fúzních rezerv bylo prováděno z přirozeného očního postavení, bez vykorigování úchyly šilhání, hraje heteroforie významnou roli při zjišťování velikosti fúzních rezerv. Do dálky převažovala ortoforie, zatímco do blízka bylo výraznější zastoupení exoforie. Graf 7.2. znázorňuje zastoupení heteroforií do dálky, graf 7.3. znázorňuje výskyt heteroforie do blízka.

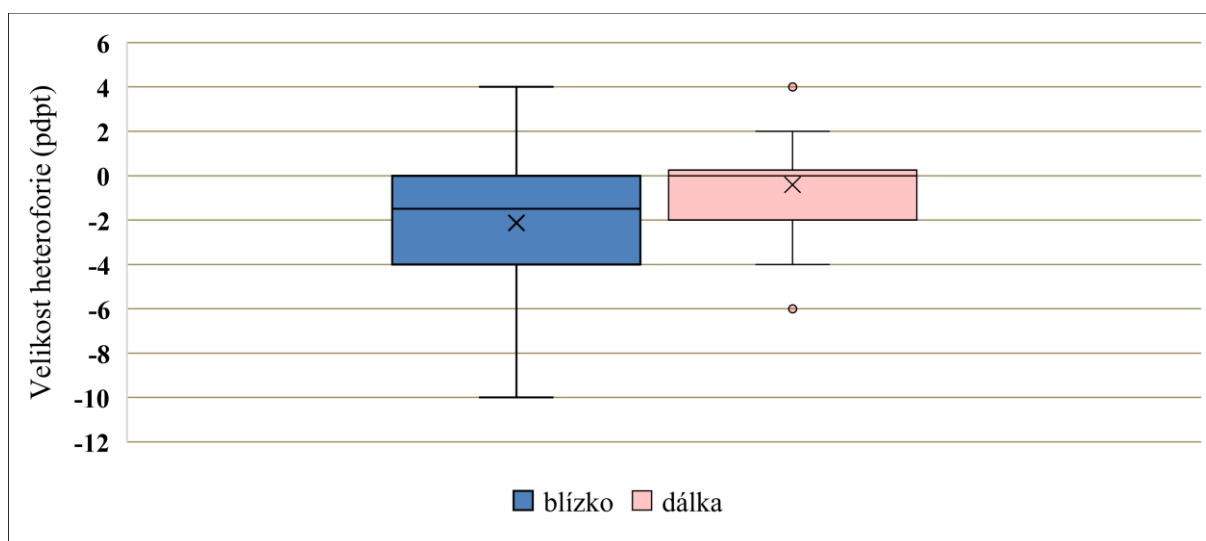


Graf 7. 2. Výskyt heteroforie do dálky



Graf 7. 3. Výskyt heteroforie do blízka





Graf 7. 4. Velikost heteroforie do dálky a do blízka na Maddoxově testu

#### 7.4.2 Vyšetřovací postupy

Před samotným měřením fúzních rezerv bylo třeba provést několik základních vyšetřovacích kroků. Každý respondent byl dotázaný na oční anamnézu, zaměřenou především na příznaky poruch binokulárního vidění (dvojení obrazu při únavě, problémy s přestřováním nebo časté migrény).

Dalším krokem bylo správné stanovení subjektivní refrakce včetně akomodačního vyvážení a nejlepší zraková ostrost s naměřenou korekcí na optotypu TOPCON CC 100 XP. Následovalo kontrolní vyšetření konvergentního souhybu, zakrývací testy do dálky/blízka a test motility očí. U každého respondenta byl rovněž proveden Worthův test na zjištění přítomnosti fúze. K prokázání stereopse byl použit polarizační Randot stereotest do blízka a stereovalenční test do dálky. Jelikož velikost heteroforie ovlivňuje hodnoty fúzních rezerv, bylo nezbytné případnou velikost heteroforie změřit. Asociovaná forie byla do blízka i do dálky měřena pomocí Malletova testu. Pomocí Maddoxova testu do dálky a do blízka byla zjištěna velikost disociované forie.

V druhé části následovalo již samotné měření velikosti fúzních rezerv do dálky a do blízka. Otázkou bylo, zda u každého respondenta dodržovat stejné pořadí vyšetřovacích testů nebo provést náhodný výběr. Prizmatická lišta umožňuje měření jak do dálky, tak do blízka. Synoptoforem je možné zjistit velikost fúzních rezerv pouze do dálky. Vektograf a tranaglyf naopak poskytují hodnoty pouze do blízka. Opakované měření NFV přináší podobné výsledky. Naopak při měření PFV se vlivem akomodace, proximálnívergence a pomalé fúznívergence

naměřené hodnoty v čase liší, obvykle zvyšují [23]. Studenti byli rozděleni do dvou skupin s odlišným pořadím zvolených testů. V každé skupině se nacházel stejný počet náhodně vybraných respondentů. Mezi jednotlivé testy byla navíc vložena 5minutová přestávka pro minimalizaci vlivu pomalé fúzní vergence a nárůstu velikosti fúzních rezerv v čase. Respondenti pauzu využili k odpočinutí od náročného cvičení, dívali se z okna do dálky a chvílemi si zavřeli oči. Postup vyšetření je shrnut v protokolu k bakalářské práci v *Příloze č.1*.

*Tabulka 7. 1. Pořadí testů u dvou skupin respondentů*

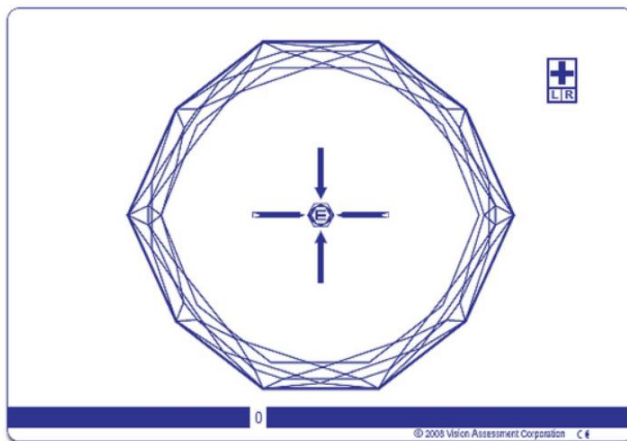
| Pořadí testu | 1. Skupina        | 2. skupina        |
|--------------|-------------------|-------------------|
| 1.           | vektograf         | tranaglyf         |
| 2.           | prizmatická lišta | synoptofor        |
| 3.           | synoptofor        | prizmatická lišta |
| 4.           | tranaglyf         | vektograf         |

Někteří respondenti nedokázali přesně určit bod rozmazání. Z tohoto důvodu byly zaznamenány pouze hodnoty bodu rozdvojení a spojení. Před samotným testováním byl respondent vždy instruován o průběhu měření.

#### **7.4.2.1 Postup měření na vektogramu**

Vyšetřovaný sleduje přes polarizační brýle posunovatelné karty vektogramu na vzdálenost 40 cm. Na začátku měření jsou obě karty umístěny přesně na sobě. Vyšetřovaný by měl vnímat hloubkový vjem obrazu. Přítomnost prostorového vjemu podporuje vznik tzv. fúzního zaklesnutí a umožňuje lepší udržení jednoduchého obrazu v průběhu měření. Vyšetřující následně plynulým posunem vzdaluje karty od sebe nejdříve do divergence. Divergentní směr a testování NFV je na vektogramu označeno písmeny, konvergentní směr a měření PFV číslicemi. Maximální rozsah fúzních rezerv, který lze na vektogramu změřit je 24 pdpt PFV a 16 pdpt NFV. Během měření vyšetřující sleduje centrální fúzní podnět (písmeno E) o velikosti 0,7 x 0,7 cm a hlásí bod rozdvojení a bod opětovného spojení obrazu. Po změření NFV jsou karty opět umístěny do nulového postavení na sebe. Vyšetřovaný má chvíli na obnovení binokulárního vidění včetně prostorového vjemu, po které pokračuje měření

PFV. Během měření je vyšetřovaný dotazován i na tzv. SILO fenomén. U 5 respondentů nedošlo k bodu rozdvojení a byla u něho prokázána vysoká fúzní vergence. V takovém případě byla použita hodnota maximální fúzní vergence, kterou na testu lze změřit.



Obrázek 7. 1. Vektogram [46]

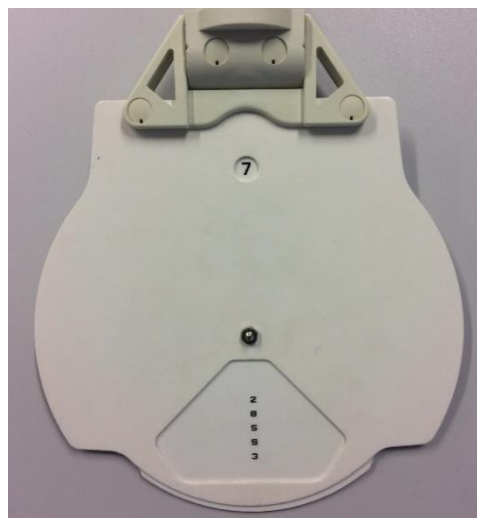
#### 7.4.2.2 Postup měření s prizmatickou lištou

Velikost fúzních rezerv byla posuzována prizmatickou lištou (*obr. 7.2*) s hodnotami od 1 do 40 pdpt. Nejdříve byly měřeny fúzní rezervy do dálky na 5,4 m, poté do blízka na 40 cm. Při měření do dálky byl pacient instruován sledovat na optotypu vertikálně orientovaný řádek o velikosti 0,8 a ohlásit okamžik rozdvojení a opětovného spojení obrazu. Rychlost skokové změny prizmatického hranolu na liště byla dodržována 2 pdpt/s. Okamžik, kdy pacient už nadále neudržel fúzi, bylo možné sledovat i objektivně na jeho očích.

Ve chvíli rozdvojení obrazu následovalo plynulé snižování prizmatické zátěže až do okamžiku opětovného spojení obrazu. Tento postup měření byl proveden nejdříve do dálky s předloženou lištou BN, následně s lištou orientovanou BT. Po pětiminutové přestávce bylo provedeno měření do blízka. Jako fixační značka byla použita tabulka z foropteru s vertikálně orientovanými číslicemi (*obr. 7.3*). Velikost sloupce byla 2,2 x 0,2 cm a jednoho znaku 0,3 x 0,3 cm. Princip měření do blízka byl stejný jako do dálky, opět byla lišta umístěna nejdříve BN pro měření NFV, poté BT pro zjištění velikosti PFV.



Obrázek 7. 2. Prizmatická lišta [43]



Obrázek 7. 3. Optotyp do blízka pro měření fúzních rezerv [61]

### 7.4.2.3 Postup měření na synoptoforu

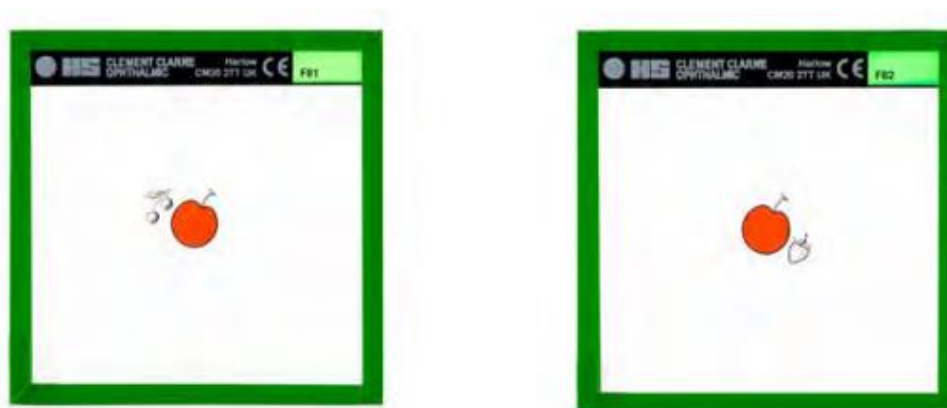
Před začátkem měření je třeba na přístroji nastavit pupilární vzdálenost a vhodně upravit opěrku brady a čela. Měření fúzních rezerv na synoptoforu předchází změření objektivní a subjektivní odchylky šilhání pomocí superpozičních obrázků. Ve chvíli, kdy je potvrzena přítomnost simultánní percepce, superpozice a ramena synoptoforu jsou postavena v úchylce vyšetřovaného, lze přistoupit k zjištění přítomnosti fúze. Fúzní obrázky na synoptoforu se rozdělují do 3 typů podle velikosti pozorovaného obrazu a rozsahu sítnice, která se na fúzi účastní. Jedná se o periferní, makulární a foveolární fúzi. Velikost fúzních rezerv je měřena pomocí obrázků pro makulární fúzi (F.II) o velikosti do  $5^\circ$  (1 x 1 cm). Jako u všech ostatních metod byly nejdříve měřené NFV, po kterých následovalo měření PFV. Úchylka šilhání byla do fúzních rezerv na synoptoforu zahrnuta tak, aby postavení očí odpovídalo přirozenému postavení jako při měření s prizmatickou lištou. Na synoptoforu jsou v praxi nejčastěji využívány jako jednotky stupně, pro tuto práci byly naměřené hodnoty odečítány v pdpt.

V celkovém souboru respondentů bylo 8 studentů, kteří prokázali PFV větší než 40 pdpt. K zpracování výsledků byla ovšem jako nejvyšší hodnota použito 40 pdpt, která byla stanovena za horní hranici PFV a NFV.

Na závěr byly do tubusů synoptoforu vloženy prostorové obrázky k průkazu hrubé či jemné stereopse.



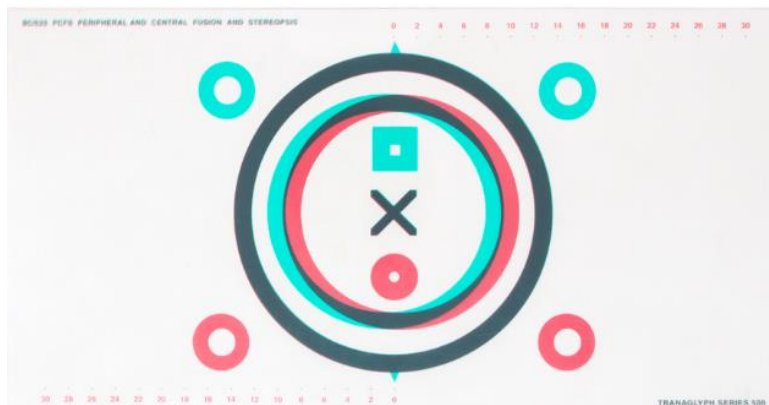
Obrázek 7. 4. Clement Clarke Synoptofor [45]



Obrázek 7. 5. Obrázky makulární fúze FII [44]

#### 7.4.2.4 Postup měření na tranaglyfu

Vyšetřovaný pozoruje tranaglyfní karty přes červeno-zelené brýle. Červený filtr umožňuje pozorování karty se zelenými znaky, zeleným filtrem je viděna karta s červenými znaky. Pro zvýšení divergentního požadavku a zjištění velikosti NFV je zelená karta posouvána doprava a červená karta doleva. Naopak pro stimulaci konvergence a zjištění velikosti PFV je zelená karta posouvána doleva, zatímco červená karta doprava. Vyšetřovaný se co nejdéle snaží udržet pozorovaný obraz jednoduše. Centrálním fúzním podnětem je kříž o velikosti 1,5x1,5 cm. Princip měření je shodný s měřením na vektogramu. Vyšetřovaný opět sleduje centrální fúzní podnět a vyšetřujícímu ohlašuje bod rozdělení a opětovného spojení. Cvičení se provádí na 40 cm. Pro vyjádření maximální prizmatické hodnoty jsou opět na stupnici vyznačena čísla od 30 do 30 pdpt. Při dodržení vzdálenosti 40 cm, odpovídá posunu 4 mm velikost fúznívergence 1 pdpt. U 8 respondentů nedošlo k bodu rozdělení a byla u něho prokázána vysoká fúznívergence. V takovém případě byla použita hodnota maximální fúznívergence, kterou na testu lze změřit, tj. 30 pdpt.



Obrázek 7. 6. Tranaglyf [45]

### 7.4.3 Analýza dat

K statistickému výpočtu a přijetí nebo vyvrácení nulové hypotézy byla provedena statistická metoda ANOVA- Analýza rozptylu na hladině významnosti 0,05.

Ke grafickému vyjádření byl použit rozdílový graf (Bland Altman plot), který se používá při analýze výsledků mezi dvěma testy a slouží nikoliv ke statistickému zpracování, ale ke klinickému vyhodnocení. Pomocí rozdílového grafu byly vypočítány 95% limity shody. Bland a Altman poukazují, že použití pouhé korelace není vhodným řešením, jelikož i vysoká korelace nemusí nutně znamenat dobrou shodu jednotlivých metod a naopak [58].

První hypotéza se zabývá ověřením výsledků prizmatické lišty a synoptoforu. Pro každého respondenta byl nejdříve spočítán rozdíl měření zjištěný prizmatickou lištou a na synoptoforu. Ze zjištěných rozdílů byl dále vypočítán jejich průměr a směrodatná odchylka (SD) opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Další postup lze shrnout v následujících bodech:

1. Vyhodnocení, zda se průměr rozdílů liší od nuly. V ideálním případě je průměr rozdílů  $x_{diff}$  přesně roven nule nebo se od nuly odchyluje jen nepodstatně. Významná odchylka průměru diferencí od nuly indikuje, že jedno z měření (synoptofor/prizmatická lišta) vede systematicky k vyšším nebo nižším hodnotám než měření druhé [58].
2. Následuje výpočet tzv. limity shody. Za předpokladu, že rozdíly jednotlivých měření mají normální rozložení, lze limity s 95 % diferencí počítat jako  $x_{diff} \pm 1,96 \times SD$ . Nastavení 95% limitů shody je funkční pouze při splnění předpokladu normality rozložení diferencí opakovaných měření. Tento předpoklad byl ověřen zobrazením na histogramu. Získáme dolní a horní hranici intervalu. Pokud jsou tyto limity v praxi akceptovatelné jako hranice přijatelného rozdílu měření, pak je lze využít jako míru

reprodukovatelnosti nebo opakovatelnosti. Pokud diference opakovaných měření dané hranice překračují, nelze metody označit za zaměnitelné. [58]

3. Průměr opakovaných měření vynásíme na osu X a jejich rozdíl na osu Y. K ose Y jsou dále zakresleny pozice průměrného rozdílu a pozice 95% limitů shody. Grafické znázornění umožní nejen posoudit shodu opakovaných měření, ale snadno identifikuje odlehle body a odchylky od normality [58]

Do blízka byly ovšem porovnávány 3 testy pro zjištění NFV a PFV, vektogram, tranaglyf a prizmatická lišta. Pro vzájemné porovnání všech tří testů, byla jako statistická metoda použita ANOVA s následnou post hoc analýzou, pomocí které byly statisticky porovnány kombinace dvojic testů. Statisticky nevýznamné výsledky byly mezi sebou graficky porovnány pomocí limitů shody v rozdílových grafech (Bland Altman plot).

## 7.5 Výsledky

### 7.5.1 Hypotéza č. 1

**H01:** Prizmatická lišta a synoptofor poskytují shodné výsledky velikosti fúzních rezerv do dálky.

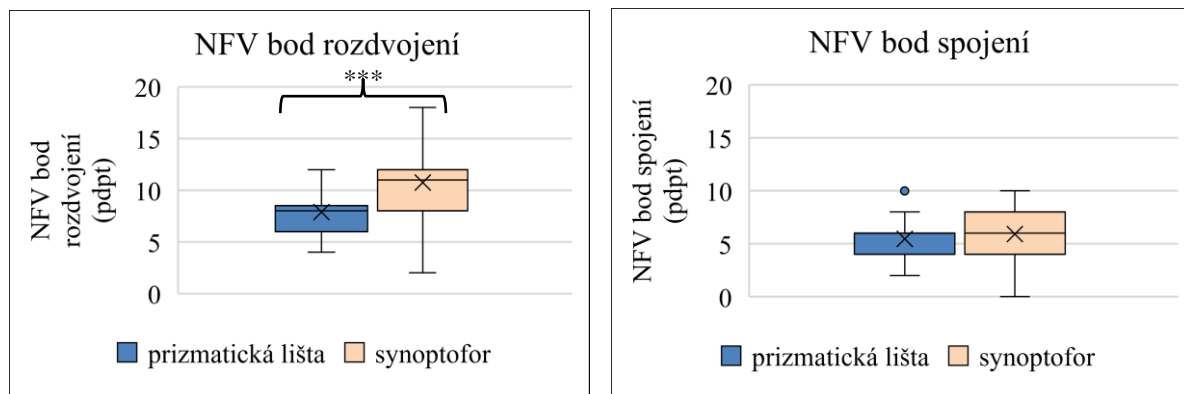
**HA1:** Prizmatická lišta a synoptofor poskytují rozdílné výsledky velikosti fúzních rezerv do dálky

V tabulce 7.2 a 7.3 jsou uvedeny hodnoty průměrných rozdílů ( $x_{diff}$ ) mezi naměřenými výsledky prizmatickou lištou a na synoptoforu ( $rozdíl = prizmatická\ lišta - synoptofor$ ). Záporné hodnoty poukazují na vyšší hodnoty NFV zjištěné pomocí synoptoforu. Dále tabulka uvádí vypočítané 95% limity shody. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné rozdíly na 95% hladině významnosti vypočtené pomocí statistické metody Anova. V rámci první hypotézy byly porovnávány pouze dvě měření.

Tabulka 7. 2. Porovnání NFV do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu

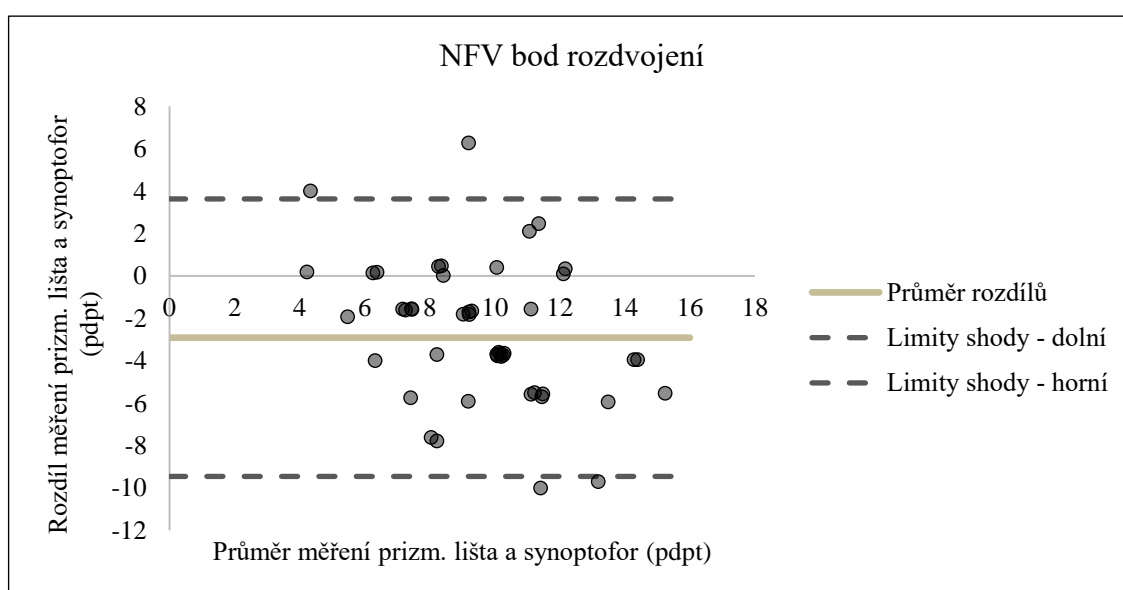
| NFV                   | Rozdíly měření<br>prizmatická lišta a synoptofor |              |                                    | Limit shody<br>(pdpt) | p=0,05           |
|-----------------------|--|--------------|------------------------------------|-----------------------|------------------|
|                       | Průměr $x_{diff}$<br>(pdpt)                      | SD<br>(pdpt) | Koeficient shody<br>SD*1,96 (pdpt) |                       |                  |
| <b>Bod rozdvojení</b> | <b>-2,9</b>                                      | ± 3,3        | ± 6,7                              | <b>od -9,5 do 3,6</b> | <b>0,0000195</b> |
| <b>Bod spojení</b>    | <b>-0,4</b>                                      | ± 3,03       | ± 6,0                              | <b>od -6,4 do 5,6</b> | 0,413252         |

Při hodnocení NFV bodů rozdvojení byl nalezen statisticky významný rozdíl. Naopak u bodů spojení statisticky významný rozdíl nalezen nebyl.



Graf 7. 5. Porovnání velikosti bodu rozdvojení a spojení NFV

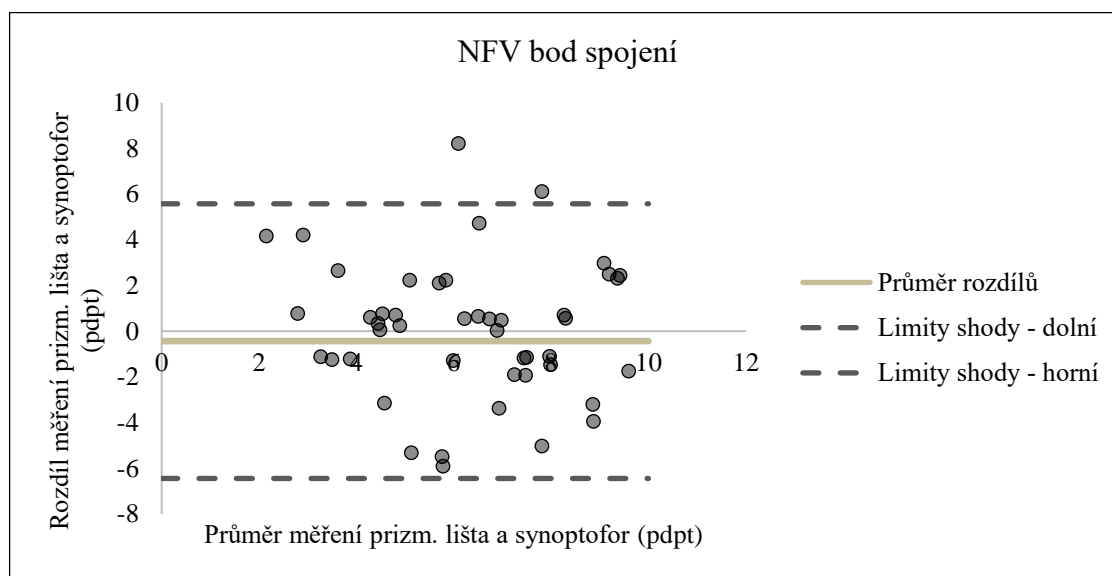
Graf 7.6 průměru a rozdílu měření prismatické lišty a synoptoforu znázorňuje velikost NFV a jejího bodu rozdvojení. Velikost průměrného rozdílu je -2,9 pdpt. Statistickým testem byly naměřené hodnoty označeny za statisticky signifikantní neboli že prismatickou lištu a synoptofor nelze v tomto případě mezi sebou zaměnit. Důležitým parametrem k zhodnocení velikosti fúzních rezerv pomocí prismatické lišty a synoptoforu jsou limity shody. Limity shody dvou měření představují hranici reprodukovatelnosti testů, která byla u čtyř respondentů překročena. Pro NFV bodu rozdvojení se limity shody pohybují v intervalu  $\pm$  dvě směrodatné odchylky od -9,5 do 3,6 pdpt.



Graf 7. 6. Graf průměrů a rozdílů NFV bodů rozdvojení na synoptoforu a prismatické liště do dálky



Graf 7.7 průměru a rozdílu měření prizmatické lišty a synoptoforu znázorňuje velikost NFV a jejího bodu spojení. Velikost průměrného rozdílu je -0,4 pdpt. Statistickým testem byl výsledek označen jako statisticky nevýznamný. Limita shody byla u dvou respondentů překročena. Pro NFV bodu spojení se limity shody pohybují v intervalu  $\pm$  dvě směrodatné odchylky od -6,4 do 5,6 pdpt. Z grafu 7.7 je patrné, že většina respondentů se nachází v okolí křivky průměru. I přesto, že statistickým testem došlo k zjištění, že synoptofor a prizmatickou lištu lze pro bod spojení použít záměnně, je na místě ověřit, zda jsou limity shody pro praxi akceptovatelné jako hranice přijatelného rozdílu nebo nikoliv.

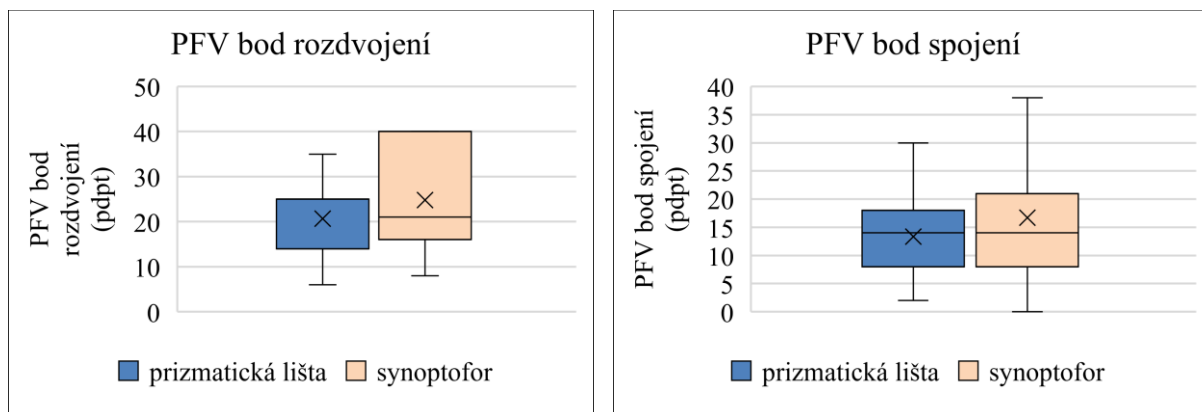


Graf 7. 7. Graf průměrů a rozdílů NFV bodů spojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky

Tabulka 7. 3. Porovnání PFV do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu

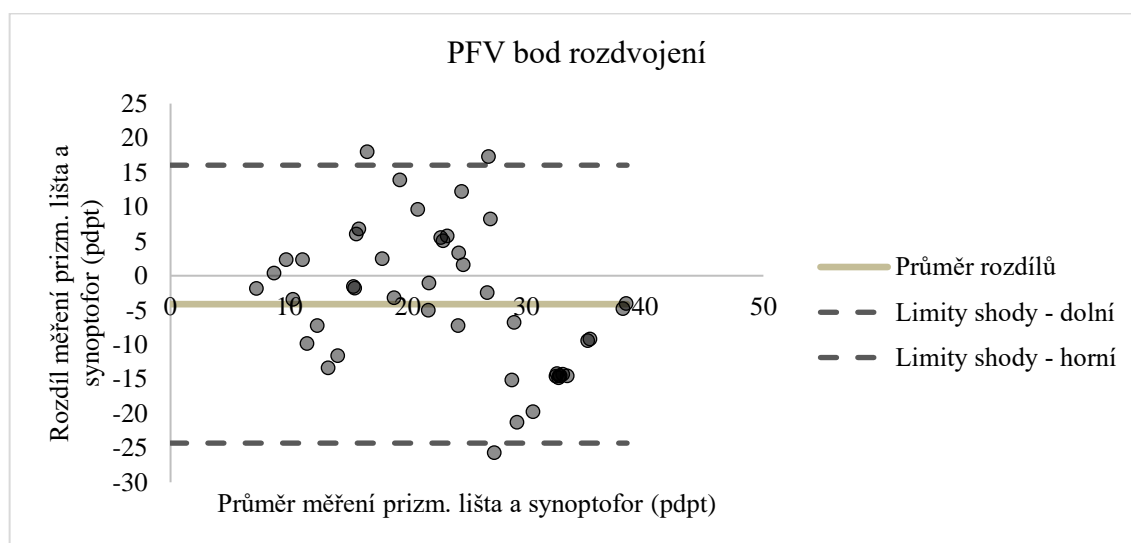
| PFV                   | Rozdíly měření<br>Synoptofor a prizmatická lišta |              |                                    | Limit shody<br>(pdpt)   | p=0,05  |
|-----------------------|--|--------------|------------------------------------|-------------------------|---------|
|                       | Průměr $x_{diff}$<br>(pdpt)                      | SD<br>(pdpt) | Koeficient shody<br>SD*1,96 (pdpt) |                         |         |
| <b>Bod rozdvojení</b> | <b>-4,1</b>                                      | $\pm 10,18$  | $\pm 20,2$                         | <b>od -24,3 do 16,1</b> | 0,05202 |
| <b>Bod spojení</b>    | <b>-3,3</b>                                      | $\pm 11,53$  | $\pm 22,8$                         | <b>od -26,2 do 19,5</b> | 0,10671 |

V tabulce 7.3 poukazují záporné hodnoty průměrů rozdílů na vyšší hodnoty NFV zjištěné pomocí synoptoforu. Při hodnocení PFV bodů rozdvojení nebyl hraničně nalezen statisticky významný rozdíl ( $p=0,052$ ). U bodů spojení rovněž nebyl nalezen statisticky významný rozdíl.



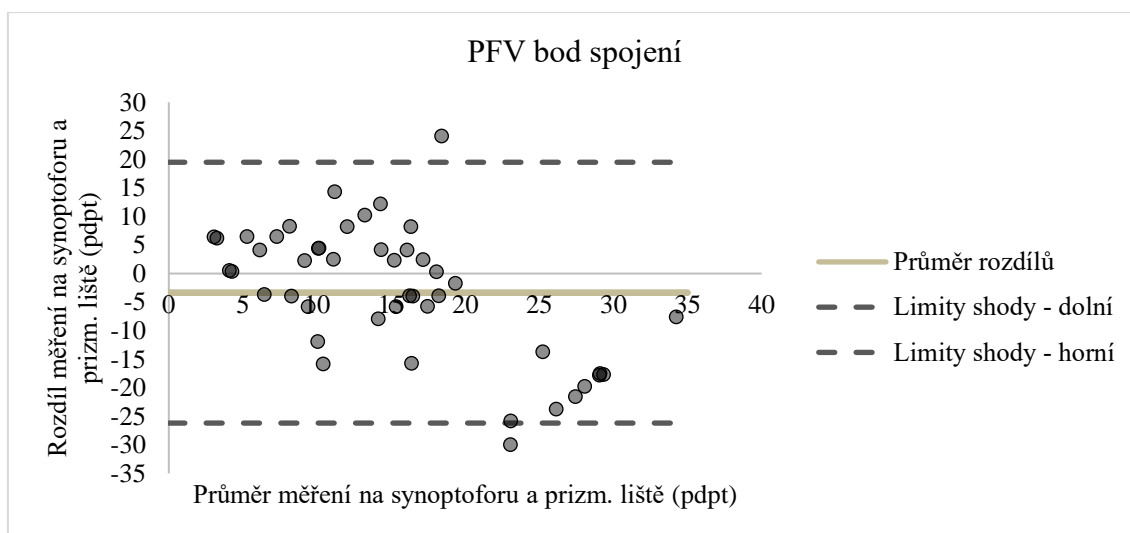
Graf 7. 8. Porovnání velikosti bodu rozdvojení a spojení u PFV

Graf 7.9 průměru a rozdílu měření prizmatické lišty a synoptoforu znázorňuje velikost PFV a jejího bodu rozdvojení. Velikost průměrného rozdílu je -4,1 pdpt. Odchylka průměru diferencí od nuly indikuje možnou systematickou chybu, kdy jedno z opakovaných měření vede systematicky k vyšším nebo nižším hodnotám než měření druhé. V tomto případě synoptofor naměřil vyšší hodnoty PFV. Statistickým testem nebyl ještě výsledek označen jako statisticky signifikantní. Limita shody byla u tří respondentů překročena. Pro PFV bodu rozdvojení se limity shody pohybují v intervalu  $\pm$  dvě směrodatné odchylky od -24,3 do 16,1 pdpt. I přesto, že statistickým testem nebyly hodnoty bodu rozdvojení PFV označeny za statisticky významné, z klinického hlediska tento limit představuje příliš vysokou hranici rozdílu opakovaných měření dvěma metodami. Zaměnění prizmatické lišty a synoptoforu pro zjištění bodu rozdvojení PFV tedy nelze označit za jednoznačné.



Graf 7. 9. Graf průměrů a rozdílů PFV bodů rozdvojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky

Graf 7.10 průměru a rozdílu měření prizmatické lišty a synoptoforu znázorňuje velikost PFV a jejího bodu spojení. Velikost průměrného rozdílu je -3,3 pdpt. Statistickým testem byl výsledek označen jako statisticky nevýznamný. Limita shody byla u dvou respondentů překročena. Pro PFV bodu rozdvojení se limity shody pohybují v intervalu  $\pm$  dvě směrodatné odchylky od -26,2 do 19,5 pdpt, což pro klinickou praxi opět představuje příliš vysokou hranici.

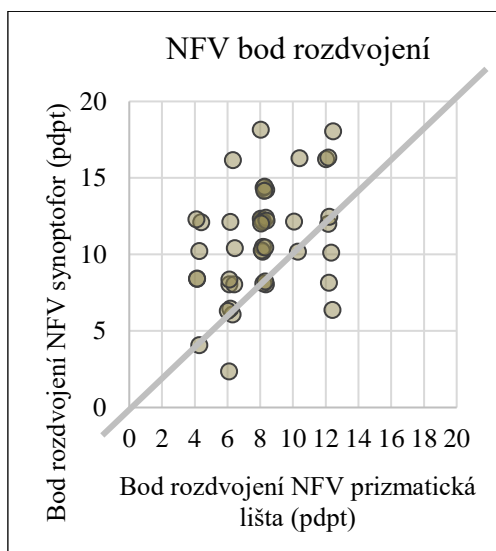


Graf 7. 10. Graf průměrů a rozdílů PFV bodů spojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky

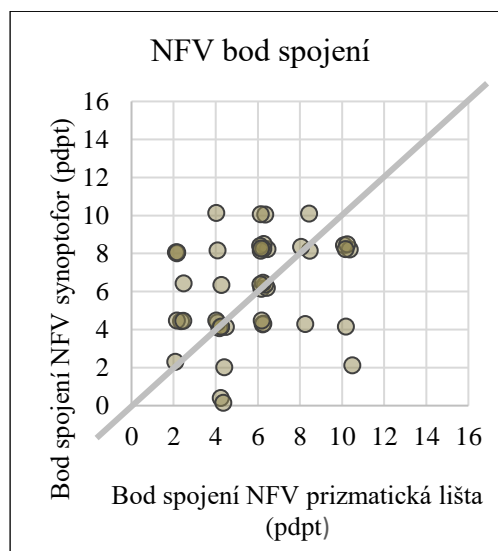
Velikost PFV pro prizmatickou lištu a synoptofor lze na základě statistické analýzy rozptylu označit za shodnou. U NFV body rozdvojení nespĺňují 0,05 hladinu významnosti, zatímco body spojení NFV tuto hladinu splňují. Oba dva body jsou ovšem důležitou součástí komplexního vyšetření fúzních rezerv, nelze je hodnotit zvlášť.

Závěrem hypotézy č. 1 je, že naměřené hodnoty NFV nespĺňují 0,05 hladinu významnosti. Zamítáme tedy nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu, která říká, že **prizmatická lišta a synoptofor poskytují rozdílné výsledky NFV do dálky**. Co se týká PFV, tak statistickým testem sice došlo k zjištění, že nulovou hypotézu ještě potvrzujeme ( $p=0,52$ ), ovšem synoptoforem byly naměřeny vyšší hodnoty PFV doložené vysokými limitami shody. **Prizmatická lišta a synoptofor rovněž poskytují rozdílné výsledky PFV do dálky**.

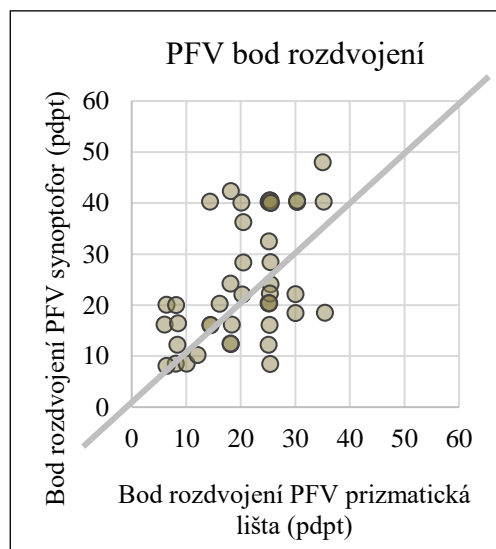
Z bodových grafů 7.11. až 7.14. lze pozorovat, že u většiny respondentů byly vyšší hodnoty fúzních rezerv naměřeny pomocí přístroje synoptoforu plynulou metodou.



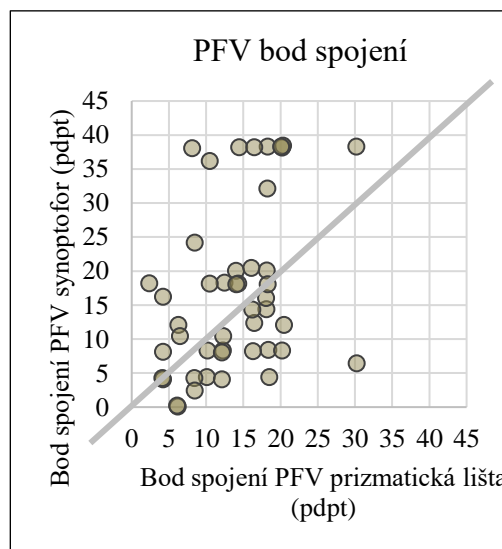
Graf 7. 11. Porovnání NFV bod rozdvojení pro prizmatickou lištu a synoptofor



Graf 7. 12. Porovnání NFV bod spojení pro prizmatickou lištu a synoptofor



Graf 7. 13. Porovnání PFV bod rozdvojení pro prizmatickou lištu a synoptofor



Graf 7. 14. Porovnání PFV bod spojení pro prizmatickou lištu a synoptofor

## 7.5.2 Hypotéza č. 2

**H02:** Vektogram, tranaglyf a prizmatická lišta poskytují shodné výsledky fúzních rezerv do blízka.

**HA2:** Vektogram, tranaglyf a prizmatická lišta poskytují rozdílné výsledky fúzních rezerv do blízka.

V rámci druhé hypotézy byly porovnány 3 testy pomocí testu Analýzy rozptylu ANOVA

Tabulka 7. 4. Analýza rozptylu pro vektogram, tranaglyf a prizmatickou lištu

|     |                | ANOVA      |
|-----|----------------|------------|
| NFV | Bod rozdvojení | 1.1465e-07 |
|     | Bod spojení    | 2.2792e-08 |
| PFV | Bod rozdvojení | 7.6605e-15 |
|     | Bod spojení    | 4.2637e-12 |

Na základě statistického zpracování všech tří metod pro zjištění velikosti fúzních rezerv do blízka lze říci, že se jedná o jednoznačně statisticky signifikantní výsledek. Zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu, která uvádí, že *prizmatická lišta, vektogram a tranaglyf poskytují rozdílné výsledky fúzních rezerv do blízka*.

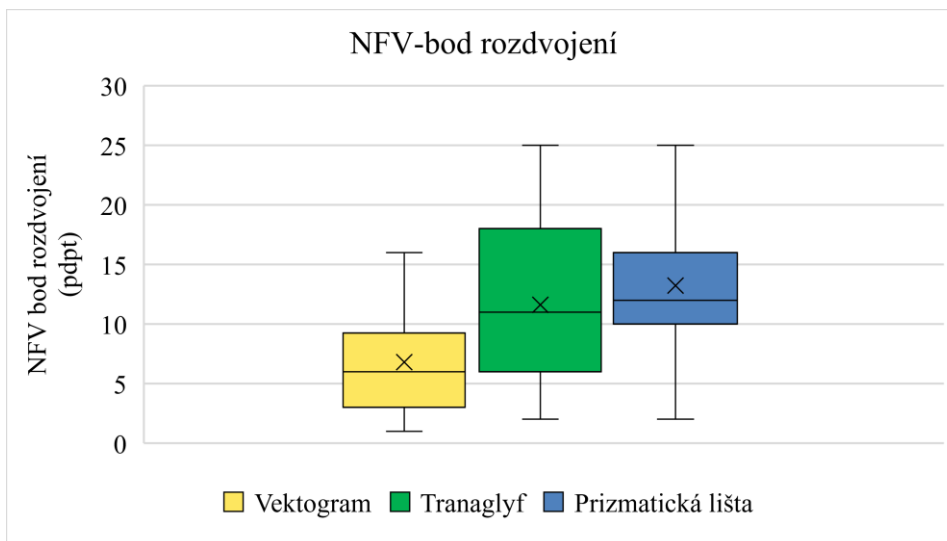
Pomocí post hoc analýzy jsou následně rozebrány rozdíly mezi jednotlivými dvojicemi testů:

Tabulka 7. 5. Post hoc analýza kombinací testů do blízka

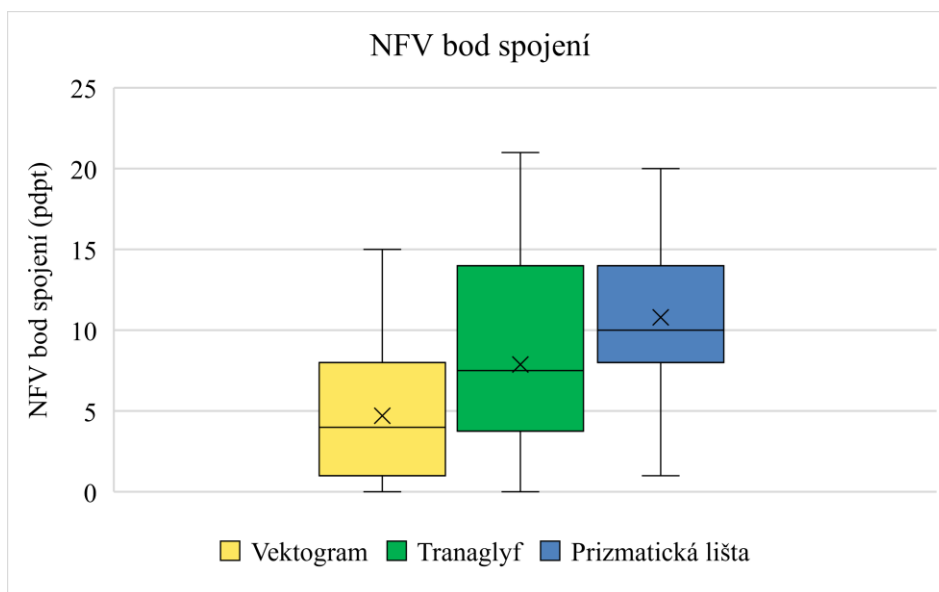
|                            | NFV bod rozdvojení | NFV bod spojení | PFV bod rozdvojení | PFV bod spojení |
|----------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| vektogram vs. tranaglyf    | 0.0002240          | 0.0052329       | 0.0003821          | 0.0082549       |
| vektogram vs. prizm. lišta | 1.7101e-06         | 2.3009e-08      | 8.4377e-15         | 5.7736e-12      |
| tranaglyf vs. prizm. lišta | 0.4962336          | 0.0116616       | 9.0037e-06         | 2.5163e-05      |

U téměř všech kombinací testů pro vyšetření fúzních rezerv do blízka byl pomocí post hoc analýzy nalezen statisticky signifikantní rozdíl. Jedinou kombinací testů, která dle statistického výpočtu poskytla informaci o jejich možné shodě byl tranaglyf a prizmatická lišta při měření NFV bodu rozdvojení.

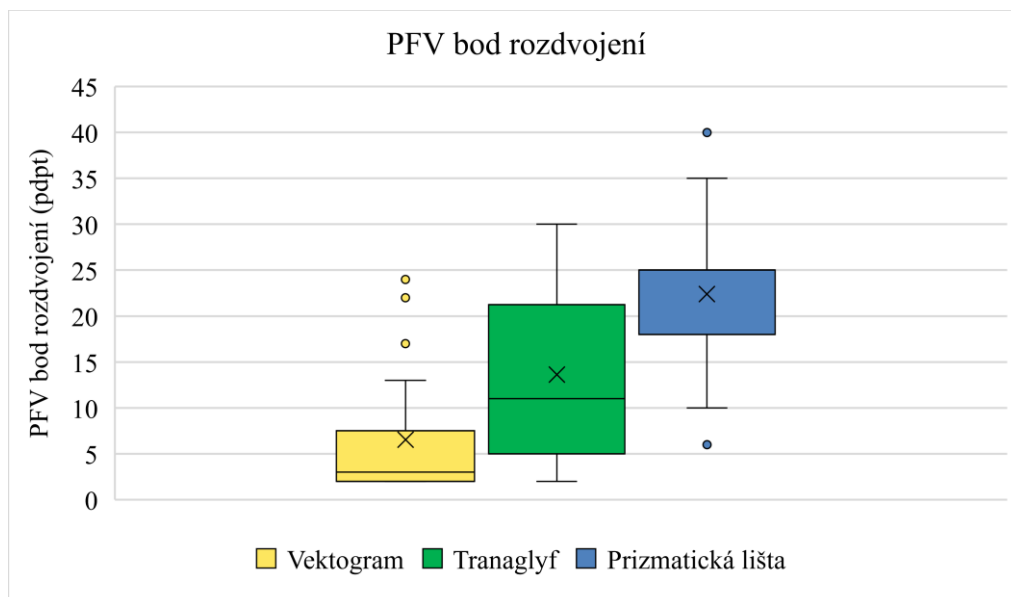
Následující grafy 7.15 až 7.18. znázorňují, jakých hodnot bylo dosaženo při měření pomocí všech tří testů do blízka. Největší rozdíl byl zjištěn při porovnání kombinace vektogramu a prizmatické lišty.



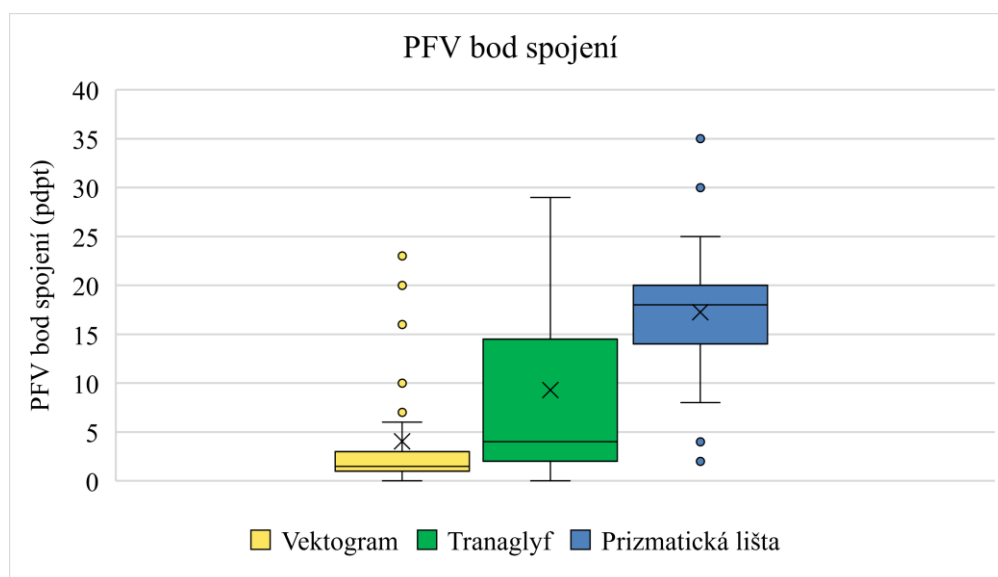
Graf 7. 15. Porovnání velikosti NFV bodu rozdvojení při měření do blízka



Graf 7. 16. Porovnání velikosti NFV bod spojení při měření do blízka

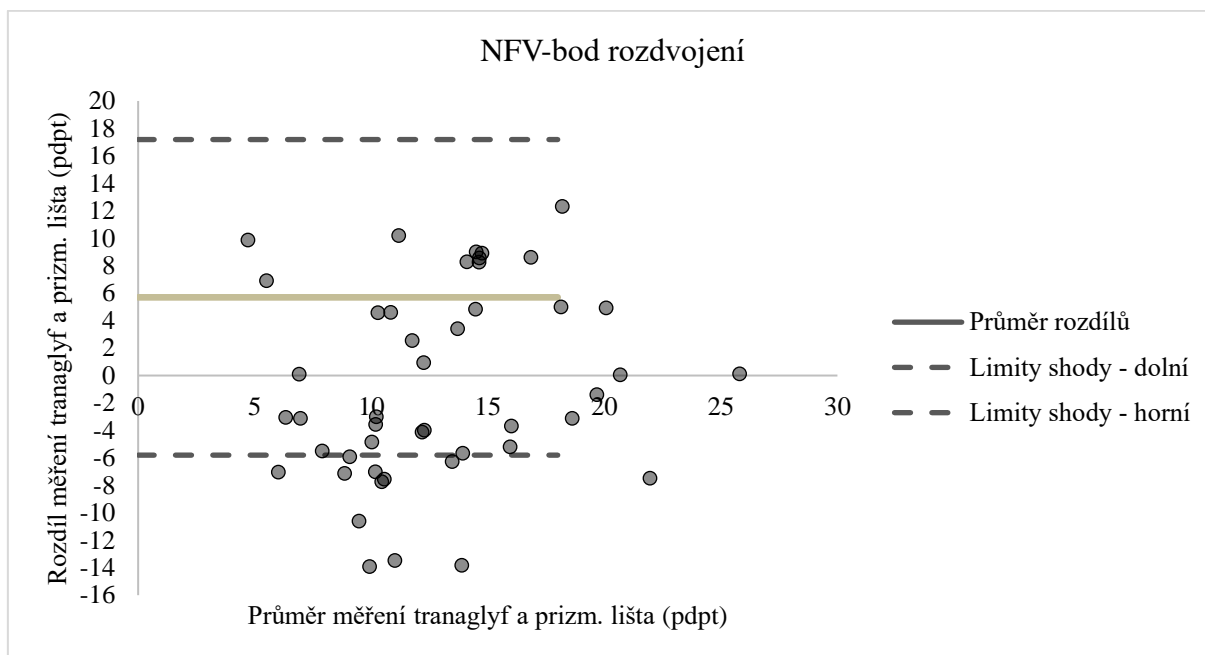


Graf 7. 17. Porovnání velikosti PFV bodu rozdvojení při měření do blízka



Graf 7. 18. Porovnání velikosti PFV bod spojení při měření do blízka

Dle statistického výpočtu je možné tranaglyf a prizmatickou lištu používat identicky při měření bodu rozdvojení u NFV. Z toho důvodu byly tyto dva testy ještě porovnány pomocí Bland-Altmanovy metody. (graf 7.19.)



Graf 7. 19. Graf průměru a rozdílu NFV bodu rozdvojení pro tranaglyf a prizmatickou lištu

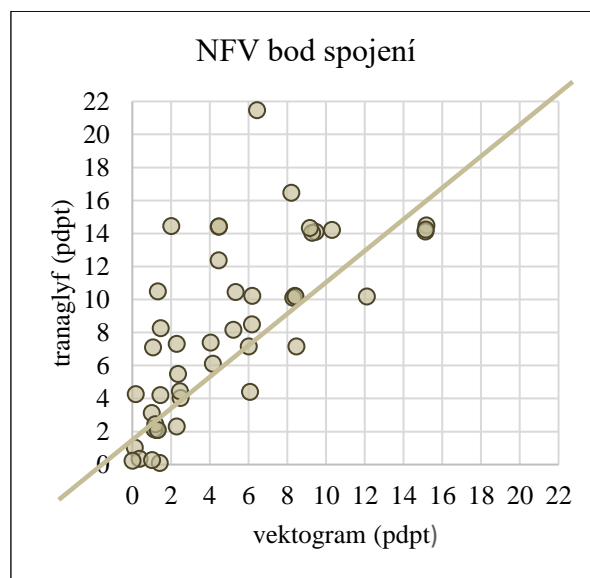
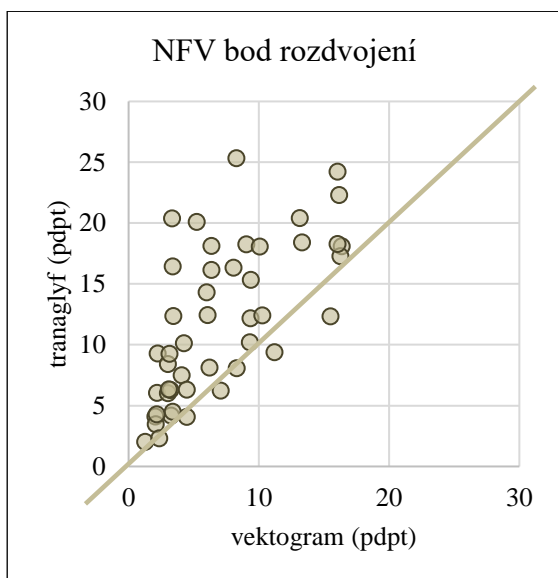
Graf č. 7.19. průměru a rozdílu měření tranaglyfu a prizmatické lišty znázorňuje velikost NFV a jejího bodu rozdvojení. Velikost průměrného rozdílu těchto dvou testů je 5,7 pdpt. Kladná hodnota průměrného rozdílu uvádí, že větších hodnot NFV bylo naměřeno pomocí tranaglyfu. I přesto, že křivka průměru rozdílu se nachází daleko od nuly, byl výsledek statistickým testem označen jako statisticky nevýznamný. Odchylka průměru diferencí od nuly znázorňuje, že jedno z měření vede k vyšším nebo nižším hodnotám než měření druhé.

Limita shody zde byla u více než 8 respondentů překročena. Pro NFV bod rozdvojení se limity shody pohybují v intervalu  $\pm$  dvě směrodatné odchylky od -5,8 do 17,2 pdpt.

I přesto, že statistickým testem došlo k zjištění, že tranaglyf a prizmatická lišta poskytují shodné fúzní rezervy, limity shody ukazují příliš vysoké rozdíly, které by byly v praxi označeny za hranici rozdílu jako nepřijatelné.

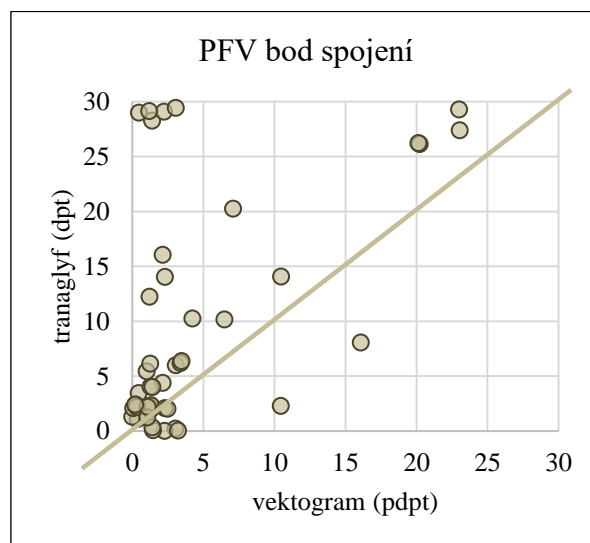
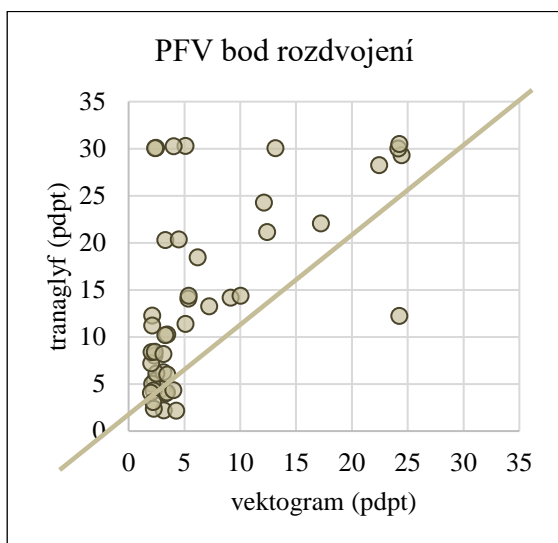


Z následujících bodových grafů 7.20 až 7.23 lze pozorovat, že u většiny respondentů byly vyšší hodnoty fúzních rezerv naměřeny na tranaglyfu než na vektogramu.



Graf 7. 20. Porovnání NFV bod rozdvojení pro vektogram a tranaglyf

Graf 7. 21. Porovnání NFV bod spojení pro vektogram a tranaglyf



Graf 7. 22. Porovnání PFV bod rozdvojení pro vektogram a tranaglyf

Graf 7. 23. Porovnání PFV bod spojení pro vektogram a tranaglyf

## 7.6 Diskuze

Výzkumná část bakalářské práce měla za cíl porovnat dvě kategorie metod pro měření fúzních rezerv. Nejdříve byly porovnávány hodnoty PFV a NFV do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu. V druhé části bylo provedeno porovnání PFV a NFV do blízka za použití vektogramu, tranaglyfu a prizmatické lišty.

Bylo nalezeno několik studií [29] zabývajících se porovnáváním smooth a step vergence. V těchto studiích bylo k zjištění fúzních rezerv plynulou (smooth) metodou vybráno Risleyho rotační prizma a jako kroková (step) vergence byla použita prizmatická lišta. Bohužel studií, které by zařadili do svého výzkumu synoptofor k porovnání fúzních rezerv s jinými testy je velmi málo. Přitom se uvádí, že měření na synoptoforu reflektuje pravdivou hodnotu fúzní vergence [41]. Synoptofor se stejně jako Risleyho prizma řadí k plynulé metodě testování fúzních rezerv. Antona a kol. [23] porovnávali rotační Risleyho prizma na forofteru a prizmatickou lištu u 61 studentů optometrie ve Španělsku. Věk studentů, velikost pozorovaného znaku a zpracování výsledků pomocí Bland-Almanovi metody bylo stejná jako v našem výzkumu. Provedli jsme tedy porovnání výsledků, i přesto, že přístroje pro smooth vergenci se lišily (Tabulka 7.6).

Tabulka 7. 6. Naměřené hodnoty v porovnávané studii Antona a kol.

| Autor studie |          | Antona a kol. [23] |                                   |                       |                  |
|--------------|----------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|
|              |          | Prizmatická lišta  | Risleyho otočné prizma/synoptofor | Průměr rozdílů měření | Koeficient shody |
| NFV          | break    | 8,6 ± 1,9          | 10 ± 2,4                          | <0,5                  | ± 8,0            |
|              | recovery | 6,3 ± 1,8          | 5,3 ± 2,0                         |                       |                  |
| PFV          | break    | 23,3 ± 7,7         | 24,7 ± 7,4                        | > 2,0                 | ±13,2            |
|              | recovery | 14,5 ± 4,2         | 11,8 ± 5,7                        |                       |                  |
| Autor studie |          | Náš výzkum         |                                   |                       |                  |
| NFV          | break    | 8 ± 2,5            | 10,7 ± 3,5                        | -2,9                  | ± 6,7            |
|              | recovery | 5 ± 2,5            | 6 ± 2,6                           | -0,4                  | ± 6,0            |
| PFV          | break    | 21 ± 8,0           | 25 ± 11,5                         | -4,1                  | ± 20,2           |
|              | recovery | 13 ± 6,4           | 17 ± 12                           | -3,3                  | ± 22,8           |

Antona ve studii uvádí, že průměr rozdílů měření dvou metod byl pro NFV méně než 0,5 pdpt, zatímco pro PFV byly hodnoty více než 2 pdpt. Průměrné rozdíly ovšem nebyly nikdy větší než 5,5 pdpt [23]. Toto zjištění se shoduje i s naším výzkumem, ve kterém byl maximální průměrný rozdíl měření 4,1 pdpt. Mezi faktory, které mohou ovlivnit rozdílné hodnoty fúzních rezerv patří působení plynulé a krokové změny fúzní vergence. Dle Antona [23] lze plynulou vergencí za použití rotačního prizmatu na foropteru dosáhnout vyšších hodnot fúzní vergence. Náš výzkum rovněž potvrdil vyšší hodnoty fúzní vergence změřené plynulou metodou na synoptoforu. Limity shody uvedené v rozdílových grafech u Antona byly pro NFV  $\pm 8$  pdpt a pro PFV  $\pm 13,2$  pdpt. Ze závěru studie vyplývá, že zaměnění prizmatické lišty a Risleého rotačního prizmatu není do klinické praxe doporučeno [23]. Limity shody v našem výzkumu rovněž nepředstavovaly hranici přijatelných fúzních rezerv a testy nebyly označeny za zaměnitelné.

V dohledané literatuře a odborných článcích byla nalezena 1 studie, která se věnovala porovnání fúzních rezerv na synoptoforu a prizmatické liště [41]. Studie se ovšem zabývala asijskými dětmi s intermitentní exotropií s velikostí úchylny minimálně 10 pdpt. Ve studii byly naměřené výsledky porovnány s kontrolní skupinou ortoforických dětí. K porovnání hodnot s naším výzkumem jsme ze studie získali hodnoty kontrolní skupiny a jejich naměřené fúzní rezervy porovnali s hodnotami našeho výzkumu (*Tabulka 7.7*). Z tabulky je patrné, že v našem výzkumu jsou uvedeny větší směrodatné odchylky nežli v porovnávané studii. Důvod může být takový, že kritériem pro zařazení do našeho výzkumu nebyla ortoforie, ale heteroforie do 10 pdpt.

*Tabulka 7. 7. Porovnání prizmatické lišty a synoptoforu se zahraniční studií*

|     |          | Kontrolní skupina ortoforických dětí [41] |                   | Náš výzkum |                   |
|-----|----------|---|-------------------|------------|-------------------|
|     |          | synoptofor                                | prizmatická lišta | synoptofor | prizmatická lišta |
| NFV | break    | 8,2 ± 0,4                                 | 8,8 ± 0,32        | 10,7 ± 3,5 | 8 ± 2,5           |
|     | recovery | 3,4 ± 0,3                                 | 2,2 ± 0,08        | 6 ± 2,6    | 5 ± 2,5           |
| PFV | break    | 30,2 ± 1,95                               | 26,5 ± 1,5        | 25 ± 11,5  | 21 ± 8,0          |
|     | recovery | 7,9 ± 1,1                                 | 5,3 ± 0,5         | 17 ± 12    | 13 ± 6,4          |

Měření prizmatickou lištou a synoptoforem má i odlišné zrakové podmínky, které v roce 1970 uvedl Jampolsky [59]. Synoptofor navozuje přístrojové podmínky, zatímco použitím prizmatické lišty zachováváme přirozené podmínky vidění. Při použití prizmatické lišty je výchozím stavem pro měření fúzních rezerv přirozené binokulární vidění, spontánní fúze. Na synoptoforu dochází nejdříve k vykorigování úchyly šilhání a až následně jsou změřeny fúzní rezervy (šířka fúze). U exoforie je paralelní postavení očí založeno na zapojení konvergence. Při předložení prizmatu BN dochází k relaxaci konvergence do okamžiku, než dojde k vykorigování úchyly šilhání. Na synoptoforu je úchyly vykorigována hned na začátku, tudíž složka relaxace konvergence není přítomna a pomocí synoptoforu je možné detekovat správnou hodnotu NFV [59]. I z tohoto důvodu nejspíše došlo v našem výzkumu k zjištění, že hodnota NFV na synoptoforu není tolik ovlivněna přítomností heteroforie jako u prizmatické lišty (*Příloha č.2*). Stejného výsledku bylo dosaženo i ve výše zmíněné studii asijských dětí s exotropií [41], kde zjistili, že děti s exotropií mají nižší PFV do dálky i do blízka jak s prizmatickou lištou, tak se synoptoforem. Výrazný rozdíl nebyl nalezen mezi dvěma skupinami testovaných při měření NFV na synoptoforu. Toto zjištění se shoduje i s výsledky našeho výzkumu (*Příloha č.2*).

V druhé části práce byly porovnávány hodnoty fúzní vergence do blízka pomocí vektogramu, tranaglyfu a prizmatické lišty. Výsledky statistického zpracování jednoznačně ukazují, že jednotlivé testy poskytují rozdílné hodnoty fúzní vergence. Nečekaným zjištěním bylo, že tranaglyf poskytuje vyšší hodnoty fúzních rezerv nežli vektogram. Při studii propustnosti světla červeno-zelenými brýlemi, byla propustnost světla zeleného filtru brýlí vyšší než propustnost červeného. Rozdíly se pohybovaly od 15,3 % do 33,1 %. Tyto výrazné rozdíly mezi červenými a zelenými materiály jsou důležité, protože mohou vytvářet nerovnosti v osvětlení sítnice a urychlit vznik suprese. Objevuje se výraznější překážka pro fúzi nejen u pacientů se supresí ale i lidí s výraznými akomodačními anomáliemi [60]. Dle Scheimana a Wicka jsou tranaglyfy považovány za obtížnější metodu [15].

Pro náš výzkum byl použitý tranaglyf s velkým centrálním podnětem, při jehož fixaci dochází ke stimulaci periferní fúze. Použitý tranaglyf neobsahuje jemné detaily a nevyžaduje přesnou akomodaci jako tranaglyfy s jemnými detaily [15]. Z tohoto důvodu při měření na tranaglyfu nedocházelo k bodu rozmazání.

Na vektogramu byl jako centrální podnět použit znak o poloviční velikosti nežli na tranaglyfu. Centrální fúzní podnět obsahoval jemné detaily, vyžadující přesnou akomodaci. Tento poznatek může být jedním z hlavních faktorů, proč byly vektogramem naměřeny nižší

fúzní rezervy.

Další okolností je maximální možná velikost NFV a PFV, kterou jednotlivé testy umožňují. Pomocí tranaglyfu lze naměřit 30 pdpt pro PFV i NFV při dodržení vyšetřovací vzdálenosti 40 cm. Vektogramem lze získat maximálně 24 pdpt PFV a 16 pdpt NFV. Tento problém rovněž může ovlivnit naměřené výsledky ve prospěch tranaglyfu.

U všech respondentů podstupujících měření na tranaglyfu i vektogramu byl přítomný hloubkový vjem. Rovněž při testování byl přítomen SILO fenomén a u žádného z vybraných respondentů nedocházelo k supresi oka.

Přítomnost heteroforie do blízka rovněž ovlivnila naměřené výsledky (*Příloha č.2*). Vektogramem i tranaglyfem byla u esofovie naměřena větší PFV, naopak nižší NFV. Ke stejnému zjištění došlo i u exoforie s nižšími hodnotami PFV, a naopak vyššími NFV. S prizmatickou lištou byly také naměřeny vyšší hodnoty PFV u respondentů s esofovií.

*Závěrečná tabulka 7.8* shrnuje normální hodnoty fúzních rezerv z dostupných zdrojů pomocí prizmatické lišty do dálky a do blízka s hodnotami naměřenými v našem výzkumu. Na první pohled je patrné, že hodnoty NFV do dálky i do blízka jsou téměř (s tolerancí 1 pdpt) srovnatelné jako očekávané hodnoty ostatních autorů. Velikosti PFV do dálky lze zařadit do rozsahu normálních hodnot PFV dle Pluháčka [16]. V porovnání s normálními hodnotami dle Pluháčka byla námi zjištěná průměrná PFV nižší. Odůvodnění může být takové, že zastoupení respondentů s exoforie do blízka bylo v našem výzkumu vyšší nežli respondentů s esofovií.

*Tabulka 7. 8. Porovnání průměrných hodnot výzkumu s normálními hodnotami*

| Autor                    |          | Scheiman, Wick [15] |        | Pluháček [16] |        | Náš výzkum |        |
|--------------------------|----------|---------------------|--------|---------------|--------|------------|--------|
| Prizmatická lišta (pdpt) |          | Dálka               | Blízko | Dálka         | Blízko | Dálka      | Blízko |
| NFV                      | break    | 7                   | 13     | 6-12          | 12-18  | 8          | 13     |
|                          | recovery | 4                   | 10     | 4-8           | 8-14   | 5          | 11     |
| PFV                      | break    | 11                  | 19     | 18-22         | 30-34  | 21         | 22     |
|                          | recovery | 7                   | 14     | 14-18         | 22-30  | 13         | 17     |

## 7.7 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnání velikosti fúzních rezerv do blízka a do dálky pomocí několika metod. V první části výzkumu byly porovnány fúzní rezervy do dálky naměřené prizmatickou lištou a na synoptoforu. Druhá část se věnovala porovnání fúzních rezerv do blízka zjištěných na vektogramu, tranaglyfu a prizmatické liště.

V rámci první hypotézy bylo třeba ověřit, zda prizmatická lišta a synoptofor poskytují shodné hodnoty fúzních rezerv do dálky. Na synoptoforu byly obecně naměřeny vyšší hodnoty NFV i PFV. Pomocí analýzy rozptylu (Anova) byl nalezen statisticky významný rozdíl pro bod rozdvojení u NFV. Naopak bod spojení u NFV nebyl označen za statisticky významný. Dále byla provedena analýza rozptylu pro PFV do dálky a nebyl nalezen statisticky významný rozdíl pro bod rozdvojení ani pro bod spojení. Ovšem u PFV bodů rozdvojení nebyl statisticky významný rozdíl nalezen hraničně ( $p=0,052$ ). Dle statistické metody lze říci, že pro NFV přijímáme alternativní hypotézu: **Prizmatická lišta a synoptofor neposkytují shodné výsledky NFV do dálky, jelikož na synoptoforu byly naměřeny hodnoty vyšší.** Naopak pro zjištění PFV lze na základě statistického vyhodnocení potvrdit nulovou hypotézu, že prizmatická lišta a synoptoforu poskytují shodné výsledky PFV do dálky. Z klinického hlediska je ale potřeba nahlédnout do rozdílového grafu Bland-Altmanovy metody a na hodnoty, které jsou v něm uvedeny. Limity shody pro prizmatickou lištu a synoptofor se u PFV pohybují v rozmezí od -24,3 do 16,1 pdpt pro bod rozdvojení a od -26,2 do 19,5 pdpt pro bod spojení. V praxi tyto limity představují příliš vysokou hranici. Hodnoty PFV vycházeli na synoptoforu vyšší nežli s prizmatickou lištou. I přestože statistická analýza označila výsledky za statisticky nevýznamné, **nelze pro hodnocení PFV do dálky používat prizmatickou lištu a synoptofor záměnně.**

Ze studie vyplývá, že nelze tedy spoléhat pouze na statistické vyhodnocení výsledků, ale položit si i klinickou otázku a na základě odborného zhodnocení na ni odpovědět.

Druhá hypotéza měla za cíl zjistit, zda vektogram, tranaglyf a prizmatická lišta poskytují shodné výsledky fúzních rezerv do blízka. Statistickým zhodnocením byla nulová hypotéza zamítnuta a přijata alternativní, která říká, že **vektogram, tranaglyf a prizmatická lišta poskytují rozdílné hodnoty fúzních rezerv do blízka.** Nejnižší hodnoty byly naměřeny na vektogramu. Hlavní příčinou, která mohla způsobit rozdílné výsledky vektogramu a tranaglyfu je rozdílná velikost centrálního fúzního podmětu těchto dvou metod. Bohužel, současně na trhu neexistují vektogramy a tranaglyfy s totožným centrálním fúzním podnětem

a do našeho výzkumu byly použity pouze ty dostupné. Vhodným návrhem pro budoucí výzkum se jeví právě porovnání takových vektogramů a tranaglyfů, které budou mít totožný centrální fúzní podnět. Při dodržení tohoto kritéria lze lépe provést porovnání naměřených fúzních rezerv. Pro náš výzkum byl vybrán tranaglyf, na kterém obecně klienti mají lepší výsledky, tudíž je i více vhodný v začátcích zrakového tréninku. Pokud bychom s některými respondenty pokračovali ve zrakovém tréninku, v dalších fázích cvičení by bylo vhodné zařadit tranaglyfy s jemnými detaily kvůli zapojení správné míry akomodace.

V bakalářské práci byl kromě zhodnocení hypotéz potvrzen i předpoklad, že přítomnost heteroforie ovlivňuje velikost naměřených fúzních rezerv do dálky i do blízka. Pouze hodnota NFV na synoptoforu není tolik ovlivněna přítomností heteroforie jako ostatní metody.

Předložená bakalářská práce by mohla sloužit optometristům a ortoptistům z praxe, kteří se zabývají zrakovým tréninkem nejen dospělých ale i dětí. Zrakový trénink založený na posílení fúzních rezerv je možný provádět pomocí všech metod použitých v našem výzkumu. Ovšem při vstupním a závěrečném vyšetření je vhodné provést pouze jednu metodu, která nám lépe zhodnotí dosažené výsledky fúzních rezerv za časové období.

## Seznam použité literatury

1. EVANS, Bruce J. W. *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*, 5th edition. Elsevier. 2007. ISBN 978-0-7506-8897-0
2. HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN: 978-80-7013-530-3
3. DIVIŠOVÁ, Gabriela. *Strabismus*. Praha: Avicem, 1990. ISBN: 80-201-0037-7
4. ROWE, Fiona. *Clinical orthoptics*. 3rd. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. ISBN 978-1-4443-3934-5
5. STIDWILL, David and FLETCHER, Robert. *Normal Binocular Vision*. Blackwell Publishing, 2011. ISBN 978-1-4051-9250-7
6. STEINMAN, Scott B. STEINMAN, Barbara A. GARZIA Ralph Philip. *Foundations of Binocular Vision, A Clinical Perspective*. McGraw-Hill Companies, 2000. ISBN: 978-0-83-852670-5
7. DOSTÁLEK, Miroslav. *Úvod a význam binokulárního vidění*. (přednáška) Brno: Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, 22.2.2017 Dostupné z: <http://binocular.cz/presentations/uvodAVyznamBV-2.0/>
8. KUCHYŇKA, Pavel. *Oční lékařství. 2.*, přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
9. NORDEN, Gunter K. CAMPOS, Emilio C. *Binocular Vision and Ocular Motility: theory and management of strabismus*. 6th ed. St. Louis. Mosby, 2002. ISBN: 0-323-01129- 2
10. ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 978-80-7013-402-3.
11. MADDOX, EE. *The Clinical Use of Prisms and the Decentering of Lenses*. 2nd edn. Bristol: John Wright and Co, 1893
12. ROSENFELD, MARK a Mark ROSENFELD. *Tonic Vergence and Vergence Adaptation*. *Optometry and Vision Science* [online]. 1997, 74(5) [cit. 2022-01-02]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-199705000-00027
13. COGAN, DG. *Neurology of the Ocular Muscles*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1948:20-8
14. FOGT, Nick, Andrew J TOOLE a David L ROGERS. *A review of proximal inputs to the near response*. *Clinical and Experimental Optometry*. 2016, 99(1), 30-38. ISSN 0816-4622. Dostupné z: doi:10.1111/cxo.12301



15. SCHEIMAN, Mitchell a Bruce WICK. *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders*. 4th edition. Philadelphia: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, a WOLTERS KLUWER business, 2014. ISBN 978-1-4511-7525-7.
16. PLUHÁČEK, František a Lenka MUSILOVÁ. *Akomodace avergence*. Katedra optiky PřF UP v Olomouci. Dostupné z: <http://www.optometry.cz/materialy.php>
17. GUYTON, David L. Changes in Strabismus Over Time: *The Roles of Vergence Tonus and Muscle Length Adaptation*. *Pediatric Ophthalmology, Neuro-Ophthalmology, Genetics* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, 11-24 [cit. 2021-11-09]. Essentials in Ophthalmology. ISBN 978-3-540-85850-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-85851-5\_2)
18. DEMER, Joseph L., Sei Yeul OH a Vadims POUKENS. *Evidence for Active Control of Rectus Extraocular Muscle Pulleys*. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. 2000(41) [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2123547>
19. DOSTÁLEK, Miroslav. *Terapeutické využití prizmat v ortoptice*. (konference) Brno: 9.11.2018
20. DOSTÁLEK, Miroslav. *Obecná fyziologie binokulárního vidění: analytická složka II–binokulární stereopse a VAS*. (přednáška) Brno: Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, 19.4.2017 Dostupné z: <http://binocular.cz/presentations/analytickaSlozkaBV-II-2.0/>
21. HOFFMAN, Lean, Allen H. COHEN a Gary FEUER. *EFFECTIVENESS OF NON-STRABISMUS OPTOMETRIC VISION TRAINING IN A PRIVATE PRACTICE*. *Optometry and Vision Science* [online]. 1973, 50(10), 813-815 [cit. 2022-01-02]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-197310000-00008
22. GRISHAM, J DAVID, MARK C. BOWMAN, LEIGH A. OWYANG a CHRISTINE L. CHAN. *Vergence Orthoptics: Validity and Persistence of the Training Effect*. *Optometry and Vision Science* [online]. 1991, 68(6), 441-451 [cit. 2022-01-02]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-199106000-00005
23. ANTONA, B., A. BARRIO, F. BARRA, E. GONZALEZ a I. SANCHEZ. *Repeatability and agreement in the measurement of horizontal fusional vergences*. *Ophthalmic and Physiological Optics* [online]. 2008, 28(5), 475-491 [cit. 2022-01-02]. ISSN 02755408. Dostupné z: doi:10.1111/j.1475-1313.2008.00583.x

24. LIEBERMANN, Laura, Sarah R. HATT, David A. LESKE, Tomohiko YAMADA, Brian G. MOHNEY, Michael C. BRODSKY a Jonathan M. HOLMES. *Assessing Divergence in Children With Intermittent Exotropia*. *Strabismus* [online]. 2012, 20(1), 11-16 [cit. 2022-01-02]. ISSN 0927-3972. Dostupné z: doi:10.3109/09273972.2012.655838
25. PALOMO ÁLVAREZ, Catalina, María C. PUELL, Celia SÁNCHEZ-RAMOS a Consuelo VILLENA. *Normal values of distance heterophoria and fusional vergence ranges and effects of age*. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* [online]. 2006, 244(7), 821-824 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0721-832X. Dostupné z: doi:10.1007/s00417-005-0166-5
26. JORGE, Jorge, José Borges DE ALMEIDA a Manuel A. PARAFITA. *Binocular Vision Changes in University Students: A 3-Year Longitudinal Study*. *Optometry and Vision Science* [online]. 2008, 85(10), E999-E1006 [cit. 2022-01-02]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0b013e3181890d35
27. RAZAVI, Mohammad Etehad, Setareh Sagheb Hossein POOR a Amaneh DANESHYAR. *Normative values for the fusional amplitudes and the prevalence of heterophoria in adults*. *Iranian Journal of Ophthalmology* [online]. 2010, 2010(3), 41-46 [cit. 2022-01-02]
28. GOSS, David A. a Emily BECKER. *Comparison of near fusional vergence ranges with rotary prisms and with prism bars*. *Optometry - Journal of the American Optometric Association* [online]. 2011, 82(2), 104-107 [cit. 2022-01-02]. ISSN 15291839. Dostupné z: doi:10.1016/j.optm.2010.09.011
29. LANÇA, Carla Costa a Fiona J. ROWE. *Measurement of fusional vergence: a systematic review*. *Strabismus* [online]. 2019, 27(2), 88-113 [cit. 2022-01-02]. ISSN 0927-3972. Dostupné z: doi:10.1080/09273972.2019.1583675
30. NARBHERAM, J a A FIRTH. *Prism fusion range: blur point, break point, and recovery point*. *Br Orthopt J*. 1997(54), 2-6
31. ROWE, Fiona J. *Fusional Vergence Measures and Their Significance in Clinical Assessment*. *Strabismus* [online]. 2010, 18(2), 48-57 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0927-3972. Dostupné z: doi:10.3109/09273971003758412
32. COSTA LANÇA, Carla a Fiona J. ROWE. *Variability of Fusion Vergence Measurements in Heterophoria*. *Strabismus* [online]. 2016, 24(2), 63-69 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0927-3972. Dostupné z: doi:10.3109/09273972.2016.1159234
33. SHE, Man, Tao LI, Qianqian HU, Jie ZHU a Xiaodong ZHOU. *Relationship between age, refractive errors and motor fusion in a normal Chinese adult population: a cross-*

- sectional study*. BMC Ophthalmology [online]. 2021, 21(1) [cit. 2022-01-03]. ISSN 1471-2415. Dostupné z: doi:10.1186/s12886-021-02105-z
34. WESSON, MICHAEL D. a JOHN F. AMOS. *Norms for Hand-Held Rotary Prism Vergences*. Optometry and Vision Science [online]. 1985, 62(2), 88-94 [cit. 2022-01-03]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-198502000-00004
35. WESSON, MICHAEL D. *Normalization of Prism Bar Vergences*. Optometry and Vision Science [online]. 1982, 59(8), 628-634 [cit. 2022-01-03]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-198208000-00002
36. FRAY, Katherine J. *Fusional Amplitudes: Exploring Where Fusion Falters*. American Orthoptic Journal [online]. 2017, 63(1), 41-54 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0065-955X. Dostupné z: doi:10.3368/aoj.63.1.41
37. SASSONOV, O, Y SASSONOV, K KOSLOWE a E SHNEOR. *The effect of test sequence on measurement of positive and negative fusional vergence*. Optometry & Vision Development. 2010;41(1), 24-27.
38. ROSENFELD, MARK, KENNETH J. CIUFFREDA, EDITHA ONG a SELWYN SUPER. *Vergence Adaptation and the Order of Clinical Vergence Range Testing*. Optometry and Vision Science [online]. 1995, 72(4), 219-223 [cit. 2022-01-03]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-199504000-00001
39. FRAY, Katherine J. *Fusional Amplitudes: Developing Testing Standards*. Strabismus [online]. 2017, 25(3), 145-155 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0927-3972. Dostupné z: doi:10.1080/09273972.2017.1349814
40. FELDMAN, JEROME M., JEFFREY COOPER, PAT CARNIGLIA, FAITH M. SCHIFF a JULIUS N. SKEETE. *Comparison of Fusional Ranges Measured by Risley Prisms, Vectograms, and Computer Orthopter*. Optometry and Vision Science [online]. 1989, 66(6), 375-382 [cit. 2021-10-11]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-198906000-00007
41. FU, Tao, Jing WANG, Moran LEVIN, Qing SU, Dongguo LI a Junfa LI. *Fusional Vergence Detected by Prism Bar and Synoptophore in Chinese Childhood Intermittent Exotropia*. Journal of Ophthalmology [online]. 2015, 2015, 1-6 [cit. 2021-10-11]. ISSN 2090-004X. Dostupné z: doi:10.1155/2015/987048
42. *Complete Horizontal & Vertical Prism Bar Set* [online]. [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: [https://www.bernell.com/product/ACPS31/Prism\\_Bars](https://www.bernell.com/product/ACPS31/Prism_Bars)
43. SCHULTINGA, L., F. BURGGRAAF, J. R. POLLING a M. GUTTER. *Bagolini Glasses: Do They Affect The Horizontal Prism Fusion Amplitude?* Strabismus [online].

- 2013, 21(2), 127-130 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0927-3972. Dostupné z: doi:10.3109/09273972.2013.787632
44. *The Clement Clarke Synoptophore* [online]. [cit. 2022-01-03] Dostupné z: <https://www.haag-streit.com/haag-streit-uk/products/campaigns/hs-uk-distributor-pages/synoptophore/>
45. *Variable Tranaglyph™ Kit - 500 Series* [online]. [cit. 2022-01-03] Dostupné z: <https://www.bernell.com/product/BC500/Tranaglyphs>
46. *Gem PL Polarized Variable Vectograph with Fixation Disparity Target* [online]. [cit. 2022-01-03] Dostupné z: <https://www.bernell.com/product/VA1060PL/Vectograms-Vectographs>
47. *Handheld Risley Prism* [online]. [cit. 2022-01-03] Dostupné z: [https://www.bernell.com/product/ARPHH30/Index\\_H](https://www.bernell.com/product/ARPHH30/Index_H)
48. GALL, RONALD, BRUCE WICK a HAROLD BEDELL. *Vergence Facility: Establishing Clinical Utility*. *Optometry and Vision Science* [online]. 1998, 75(10), 731-742 [cit. 2022-01-03]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-199810000-00018
49. GRISHAM, J. DAVID. *The Dynamics of Fusional Vergence Eye Movements in Binocular Dysfunction*. *Optometry and Vision Science* [online]. 1980, 57(9), 645-655 [cit. 2022-01-03]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/00006324-198009000-00016
50. MVILLE, A.C. a FIRTH, A.Y. *Is there a relationship between prism fusion range and vergence facility?* *British Orthoptic Journal*. The University of Sheffield, 2002, 2002(59), 38-44. ISSN 0068-2314
51. MCDANIEL, Catherine a Nick FOGT. *Vergence adaptation in clinical vergence testing*. *Optometry - Journal of the American Optometric Association* [online]. 2010, 81(9), 469-475 [cit. 2022-01-03]. ISSN 15291839. Dostupné z: doi:10.1016/j.optm.2010.01.012
52. *Vergence Facility Prism (12D Base-Out/3D Base-In)* [online]. [cit. 2022-01-03] Dostupné z: [https://www.bernell.com/product/G11107/Vergence\\_Facility](https://www.bernell.com/product/G11107/Vergence_Facility)
53. PERCIVAL, A. *The prescribing of spectacles*, 3rd ed. Bristol, England: John Wright, 1928.
54. SHEARD, C. *Zones of ocular comfort*. *Am J Optom*, 1930

55. ANTONY, J. Prisms in clinical practice. Kerala Journal of Ophthalmology [online]. 2017, 29(2), 79-85 [cit. 2022-01-03]. ISSN 0976-6677. Dostupné z: doi:10.4103/kjo.kjo\_84\_17
56. DOSTÁLEK, Miroslav. *Ortoptika I: cvičení motorické složky* (přednáška) Brno: Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, 15.11.2017
57. Cat card [online]. [cit. 2022-01-03] Dostupné z: [https://www.gei.co.in/services/orthoptic\\_stereogram.php](https://www.gei.co.in/services/orthoptic_stereogram.php)
58. DUŠEK, L., T. PAVLÍK a J. KOPTÍKOVÁ. Analýza dat v neurologii: VII. Reprodukovatelnost a opakovatelnost měření u spojitých dat. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie. 2008, 71/104(1), 106-109. ISSN 1803-6597.
59. JAMPOLSKY, A. Ocular divergence mechanisms. Transactions of the American Ophthalmological Society. 1970, (68), 730-822.
60. Bogdanovich G, Roth N, Kohl P. Properties of anaglyphic materials that affect the testing and training of binocular vision. J Am Optom Assoc. 1986, (57), 899–903.
61. Vlastní archiv

## Seznam symbolů a zkratk

### Seznam symbolů

| Symbol | Význam                |
|--------|-----------------------|
| D      | dioptrie              |
| pdpt   | prizmatická dioptrie  |
| ms     | milisekunda           |
| s      | sekunda               |
| cpm    | počet cyklů za minutu |
| m      | metr                  |
| cm     | centimetr             |

### Seznam zkratk

| Zkratka | Význam                        |
|---------|-------------------------------|
| JBV     | Jednoduché binokulární vidění |
| FR      | Fúzní rezervy                 |
| NFV     | Negativní fúzní rezervy       |
| PFV     | Pozitivní fúzní rezervy       |
| HTF     | Heteroforie                   |
| BT      | Bázi temporálně               |
| BN      | Bázi nasálně                  |

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 2.1 Reflexní oblouk binokulární fúze [7].....               | 9  |
| Obrázek 3.1 Složkyvergence [16] .....                               | 14 |
| Obrázek 3.2 Schéma prizmatické adaptace [12] .....                  | 15 |
| Obrázek 3.3 Bulbární a orbitální vrstva okohybného svalu [18].....  | 16 |
| Obrázek 3.4 Vergenčně-akomodační synkinéza [20].....                | 17 |
| Obrázek 4.1 Menší a bližší vnímání obrazu při PFV [15].....         | 31 |
| Obrázek 4.2 Větší a vzdálenější vnímání obrazu při NFV [15] .....   | 31 |
| Obrázek 4.3 Princip měření na tranaglyfu [15] .....                 | 33 |
| Obrázek 4.4 Risleyho ruční otočné prizma [47].....                  | 35 |
| Obrázek 4.5 Flipper pro vergenční facilitu [52].....                | 36 |
| Obrázek 5.1 Prizma před okem [55].....                              | 37 |
| Obrázek 6.1. Princip cvičení s Brockovou šňůrou [15].....           | 42 |
| Obrázek 6.2. „Tři kočky“ [57].....                                  | 42 |
| Obrázek 7. 1. Vektogram [46] .....                                  | 48 |
| Obrázek 7. 2. Prizmatická lišta [43] .....                          | 49 |
| Obrázek 7. 3. Optotyp do blízka pro měření fúzních rezerv [61]..... | 49 |
| Obrázek 7. 4. Clement Clarke Synoptofor [45].....                   | 50 |
| Obrázek 7. 5. Obrázky makulární fúze FII [44] .....                 | 50 |
| Obrázek 7. 6. Tranaglyf [45] .....                                  | 51 |

## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 4.1 Očekávané hodnoty smooth vergence [15] .....                          | 25 |
| Tabulka 4.2 Hodnoty NFV měřené Risleyho rotačním prizmatem.....                   | 26 |
| Tabulka 4.3 Hodnoty PFV měřené Risleyho rotačním prizmatem .....                  | 26 |
| Tabulka 4.4 Očekávané hodnoty step vergence [15].....                             | 27 |
| Tabulka 4.5 Hodnoty NFV měřené prizmatickou lištou .....                          | 27 |
| Tabulka 4.6 Hodnoty PFV měřené prizmatickou lištou .....                          | 28 |
|   |    |
| Tabulka 7. 1. Pořadí testů u dvou skupin respondentů.....                         | 47 |
| Tabulka 7. 2. Porovnání NFV do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu.....  | 52 |
| Tabulka 7. 3. Porovnání PFV do dálky pomocí prizmatické lišty a synoptoforu ..... | 54 |
| Tabulka 7. 4. Analýza rozptylu pro vektogram, tranaglyf a prizmatickou lištu..... | 58 |
| Tabulka 7. 5. Post hoc analýza kombinací testů do blízka .....                    | 58 |
| Tabulka 7. 6. Naměřené hodnoty v porovnávané studii Antona a kol. ....            | 63 |
| Tabulka 7. 7. Porovnání prizmatické lišty a synoptoforu se zahraniční studií..... | 64 |
| Tabulka 7. 8. Porovnání průměrných hodnot výzkumu s normálními hodnotami .....    | 66 |



## Seznam grafů

|   |    |
|---|----|
| Graf 7. 1. Výskyt refrakčních vad ve zkoumaném souboru .....  | 45 |
| Graf 7. 2. Výskyt heteroforie do dálky .....  | 45 |
| Graf 7. 3. Výskyt heteroforie do blízka .....   | 45 |
| Graf 7. 4. Velikost heteroforie do dálky a do blízka na Maddoxově testu .....                           | 46 |
| Graf 7. 5. Porovnání velikosti bodu rozdvojení a spojení NFV .....                                      | 53 |
| Graf 7. 6. Graf průměrů a rozdílů NFV bodů rozdvojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky ..... | 53 |
| Graf 7. 7. Graf průměrů a rozdílů NFV bodů spojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky .....    | 54 |
| Graf 7. 8. Porovnání velikosti bodu rozdvojení a spojení u PFV .....                                    | 55 |
| Graf 7. 9. Graf průměrů a rozdílů PFV bodů rozdvojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky ..... | 55 |
| Graf 7. 10. Graf průměrů a rozdílů PFV bodů spojení na synoptoforu a prizmatické liště do dálky .....   | 56 |
| Graf 7. 11. Porovnání NFV bod rozdvojení pro prizmatickou lištu a synoptofor .....                      | 57 |
| Graf 7. 12. Porovnání NFV bod spojení pro prizmatickou lištu a synoptofor .....                         | 57 |
| Graf 7. 13. Porovnání PFV bod rozdvojení pro prizmatickou lištu a synoptofor .....                      | 57 |
| Graf 7. 14. Porovnání PFV bod spojení pro prizmatickou lištu a synoptofor .....                         | 57 |
| Graf 7. 15. Porovnání velikosti NFV bodu rozdvojení při měření do blízka .....                          | 59 |
| Graf 7. 16. Porovnání velikosti NFV bod spojení při měření do blízka .....                              | 59 |
| Graf 7. 17. Porovnání velikosti PFV bodu rozdvojení při měření do blízka .....                          | 60 |
| Graf 7. 18. Porovnání velikosti PFV bod spojení při měření do blízka .....                              | 60 |
| Graf 7. 19. Graf průměru a rozdílu NFV bodu rozdvojení pro tranaglyf a prizmatickou lištu .....         | 61 |
| Graf 7. 20. Porovnání NFV bod rozdvojení pro vektogram a tranaglyf .....                                | 62 |
| Graf 7. 21. Porovnání NFV bod spojení pro vektogram a tranaglyf .....                                   | 62 |
| Graf 7. 22. Porovnání PFV bod rozdvojení pro vektogram a tranaglyf .....                                | 62 |
| Graf 7. 23. Porovnání PFV bod spojení pro vektogram a tranaglyf .....                                   | 62 |

## Přílohy

|  |    |
|--|----|
| Příloha 1. Protokol k bakalářské práci.....  | 81 |
| Příloha 2. Porovnání fúzních rezerv pro exoforii a esofoirii na jednotlivých testech ..... | 83 |
| Příloha 3. Naměřené hodnoty fúzních rezerv do dálky prizmatickou lištou a na synoptoforu   | 84 |
| Příloha 4 Naměřené hodnoty fúzních rezerv do blízka .....                                  | 85 |
| Příloha 5. Respondenti s exoforií do dálky .....   | 86 |
| Příloha 6. Respondenti s esofoirii do dálky .....  | 86 |
| Příloha 7. Respondenti s exoforií do blízka.....   | 87 |
| Příloha 8. Respondenti s esofoirii do blízka .....   | 88 |

**Anamnéza**

|                       |
|-----------------------|
| <b>Symptomy:</b>      |
| <b>Oční anamnéza:</b> |

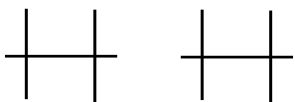
**Refrakce**

| Subjektivní refrakce |    |     |     | Vis <sub>mon</sub> | Vis <sub>bin</sub> |
|----------------------|----|-----|-----|--------------------|--------------------|
| <b>P</b>             | sp | cyl | osa |                    |                    |
| <b>L</b>             | sp | cyl | osa |                    |                    |

**Dominance**

|          |          |
|----------|----------|
| <b>P</b> | <b>L</b> |
|----------|----------|

**Binokulární status, motilita, konvergentní souhyb**

|                          | Zakrývací test |     | Fúze | Stereopse | Motilita  | NPC |
|--------------------------|----------------|-----|------|-----------|---|-----|
|                          | C-U            | C-C |      |           |   |     |
| <b>dálka</b><br>(6 m)    |                |     |      |           |  |     |
| <b>blízko</b><br>(40 cm) |                |     |      |           |   |     |

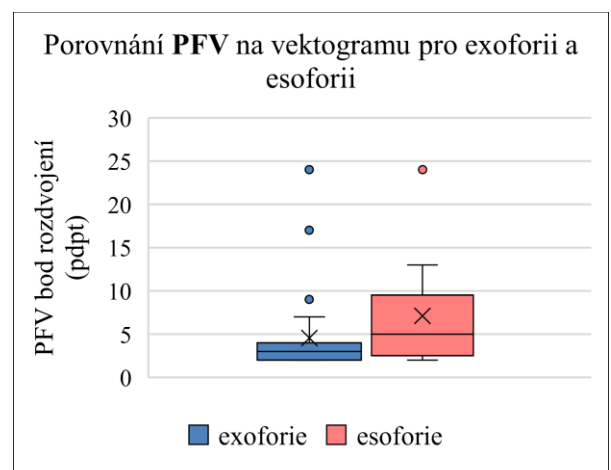
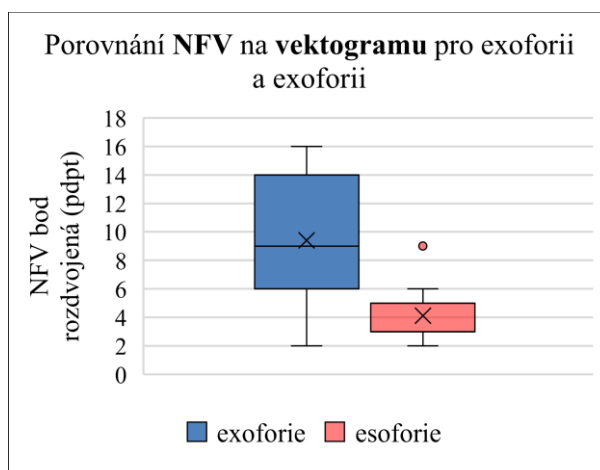
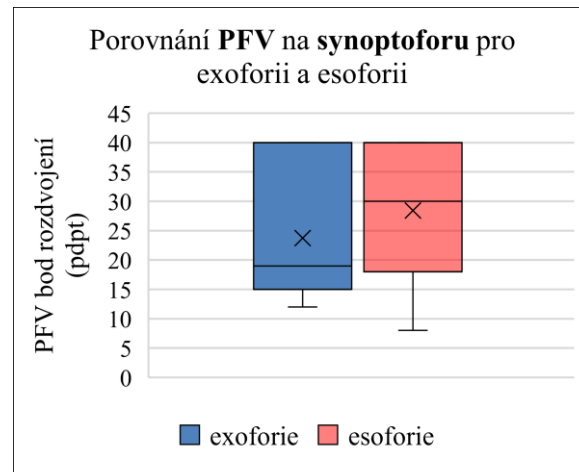
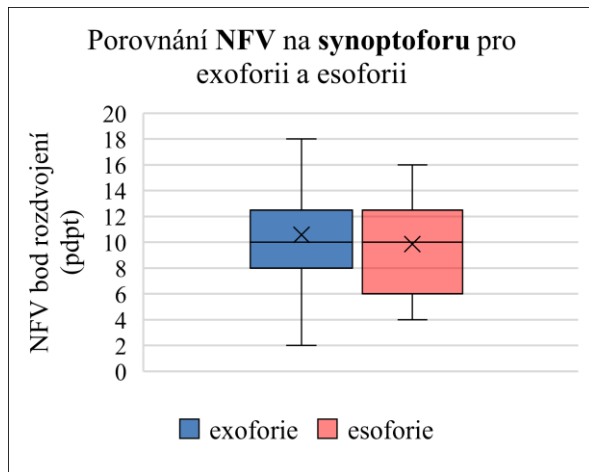
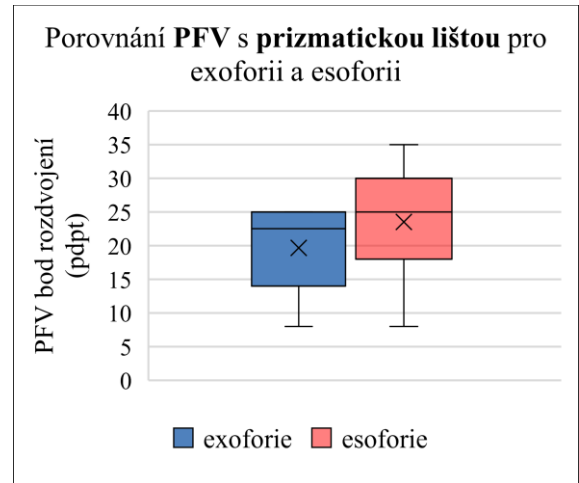
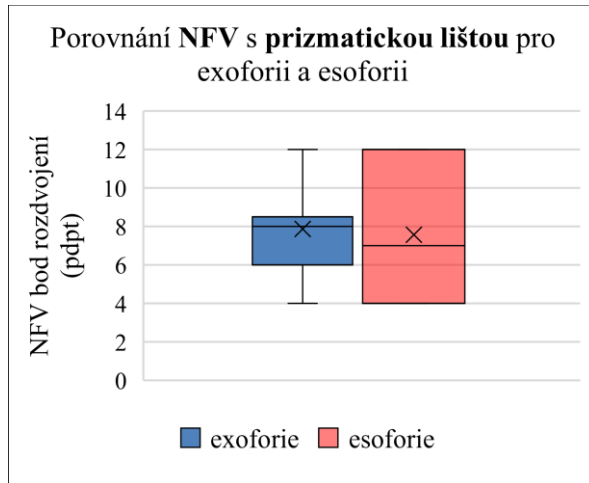
**Vergenční a akomodační systém**

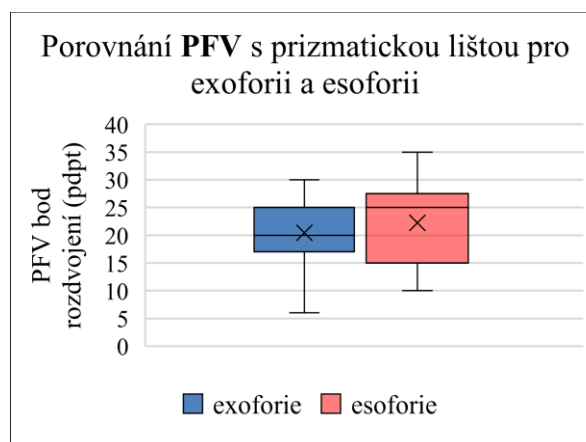
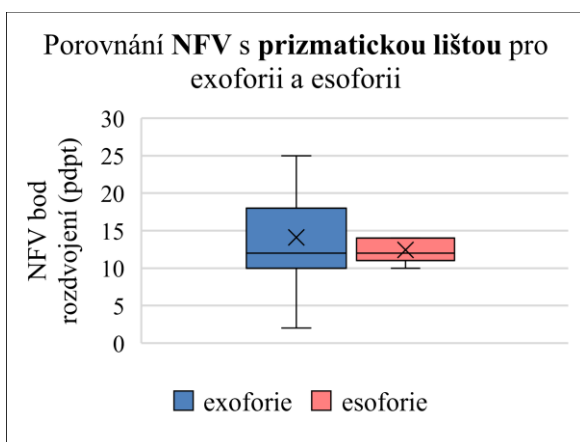
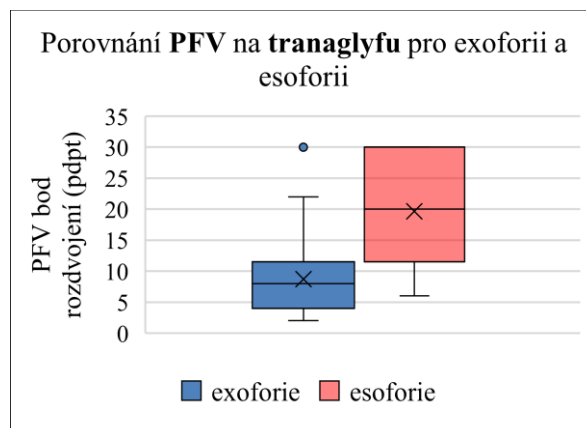
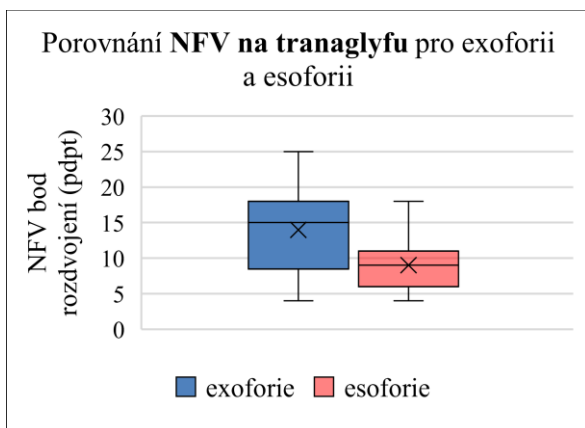
|                          | HTF: Maddoxův test |       | AF: Malletův test |       |
|--------------------------|--------------------|-------|-------------------|-------|
|                          | Horiz.             | Vert. | Horiz.            | Vert. |
| <b>dálka</b><br>(6 m)    |                    |       |                   |       |
| <b>blízko</b><br>(40 cm) |                    |       |                   |       |

**Měření fúzí rezerv**

|                          |                                  |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Vektogram</b>         | <b>NFV (blur/break/recovery)</b> | <b>PFV (blur/break/recovery)</b> |
| <b>blízko</b>            |                                  |                                  |
| 5 minut                  |                                  |                                  |
| <b>Prizmatická lišta</b> | <b>NFV (blur/break/recovery)</b> | <b>PFV (blur/break/recovery)</b> |
| <b>dálka</b>             |                                  |                                  |
| <b>blízko</b>            |                                  |                                  |
| 5 minut                  |                                  |                                  |
| <b>Synoptofor</b>        | <b>NFV (blur/break/recovery)</b> | <b>PFV (blur/break/recovery)</b> |
| <b>dálka</b>             |                                  |                                  |
| 5 minut                  |                                  |                                  |
| <b>Tranaglyf</b>         | <b>NFV (blur/break/recovery)</b> | <b>PFV (blur/break/recovery)</b> |
| <b>blízko</b>            |                                  |                                  |

*Příloha 1. Protokol k bakalářské práci*





Příloha 2. Porovnání fúzních rezerv pro exoforii a esofoirii na jednotlivých testech

|     | Maddox<br>dálka<br>(pdpt) | Synoptofor<br>dálka<br>(pdpt) | prizmatická lišta (dálka) |      |            |      | synoptofor (dálka) |      |            |      |
|-----|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|------|------------|------|--------------------|------|------------|------|
|     |                           |                               | NFV (pdpt)                |      | PFV (pdpt) |      | NFV (pdpt)         |      | PFV (pdpt) |      |
|     |                           |                               | br.                       | rec. | br.        | rec. | br.                | rec. | br.        | rec. |
| 1.  | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 30         | 18   | 14                 | 6    | 40         | 38   |
| 2.  | 0                         | 0                             | 6                         | 4    | 8          | 6    | 8                  | 0    | 8          | 0    |
| 3.  | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 20         | 16   | 8                  | 4    | 36         | 12   |
| 4.  | 2                         | 0                             | 12                        | 10   | 18         | 10   | 12                 | 8    | 12         | 8    |
| 5.  | -6                        | -4                            | 10                        | 8    | 18         | 6    | 16                 | 4    | 16         | 12   |
| 6.  | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 6          | 4    | 12                 | 4    | 16         | 8    |
| 7.  | 0                         | 2                             | 8                         | 6    | 30         | 2    | 14                 | 6    | 22         | 18   |
| 8.  | 0                         | 0                             | 12                        | 10   | 25         | 10   | 12                 | 8    | 8          | 4    |
| 9.  | -2                        | 0                             | 6                         | 4    | 14         | 12   | 8                  | 4    | 16         | 8    |
| 10. | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 25         | 20   | 12                 | 4    | 20         | 12   |
| 11. | -2                        | 0                             | 6                         | 4    | 25         | 20   | 12                 | 10   | 40         | 38   |
| 12. | -4                        | -2                            | 8                         | 4    | 25         | 20   | 10                 | 2    | 40         | 38   |
| 14. | 2                         | 2                             | 6                         | 4    | 20         | 18   | 10                 | 6    | 28         | 14   |
| 15. | 2                         | 0                             | 4                         | 2    | 10         | 8    | 12                 | 8    | 8          | 4    |
| 16. | 0                         | 0                             | 6                         | 4    | 12         | 8    | 6                  | 4    | 10         | 2    |
| 17. | -2                        | 0                             | 8                         | 6    | 25         | 18   | 12                 | 8    | 12         | 8    |
| 18. | 0                         | 0                             | 12                        | 10   | 25         | 20   | 16                 | 8    | 24         | 8    |
| 19. | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 25         | 18   | 18                 | 8    | 20         | 16   |
| 20. | 0                         | 0                             | 6                         | 4    | 6          | 4    | 16                 | 8    | 8          | 4    |
| 21. | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 16         | 12   | 12                 | 8    | 20         | 4    |
| 22. | -2                        | 0                             | 8                         | 4    | 8          | 4    | 8                  | 4    | 16         | 4    |
| 23. | 0                         | 2                             | 12                        | 10   | 35         | 30   | 10                 | 8    | 18         | 6    |
| 25. | 0                         | 0                             | 6                         | 2    | 14         | 12   | 8                  | 4    | 16         | 8    |
| 26. | 0                         | 0                             | 12                        | 10   | 35         | 18   | 10                 | 4    | 40         | 20   |
| 27. | -2                        | 0                             | 4                         | 2    | 25         | 18   | 8                  | 4    | 16         | 4    |
| 28. | -1                        | 0                             | 8                         | 4    | 25         | 14   | 8                  | 4    | 40         | 38   |
| 29. | 2                         | 2                             | 8                         | 6    | 25         | 12   | 14                 | 10   | 32         | 10   |
| 30. | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 18         | 14   | 12                 | 8    | 24         | 20   |
| 31. | -6                        | -6                            | 8                         | 6    | 25         | 12   | 14                 | 10   | 22         | 18   |
| 32. | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 6          | 4    | 12                 | 8    | 20         | 16   |
| 33. | 1                         | 2                             | 12                        | 2    | 25         | 20   | 16                 | 8    | 40         | 38   |
| 35. | 2                         | 2                             | 8                         | 6    | 30         | 16   | 10                 | 6    | 40         | 38   |
| 36. | 0                         | 0                             | 4                         | 2    | 25         | 8    | 12                 | 8    | 40         | 24   |
| 37. | 0                         | 0                             | 8                         | 6    | 25         | 10   | 12                 | 8    | 40         | 36   |
| 38. | -2                        | 0                             | 10                        | 8    | 14         | 8    | 12                 | 8    | 40         | 38   |
| 39. | 0                         | 2                             | 12                        | 10   | 35         | 30   | 6                  | 2    | 40         | 38   |
| 41. | 4                         | 4                             | 6                         | 4    | 18         | 14   | 8                  | 4    | 40         | 18   |
| 42. | -2                        | -2                            | 8                         | 6    | 18         | 16   | 10                 | 6    | 12         | 8    |
| 43. | -6                        | -4                            | 12                        | 8    | 25         | 14   | 18                 | 10   | 28         | 18   |
| 44. | 2                         | 2                             | 6                         | 4    | 20         | 16   | 6                  | 4    | 40         | 20   |
| 45. | 2                         | 4                             | 4                         | 2    | 25         | 18   | 6                  | 4    | 40         | 32   |
| 46. | 4                         | 4                             | 4                         | 2    | 8          | 6    | 4                  | 2    | 20         | 10   |
| 47. | 1                         | 1                             | 4                         | 2    | 30         | 16   | 10                 | 6    | 18         | 14   |
| 48. | -2                        | 0                             | 6                         | 4    | 8          | 6    | 2                  | 0    | 12         | 0    |
| 49. | -4                        | -2                            | 8                         | 6    | 20         | 10   | 10                 | 6    | 22         | 18   |
| 50. | 0                         | 0                             | 10                        | 8    | 25         | 18   | 10                 | 8    | 20         | 18   |

Příloha 3. Naměřené hodnoty fúzních rezerv do dálky prizmatickou lištou a na synoptoforu

|     | Maddox<br>blízko<br>(pdpt) | NPC<br>(cm) | vektogram  |      |            |      | tranaglyf  |      |            |      | prizmatická lišta (blízko) |      |            |      |
|-----|----------------------------|-------------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|----------------------------|------|------------|------|
|     |                            |             | NFV (pdpt) |      | PFV (pdpt) |      | NFV (pdpt) |      | PFV (pdpt) |      | NFV (pdpt)                 |      | PFV (pdpt) |      |
|     |                            |             | br.        | rec. | br.        | rec. | br.        | rec. | br.        | rec. | br.                        | rec. | br.        | rec. |
| 1.  | 0                          |             | 2          | 1    | 2          | 1    | 4          | 2    | 5          | 2    | 8                          | 6    | 40         | 30   |
| 2.  | 2                          |             | 2          | 1    | 2          | 0    | 9          | 7    | 12         | 1    | 12                         | 10   | 10         | 8    |
| 3.  | -6                         | 10→15       | 16         | 9    | 9          | 3    | 18         | 14   | 14         | 0    | 20                         | 18   | 25         | 20   |
| 4.  | -4                         |             | 8          | 6    | 3          | 2    | 25         | 21   | 4          | 0    | 25                         | 20   | 20         | 16   |
| 5.  | -4                         | 10→15       | 2          | 0    | 2          | 0    | 6          | 4    | 11         | 3    | 20                         | 18   | 10         | 8    |
| 6.  | 0                          |             | 3          | 1    | 3          | 1    | 4          | 0    | 2          | 0    | 8                          | 6    | 18         | 16   |
| 7.  | 0                          |             | 2          | 0    | 2          | 1    | 3          | 1    | 5          | 2    | 14                         | 12   | 18         | 16   |
| 8.  | -8                         |             | 16         | 15   | 3          | 0    | 17         | 14   | 6          | 1    | 25                         | 16   | 25         | 12   |
| 9.  | -3                         |             | 13         | 10   | 3          | 0    | 18         | 14   | 4          | 2    | 10                         | 8    | 20         | 12   |
| 10. | -4                         |             | 4          | 2    | 5          | 3    | 4          | 2    | 14         | 6    | 18                         | 14   | 12         | 8    |
| 11. | 0                          |             | 5          | 4    | 2          | 1    | 20         | 7    | 30         | 28   | 12                         | 10   | 40         | 35   |
| 12. | -8                         |             | 6          | 4    | 7          | 4    | 18         | 14   | 13         | 10   | 10                         | 8    | 30         | 14   |
| 14. | 0                          |             | 1          | 0    | 24         | 23   | 2          | 0    | 29         | 27   | 16                         | 14   | 25         | 20   |
| 15. | 0                          |             | 3          | 1    | 5          | 3    | 12         | 10   | 14         | 6    | 12                         | 10   | 10         | 8    |
| 16. | -2                         |             | 9          | 6    | 2          | 0    | 10         | 8    | 4          | 2    | 16                         | 14   | 25         | 18   |
| 17. | -3                         | 10→15       | 8          | 6    | 2          | 1    | 8          | 7    | 2          | 0    | 2                          | 1    | 20         | 16   |
| 18. | 0                          |             | 3          | 2    | 12         | 10   | 20         | 14   | 21         | 2    | 20                         | 18   | 30         | 25   |
| 19. | -2                         |             | 3          | 2    | 2          | 1    | 6          | 4    | 4          | 2    | 12                         | 10   | 25         | 20   |
| 20. | 1                          |             | 4          | 2    | 2          | 1    | 10         | 7    | 6          | 2    | 14                         | 12   | 18         | 16   |
| 21. | -3                         |             | 16         | 9    | 2          | 0    | 18         | 14   | 30         | 29   | 10                         | 8    | 6          | 4    |
| 22. | -6                         |             | 13         | 8    | 2          | 0    | 20         | 16   | 8          | 2    | 16                         | 14   | 6          | 2    |
| 23. | 1                          |             | 4          | 2    | 5          | 3    | 7          | 5    | 11         | 6    | 12                         | 10   | 20         | 18   |
| 25. | -2                         |             | 9          | 8    | 2          | 1    | 12         | 10   | 7          | 5    | 8                          | 6    | 28         | 18   |
| 26. | 2                          |             | 6          | 5    | 24         | 20   | 12         | 8    | 30         | 26   | 10                         | 8    | 30         | 25   |
| 27. | -3                         |             | 8          | 6    | 2          | 1    | 16         | 10   | 3          | 1    | 6                          | 4    | 25         | 20   |
| 28. | -10                        |             | 3          | 1    | 3          | 2    | 8          | 4    | 10         | 2    | 12                         | 10   | 25         | 20   |
| 29. | 2                          |             | 9          | 5    | 13         | 2    | 18         | 10   | 30         | 29   | 10                         | 8    | 12         | 10   |
| 30. | -2                         |             | 6          | 4    | 3          | 2    | 14         | 12   | 10         | 4    | 18                         | 16   | 18         | 16   |
| 31. | -10                        | 10→15       | 16         | 15   | 2          | 1    | 22         | 14   | 8          | 6    | 18                         | 14   | 25         | 20   |
| 32. | -1                         |             | 15         | 12   | 24         | 16   | 12         | 10   | 12         | 8    | 8                          | 6    | 25         | 20   |
| 33. | 2                          |             | 3          | 1    | 5          | 1    | 4          | 0    | 30         | 29   | 12                         | 10   | 35         | 30   |
| 35. | 4                          |             | 3          | 1    | 6          | 2    | 9          | 3    | 18         | 16   | 14                         | 12   | 25         | 20   |
| 36. | 0                          |             | 3          | 1    | 24         | 23   | 16         | 8    | 30         | 29   | 12                         | 10   | 35         | 20   |
| 37. | -1                         |             | 9          | 8    | 3          | 1    | 15         | 10   | 4          | 2    | 12                         | 10   | 20         | 18   |
| 38. | -2                         |             | 10         | 9    | 17         | 10   | 18         | 14   | 22         | 14   | 10                         | 8    | 20         | 16   |
| 39. | 0                          |             | 7          | 6    | 12         | 7    | 6          | 4    | 24         | 20   | 14                         | 10   | 35         | 30   |
| 41. | 2                          |             | 3          | 1    | 3          | 1    | 6          | 2    | 20         | 12   | 14                         | 12   | 25         | 18   |
| 42. | -4                         |             | 10         | 8    | 4          | 2    | 12         | 10   | 4          | 2    | 18                         | 16   | 16         | 14   |
| 43. | -6                         |             | 16         | 15   | 2          | 0    | 24         | 14   | 8          | 2    | 12                         | 8    | 25         | 20   |
| 44. | 2                          |             | 3          | 1    | 4          | 2    | 6          | 2    | 20         | 14   | 14                         | 12   | 25         | 20   |
| 45. | 0                          |             | 2          | 0    | 22         | 20   | 2          | 0    | 28         | 26   | 10                         | 6    | 25         | 20   |
| 46. | 0                          |             | 4          | 2    | 4          | 3    | 6          | 4    | 30         | 29   | 6                          | 4    | 18         | 16   |
| 47. | -4                         |             | 2          | 1    | 3          | 1    | 4          | 2    | 8          | 4    | 10                         | 8    | 30         | 18   |
| 48. | -9                         |             | 11         | 8    | 4          | 3    | 9          | 7    | 2          | 0    | 16                         | 14   | 12         | 10   |
| 49. | -9                         |             | 6          | 4    | 3          | 1    | 16         | 14   | 6          | 4    | 20                         | 18   | 18         | 14   |
| 50. | 0                          |             | 6          | 4    | 10         | 6    | 8          | 6    | 14         | 10   | 12                         | 10   | 25         | 18   |

Příloha 4 Naměřené hodnoty fúzních rezerv do blízka



|     | Maddox<br>(pdpt) | Synoptofor<br>úchylka<br>(pdpt) | prizmatická lišta (pdpt) |          |       |          | synoptofor (pdpt) |          |       |          |
|-----|------------------|---------------------------------|--------------------------|----------|-------|----------|-------------------|----------|-------|----------|
|     |                  |                                 | dálka                    |          |       |          | NFV               |          | PFV   |          |
|     |                  |                                 | NFV                      |          | PFV   |          | NFV               |          | PFV   |          |
|     | dálka            | dálka                           | break                    | recovery | break | recovery | break             | recovery | break | recovery |
| 5.  | -6               | -4                              | 10                       | 8        | 18    | 6        | 16                | 4        | 16    | 12       |
| 9.  | -2               |                                 | 6                        | 4        | 14    | 12       | 8                 | 4        | 16    | 8        |
| 11. | -2               |                                 | 6                        | 4        | 25    | 20       | 12                | 10       | 40    | 38       |
| 12. | -4               | -2                              | 8                        | 4        | 25    | 20       | 10                | 2        | 40    | 38       |
| 17. | -2               |                                 | 8                        | 6        | 25    | 18       | 12                | 8        | 12    | 8        |
| 22. | -2               |                                 | 8                        | 4        | 8     | 4        | 8                 | 4        | 16    | 4        |
| 27. | -2               |                                 | 4                        | 2        | 25    | 18       | 8                 | 4        | 16    | 4        |
| 28. | -1               |                                 | 8                        | 4        | 25    | 14       | 8                 | 4        | 40    | 38       |
| 31. | -6               | -6                              | 8                        | 6        | 25    | 12       | 14                | 10       | 22    | 18       |
| 38. | -2               |                                 | 10                       | 8        | 14    | 8        | 12                | 8        | 40    | 38       |
| 42. | -2               | -2                              | 8                        | 6        | 18    | 16       | 10                | 6        | 12    | 8        |
| 43. | -6               | -4                              | 12                       | 8        | 25    | 14       | 18                | 10       | 28    | 18       |
| 48. | -2               |                                 | 6                        | 4        | 8     | 6        | 2                 | 0        | 12    | 0        |
| 49. | -4               | -2                              | 8                        | 6        | 20    | 10       | 10                | 6        | 22    | 18       |

Příloha 5. Respondenti s exoforií do dálky

|     | Maddox<br>(pdpt) | Synoptofor<br>úchylka<br>(ptpt) | prizmatická lišta (pdpt) |          |       |          | synoptofor (pdpt) |          |       |          |
|-----|------------------|---------------------------------|--------------------------|----------|-------|----------|-------------------|----------|-------|----------|
|     |                  |                                 | dálka                    |          |       |          | NFV               |          | PFV   |          |
|     |                  |                                 | NFV                      |          | PFV   |          | NFV               |          | PFV   |          |
|     | dálka            | dálka                           | break                    | recovery | break | recovery | break             | recovery | break | recovery |
| 4.  | +2               |                                 | 12                       | 10       | 18    | 10       | 12                | 8        | 12    | 8        |
| 7.  |                  | +2                              | 8                        | 6        | 30    | 2        | 14                | 6        | 22    | 18       |
| 14. | +2               | +2                              | 6                        | 4        | 20    | 18       | 10                | 6        | 28    | 14       |
| 15. | +2               |                                 | 4                        | 2        | 10    | 8        | 12                | 8        | 8     | 4        |
| 23. |                  | +2                              | 12                       | 10       | 35    | 30       | 10                | 8        | 18    | 6        |
| 29. | +2               | +2                              | 8                        | 6        | 25    | 12       | 14                | 10       | 32    | 10       |
| 33. | +1               | +4                              | 12                       | 2        | 25    | 20       | 16                | 8        | 40    | 38       |
| 35. | +2               | +2                              | 8                        | 6        | 30    | 16       | 10                | 6        | 40    | 38       |
| 39. |                  | +4                              | 12                       | 10       | 35    | 30       | 6                 | 2        | 40    | 38       |
| 41. | +4               | +4                              | 6                        | 4        | 18    | 14       | 6                 | 4        | 40    | 18       |
| 44. | +2               | +2                              | 6                        | 4        | 20    | 16       | 6                 | 4        | 40    | 20       |
| 45. | +2               | +4                              | 4                        | 2        | 25    | 18       | 8                 | 4        | 40    | 32       |
| 46. | +4               | +4                              | 4                        | 2        | 8     | 6        | 4                 | 2        | 20    | 10       |
| 47. | +1               | +2                              | 4                        | 2        | 30    | 16       | 10                | 6        | 18    | 14       |

Příloha 6. Respondenti s esofovií do dálky

|     | Maddox<br>(pdpt)<br>blízko | vektogram |          |       |          | tranaglyf |          |       |          | prizmatická lišta blízko |          |       |          |
|-----|----------------------------|-----------|----------|-------|----------|-----------|----------|-------|----------|--------------------------|----------|-------|----------|
|     |                            | NFV       |          | PFV   |          | NFV       |          | PFV   |          | NFV                      |          | PFV   |          |
|     |                            | break     | recovery | break | recovery | break     | recovery | break | recovery | break                    | recovery | break | recovery |
| 3.  | -6                         | 16        | 9        | 9     | 3        | 18        | 14       | 14    | 0        | 20                       | 18       | 25    | 20       |
| 4.  | -4                         | 8         | 6        | 3     | 2        | 25        | 21       | 4     | 0        | 25                       | 20       | 20    | 16       |
| 5.  | -4                         | 2         | 0        | 2     | 0        | 6         | 4        | 11    | 3        | 20                       | 18       | 10    | 8        |
| 8.  | -8                         | 16        | 15       | 3     | 0        | 17        | 14       | 6     | 1        | 25                       | 16       | 25    | 12       |
| 9.  | -3                         | 13        | 10       | 3     | 0        | 18        | 14       | 4     | 2        | 10                       | 8        | 20    | 12       |
| 10. | -4                         | 4         | 2        | 5     | 3        | 4         | 2        | 14    | 6        | 18                       | 14       | 12    | 8        |
| 12. | -8                         | 6         | 4        | 7     | 4        | 18        | 14       | 13    | 10       | 10                       | 8        | 30    | 14       |
| 16. | -2                         | 9         | 6        | 2     | 0        | 10        | 8        | 4     | 2        | 16                       | 14       | 25    | 18       |
| 17. | -3                         | 8         | 6        | 2     | 1        | 8         | 7        | 2     | 0        | 2                        | 1        | 20    | 16       |
| 19. | -2                         | 3         | 2        | 2     | 1        | 6         | 4        | 4     | 2        | 12                       | 10       | 25    | 20       |
| 21. | -3                         | 16        | 9        | 2     | 0        | 18        | 14       | 30    | 29       | 10                       | 8        | 6     | 4        |
| 22. | -6                         | 13        | 8        | 2     | 0        | 20        | 16       | 8     | 2        | 16                       | 14       | 6     | 2        |
| 25. | -2                         | 9         | 8        | 2     | 1        | 12        | 10       | 7     | 5        | 8                        | 6        | 28    | 18       |
| 27. | -3                         | 8         | 6        | 2     | 1        | 16        | 10       | 3     | 1        | 6                        | 4        | 25    | 20       |
| 28. | -10                        | 3         | 1        | 3     | 2        | 8         | 4        | 10    | 2        | 12                       | 10       | 25    | 20       |
| 30. | -2                         | 6         | 4        | 3     | 2        | 14        | 12       | 10    | 4        | 18                       | 16       | 18    | 16       |
| 31. | -10                        | 16        | 15       | 2     | 1        | 22        | 14       | 8     | 6        | 18                       | 14       | 25    | 20       |
| 32. | -1                         | 15        | 12       | 24    | 16       | 12        | 10       | 12    | 8        | 8                        | 6        | 25    | 20       |
| 37. | -1                         | 9         | 8        | 3     | 1        | 15        | 10       | 4     | 2        | 12                       | 10       | 20    | 18       |
| 38. | -2                         | 10        | 9        | 17    | 10       | 18        | 14       | 22    | 14       | 10                       | 8        | 20    | 16       |
| 42. | -4                         | 10        | 8        | 4     | 2        | 12        | 10       | 4     | 2        | 18                       | 16       | 16    | 14       |
| 43. | -6                         | 16        | 15       | 2     | 0        | 24        | 14       | 8     | 2        | 12                       | 8        | 25    | 20       |
| 47. | -4                         | 2         | 1        | 3     | 1        | 4         | 2        | 8     | 4        | 10                       | 8        | 30    | 18       |
| 48. | -9                         | 11        | 8        | 4     | 3        | 9         | 7        | 2     | 0        | 16                       | 14       | 12    | 10       |
| 49. | -9                         | 6         | 4        | 3     | 1        | 16        | 14       | 6     | 4        | 20                       | 18       | 18    | 14       |

Příloha 7. Respondenti s exforií do blízka

|            | Maddox<br>(pdpt)<br>blízko | vektogram |          |       |          | tranaglyf |          |       |          | prizmatická lišta blízko |          |       |          |
|------------|----------------------------|-----------|----------|-------|----------|-----------|----------|-------|----------|--------------------------|----------|-------|----------|
|            |                            | NFV       |          | PFV   |          | NFV       |          | PFV   |          | NFV                      |          | PFV   |          |
|            |                            | break     | recovery | break | recovery | break     | recovery | break | recovery | break                    | recovery | break | recovery |
| <b>2.</b>  | +2                         | 2         | 1        | 2     | 0        | 9         | 7        | 12    | 1        | 12                       | 10       | 10    | 8        |
| <b>20.</b> | +1                         | 4         | 2        | 2     | 1        | 10        | 7        | 6     | 2        | 14                       | 12       | 18    | 16       |
| <b>23.</b> | +1                         | 4         | 2        | 5     | 3        | 7         | 5        | 11    | 6        | 12                       | 10       | 20    | 18       |
| <b>26.</b> | +2                         | 6         | 5        | 24    | 20       | 12        | 8        | 30    | 26       | 10                       | 8        | 30    | 25       |
| <b>29.</b> | +2                         | 9         | 5        | 13    | 2        | 18        | 10       | 30    | 29       | 10                       | 8        | 12    | 10       |
| <b>33.</b> | +2                         | 3         | 1        | 5     | 1        | 4         | 0        | 30    | 29       | 12                       | 10       | 35    | 30       |
| <b>35.</b> | +4                         | 3         | 1        | 6     | 2        | 9         | 3        | 18    | 16       | 14                       | 12       | 25    | 20       |
| <b>41.</b> | +2                         | 3         | 1        | 3     | 1        | 6         | 2        | 20    | 12       | 14                       | 12       | 25    | 18       |
| <b>44.</b> | +2                         | 3         | 1        | 4     | 2        | 6         | 2        | 20    | 14       | 14                       | 12       | 25    | 20       |

Příloha 8. Respondenti s esoforií do blízka