PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

MĚŘENÍ FÚZNÍ VERGENCE

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Martina Mikolášová

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2015/2016

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

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

Ve Frýdku-Místku dne 19. 12. 2016 .....

Bc. Martina Mikolášová

Poděkování

Děkuji RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., za jeho pomoc a cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji svojí rodině, která při mně stála a podporovala mě po celou dobu mého studia, a svému zaměstnavateli Bc. Dominiku Vahalovi a kolegům za vstřícnost a trpělivost při dokončování této práce.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2016_015.

OBSAH

ÚVOD 6
1 ÚVOD DO BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ 7
1.1 Vývoj binokulárního vidění 7
1.2 Stupně binokulárního vidění 8
1.3 Fúze 9
1.3.1 Senzorická fúze 9
1.3.2 Motorická fúze 11
2 MOTORICKÁ FÚZE 12
2.1 Okohybné svaly 12
2.1.1 Funkce a inervace okohybných svalů 13
2.2 Motilita očí 14
2.2.1 Zákony motility 15
2.2.2 Konjugované pohyby očí 15
2.2.3 Disjunktní pohyby očí 16
2.3 Složky vergence 16
2.3.1 Tonická vergence 16
2.3.2 Akomodační vergence 17
2.3.3 Proximální vergence 17
2.3.4 Fúzní vergence 17
2.4 Fúzní vergence 18
2.5 Vztah vergence a akomodace 18
2.5.1 Akomodační konvergence 18
2.5.2 Konvergenční akomodace 19
2.6 Základní parametry vergenčního systému 19
2.6.1 Úhel konvergence 19
2.6.2 Blízký bod konvergence 20
2.6.3 Vergenční schopnost 20
2.6.4 Rozsah fúzní vergence 21
2.7 Vymezení pojmů souvisejících s fúzní vergencí 21
3 VYŠETŘOVÁNÍ FÚZNÍ VERGENCE 24
3.1 Vyšetření fúzní vergence pomocí troposkopu 24

3.2 Vyšetření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt 26
3.3 Vyšetření fúzní vergence pomocí foropteru 27
3.4 Význam vyšetřování fúzní vergence 28
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST: SROVNÁNÍ MĚŘENÍ FÚZNÍ VERGENCE POMOCÍ PRIZMATICKÉ LIŠTY A FOROPTERU 30
4.1 Metodika 30
4.1.1 Soubor testovaných osob 30
4.1.2 Vstupní měření 31
4.1.3 Měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt 33
4.1.4 Měření fúzní vergence pomocí foropteru 34
4.1.5 Statistické vyhodnocení 35
4.2 Výsledky 36
4.2.1 Opakovatelnost měření rozsahu fúzní vergence pomocí prizmatických lišt 38
4.2.2 Opakovatelnost měření rozsahu fúzní vergence pomocí foropteru 44
4.2.3 Srovnání měření rozsahu fúzní vergence pomocí prizmatických lišt a foropteru 50
4.3 Diskuze 58
ZÁVĚR 61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 62

ÚVOD

Zrak je důležitým smyslem, protože jím přijímáme až 80 % informací o okolním světě. Aby bylo vidění dokonalé, musí být v pořádku všechny charakteristické vlastnosti a schopnosti očí. Protože člověk má dvě oči, je jednou z těchto schopností jejich spolupráce, neboli binokulární vidění. Pojem binokulární vidění je ale velmi obsáhlý, proto se tato práce bude podrobněji zabývat jen jeho jednou malou částí, a tou je vergence, resp. fúzní vergence, a jejím měřením.

Fúzní vergence je velice důležitý parametr binokulárního vidění, protože zabraňuje dvojitému vidění tehdy, když spolupráce obou očí není úplně dokonalá, což není nic neobvyklého, drobnou okohybnou odchylku má 70-80 % lidí v populaci. Měření rozsahu fúzní vergence nám dá podstatnou informaci o (de)kompenzaci skryté okohybné odchylky (heteroforie).

Názvosloví používané při měření fúzní vergence se může u jednotlivých autorů lišit. Tyto rozdíly budou v práci podrobněji rozebrány. Z důvodu těchto nesrovnalostí bude v této práci používáno obecnějšího termínu fúzní vergence.

Cílem této práce je do hloubky zpracovat pojem fúzní vergence a možnosti jejího měření. V experimentální části bude zjišťována opakovatelnost měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt a také pomocí foropteru. Dále budou tyto dvě metody měření fúzní vergence srovnány.

1 ÚVOD DO BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ

Cílem jednoduchého binokulárního vidění je vjem jednoduchého (tj. nerozdvojeného) obrazu pozorovaného předmětu při jeho sledování oběma očima. Je výsledkem senzomotorické spolupráce obou očí. [1]

1.1 Vývoj binokulárního vidění

Binokulární vidění není vrozené, ale vyvíjí se. Jeho vývoj se dělí na dvě etapy: do jednoho roku věku, kdy se binokulární vidění vyvíjí společně s vývojem sítnice a žluté skvrny, a do šesti let věku, kdy se binokulární vidění upevňuje a zdokonaluje.

Po narození je dítě schopno rozeznat pouze světlo a tmu (tzv. pupilo-motorický reflex). Během 1. měsíce po narození se vyvíjí alternující monokulární fixace, kdy se oči při fixaci podnětu střídají, a tudíž nefixující oko může fyziologicky zašilhat. Ve 2. měsíci už se objevuje fixace binokulární a dítě je tedy schopno sledovat podnět oběma očima zároveň.

Ve 3. měsíci dozrává foveolární oblast makuly a upevňuje se tak centrální fixace. Dále vznikají reflexy konvergence a divergence, které dítěti umožní pozorovat bližší a vzdálenější objekty. Ve 4. měsíci se, společně s ciliárním svalem, vyvíjí reflex akomodace. Dítě tak může na pozorované objekty také zaostřovat.

V 6. měsíci je vývoj makuly definitivně ukončen a vzniká reflex fúze, což je schopnost spojit obrazy obou očí v jeden smyslový vjem. Tak jsou během prvních šesti měsíců života vytvořeny podmínky pro binokulární vidění, které se zdokonaluje a upevňuje až do 6 let. [1, 2, 3]

1.2 Stupně binokulárního vidění

Binokulární vidění dělíme na tři stupně podle jeho dokonalosti. Nejjednodušším stupněm binokulárního vidění je **simultánní vidění**, tedy schopnost vidět současně oběma očima dva různé obrazy a jejich senzorické překrytí neboli **superpozice**.

Druhým stupněm je **fúze**, která umožňuje spojit obrazy obou očí v jeden binokulární vjem. Fúzi dále můžeme dělit podle rozsahu zapojené sítnice na paramakulární, makulární a foveolární fúzi, nebo zapojení složek jednoduchého binokulárního vidění na motorickou a senzorickou fúzi. Podrobněji viz *tabulka č. 1*.

Rozdělení fúze podle rozsahu zapojené sítnice:	
Paramakulární	Spojuje periferní obrazy obou očí. Má největší toleranci k odlišnostem.
Makulární	Spojuje obrazy z rozsahu makul obou očí.
Foveolární	Spojuje obrazy pouze z foveolární oblasti obou očí. Poskytuje dobrý vjem detailů, ale chybí vnímání hloubky. Tento typ fúze je nejhodnotnější.
Rozdělení fúze podle zapojených složek JBV:	
Motorická	Řídí pohyby očí, tak aby zrakové osy obou očí směřovaly na pozorovaný objekt.
Senzorická	Spojuje dva monokulární vjemy i bez pohybu očí. Je to psychický a fyziologický děj.

Tabulka č. 1 – Rozdělení fúze

Nejvyšším stupněm binokulárního vidění je schopnost prostorového vnímání neboli **stereopse**. Vzniká fúzí lehce disparátních obrazů ze sítnic obou očí a umožňuje nám vnímat hloubku. [1, 2]

1.3 Fúze

Fúze je druhým stupněm binokulárního vidění, dává možnost vzniku nejvyššího stupně binokulárního vidění – stereopse.

1.3.1 Senzorická fúze

Senzorická fúze je kombinace dvou sítnicových obrazů do jednoduchého binokulárního vjemu. Zahrnuje neurofyziologické spojení a psychologické rozpoznání zrakových informací z každého oka. Pro senzorickou fúzi musí být obrazy ideálně podobně ostré a jasné, mít podobnou velikost a barvu a měly by dopadat na korespondující místa na sítnici.

Retinální korespondence

Korespondující body na sítnici jsou takové elementy sítnice, které přijímají podněty z jednoho bodu v prostoru – mají tedy stejnou směrovou hodnotu. Tento bod potom vidíme jednoduše. Body na sítnici, které nemají stejnou směrovou hodnotu, se nazývají disparátní body. Prostorový bod, který je zobrazen nekorespondujícími (disparátními) body, vidíme dvojitě.

Korespondují-li fovey obou očí, potom se jedná o normální retinální korespondenci a fovey můžeme nazvat hlavními korespondujícími body. Pokud mají fovey jinou směrovou hodnotu potom se jedná o anomální retinální korespondenci.

Horopter

Při fixaci určitého bodu foveami obou očí (tj. při určitém postavení očí) jsou vidět jednoduše všechny body dopadající na korespondující body sítnic. Tyto body v prostoru tvoří imaginární plochu – horopter. Teoretický model horopteru (tzv. Vieth-Müllerův kruh) má podobu kruhu, který prochází uzlovými body obou očí a fixovaným bodem. Empiricky změřený horopter má tvar odlišný a liší se podle vzdálenosti fixačního bodu. Obvykle bývá lehce zakřivený – pro kratší vzdálenosti je směrem k pozorovateli konkávní, pro větší vzdálenosti konvexní. Pro vzdálenost okolo 1 m má tvar ploché (tzv. frontoparalelní) roviny.

Panumův fúzní prostor

Prostorový bod je viděn jednoduše, i když dopadá na lehce disparátní body sítnice, a to proto, že každý sítnicový element má v druhém oku kolem korespondujícího bodu malou oblast, ve které ještě fúze funguje. V prostoru to jsou Panumovy areály, které dohromady vytváří Panumův fúzní prostor. Mají tvar elipsy a k periferii se zvětšují. Lehce disparátní zobrazení umožňuje stereoskopické vidění.

Fyziologická diplopie

Obrazy bodů ležících mimo Panumův prostor dopadají na dobře oddělené nekorespondující body sítnic, a proto jsou viděny dvakrát s různými směrovými hodnotami. Tato diplopie je fyziologická a přestože se ji lidský mozek naučil potlačovat a tolik nevnímat, můžeme si ji za některých okolností uvědomovat. Diplopii si můžeme uvědomit například tak, že budeme přímo před sebou držet dvě tužky ve vzájemné vzdálenosti přibližně 30 cm. Potom, budeme-li fixovat jednu tužku, druhou budeme vidět dvojitě. Při fixaci bližší tužky nastává nezkřížená diplopie, kdy oči vidí stejnostranný obraz, a při fixaci vzdálenější tužky nastává diplopie zkřížená, kdy oči vidí obraz druhostranný.

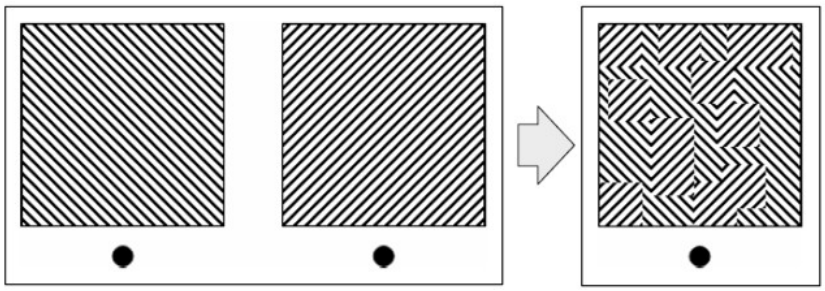
Suprese

Při fixaci daného objektu, jsou ve zrakové mozkové kůře utlumeny obrazy vzdálenějších a bližších předmětů, které se vyskytují mimo Panumův fúzní prostor. Fyziologická suprese zabraňuje vnímání fyziologické diplopie.

Patologická suprese může nastat tehdy, když se obraz přijímaný jedním okem výrazně liší v ostrosti, zvětšení nebo kontrastu od obrazu přijímaného okem druhým.

Rivalita

Binokulární rivalita nastává, když obrazy pro každé oko jsou odlišné tvarem, ale stejného kontrastu. Oči vzájemně zápasí, který podnět bude přijat. Výsledkem může být alternující suprese, nebo tzv. mozaiková dominance, která je ukázána na *obrázku č. 1*. [1, 2, 4, 5]



Obrázek č. 1 – Příklad binokulární rivality [2]:

Pokud jsou vjemy očí odděleny tak, že každé oko sleduje jeden obrázek (např. levé oko levý a pravé oko pravý), dochází k binokulární rivalitě, kdy může být upřednostněn vjem jednoho oka nebo může nastat tzv. mozaiková dominance (na obrázku vpravo). K oddělení vjemů obou očí může dojít správným rozšilháním očí.

1.3.2 Motorická fúze

Motorická fúze zajišťuje postavení očí tak, aby obrazy fixovaného bodu dopadaly na korespondující body sítnic obou očí, aby mohla nastat senzorická fúze. Jelikož motorická fúze úzce souvisí s fúzní vergencí, bude podrobně popsána ve *2. kapitole*.

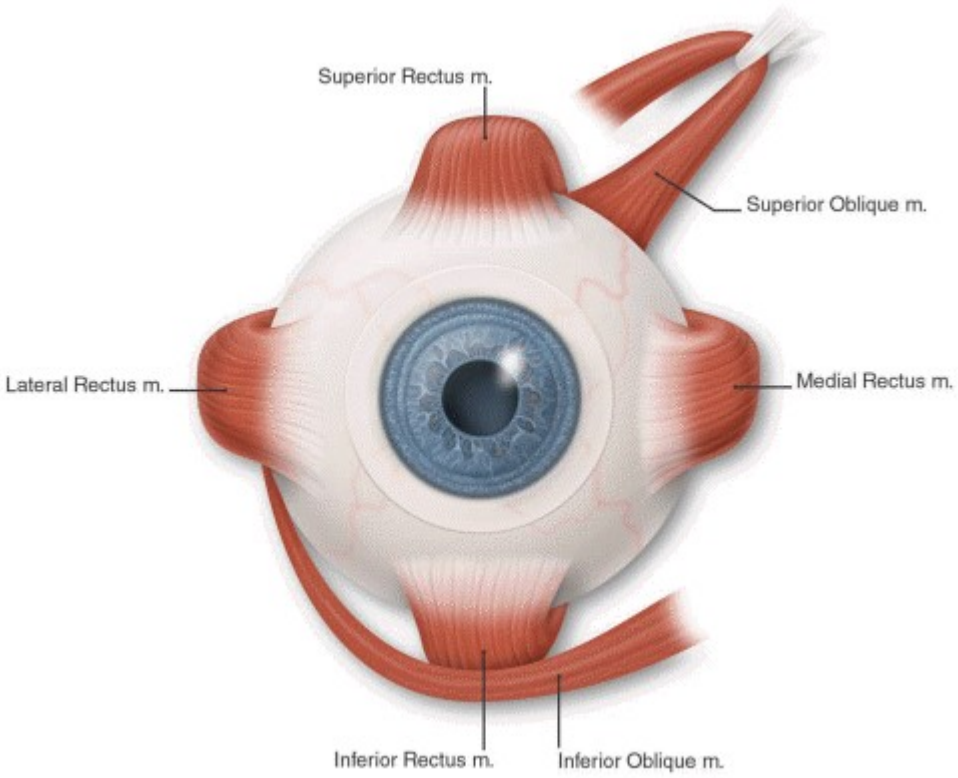
2 MOTORICKÁ FÚZE

Motorická fúze zajišťuje postavení očí tak, aby obrazy fixovaného bodu dopadaly na korespondující body sítnic obou očí, aby mohla nastat senzorická fúze. Má tedy na starosti binokulární pohyby očí, mezi které patří i vergence. V této kapitole bude popsán vergenční systém. Detailněji potom fúzní vergence, která je přímým projevem motorické fúze.

2.1 Okohybné svaly

Okohybné svaly jsou zevní oční svaly, které zajišťují pohyby očí. Dělíme je na čtyři přímé svaly (horní, dolní, vnitřní a zevní), a dva šikmé (horní a dolní) – viz *obrázek č. 2*.

Všechny přímé svaly začínají ve vazivovém prstenci v hrotu očnice a upínají se na bulbus do bělimy před ekvátorem, v různé vzdálenosti za limbem rohovky – tzv. Tillauxova spirála. Horní šikmý sval začíná v hrotu očnice, z něhož jde do horního vnitřního koutu očnice, kde jeho šlacha prochází kladkou (trochleou), ve které změní směr dolů dozadu a upíná se do bělimy za ekvátorem ve vnějším horním kvadrantu. Dolní šikmý sval jako jediný nezačíná v hrotu očnice, ale na její spodní vnitřní stěně, odkud pokračuje šikmo dozadu a upíná se do bělimy za ekvátorem ve vnějším dolním kvadrantu. [2, 6]



Obrázek č. 2 – Okohybné svaly pravého oka [7]

2.1.1 Funkce a inervace okohybných svalů

Zevní a vnitřní přímé svaly pohybují okem jen v jednom směru, tento pohyb je jejich primární (a jedinou) funkcí. Ostatní svaly mají také sekundární funkci – to znamená, že mohou ovlivňovat pohyby očí i v jiných směrech, než je jejich primární funkce. Jednotlivé funkce přehledně zobrazuje *tabulka č. 2*. Další funkcí přímých okohybných svalů je vtahování bulbu do očnice (pracují proti tukovému polštáři a šikmým svalům, které naopak bulbus mírně vytlačují).

Okohybné svaly jsou inervovány hlavovými nervy (viz *tabulka č. 2*), kdy zevní přímý sval je inervován šestým hlavovým nervem (nervus abducens) a horní šikmý sval čtvrtým hlavovým nervem (nervus trochlearis). Všechny ostatní jsou inervovány třetím hlavovým nervem (nervus oculomotorius). [2, 3, 6]

sval (= musculus, m.)	**inervace**	**funkce (primární; sekundární)**
m. rectus lateralis	nervus abducens (VI)	abdukce
m. rectus medialis	nervus oculomotorius (III)	addukce
m. rectus inferior	nervus oculomotorius (III)	elevace; intorze a addukce
m. rectus superior	nervus oculomotorius (III)	deprese; extorze a addukce
m. obliquus inferior	nervus oculomotorius (III)	extorze; elevace a abdukce
m. obliquus superior	nervus trochlearis (IV)	intorze; deprese a abdukce

Tabulka č. 2 – Inervace a funkce okohybných svalů

2.2 Motilita očí

Motilitu neboli pohyblivost očí můžeme rozdělit podle toho, jestli sledujeme jedno nebo obě oči. Monokulární pohyby se nazývají dukce a jsou shodné s funkcemi okohybných svalů.

Mezi důležité pojmy, podstatné k pochopení nejen monokulárních očních pohybů, patří **střed otáčení oka**, který se označuje C. Je to bod, který se nachází asi 13,5 mm za přední plochou rohovky a při pohybu očí zůstává vzhledem k hlavě stabilní (tzn., nepohybuje se). **Fixační osa** spojuje střed otáčení oka s fixovaným bodem, kdežto **osa vidění** (neboli zraková osa) spojuje pozorovaný předmět se středem světlolomných prostředí a makulou luteou (přesněji foveou centralis). A nakonec zmíníme **monokulární fixační reflex**, který zahrnuje monokulární pohyby oka vedoucí k fixaci pozorovaného objektu na foveu. Lze rozlišit tři typy pohybů, a to tremor (třes – malé rychlé a náhodné pohyby při dlouhodobé fixaci objektu, zabraňující adaptaci jasu), drift (relativně pomalé nepravidelné pohyby) a mikrosakadické pohyby (malé trhavé pohyby proti driftu).

Binokulární oční pohyby jsou koordinované pohyby obou očí a podle toho, jestli se oči pohybují stejným směrem či nikoli, je můžeme rozdělit na konjugované (stejnosměrné) a disjunktní (protisměrné) pohyby očí.

Pokud jsou funkce všech okohybných svalů vyvážené, nastává svalová rovnováha neboli ortoforie. Při jejím porušení dochází k šilhání, a to buď skrytému (heteroforie), které je většinou kompenzováno zvýšeným svalovým úsilím, nebo zjevnému (heterotropie). [2]

2.2.1 Zákony motility

Do každého očního pohybu je zapojeno více svalů. Svaly zapojené do určitého pohybu můžeme rozdělit na dvě skupiny: agonisty a antagonisty. Agonista neboli synergista je sval, který má stejný účinek. Vždy se vyskytuje na druhém oku. Antagonista je sval, který má opačný účinek. Každý sval má dva antagonisty – jeden na stejném oku, druhý na druhém oku.

Sheringtonův zákon o reciproké inervaci antagonistů: Přichází-li zvýšené nervové impulzy do určitého svalu, současně se utlumí nervové impulzy pro jeho antagonisty.

Heringův zákon o symetrické inervaci agonistů: Je-li inervován určitý sval, do jeho druhostranného agonisty přichází nervové impulzy o stejné intenzitě. [2]

2.2.2 Konjugované pohyby očí

Konjugované pohyby očí neboli verze jsou pohyby, při kterých se nemění úhel zrakových os. Tyto pohyby zahrnují na každém oku odlišné svaly. Konjugované pohyby dělíme na sakadické, plynulé sledovací a reflexní pohyby.

Sakadické pohyby

Sakadické pohyby jsou rychlé, neočekávané, trhané pohyby. Mohou to být volní nebo náhodné refixační pohyby, nebo pohyby v reakci na zrakový či sluchový podnět. Dále sem patří rychlé oční pohyby nastávající v REM spánku, apod. Rychlost pohybu je 300-500 stupňů za sekundu.

Sledovací pohyby

Sledovací pohyby jsou pomalejší, plynulé pohyby, které mají za úkol udržet obraz pohybujícího se objektu nebo obraz nepohybujícího se objektu při pohybování hlavou na fovee. Rychlost pohybu je do 40 stupňů za sekundu.

Reflexní pohyby

Mezi reflexní pohyby patří vestibulární zrakový reflex, jenž ovlivňuje pohyby očí při pohybu hlavy a fixaci statického objektu, a optokinetický nystagmus (reflex) neboli nevědomé sledování rozsáhlých pomalu se pohybujících objektů při nepohybující se hlavě. [2, 4]

2.2.3 Disjunktní pohyby očí

Disjunktní pohyby neboli vergence mění úhel zrakových os. Tyto pohyby zahrnují na obou očích stejné svaly a jejich funkcí je změna fixační vzdálenosti. [2, 4]

2.3 Složky vergence

Vergenci můžeme rozdělit podle fixační vzdálenosti na divergenci a konvergenci. Konvergence je mnohonásobně větší než divergence a uplatňuje se na menší fixační vzdálenosti, tj. při pohledu do blízka.

Konvergenci můžeme rozdělit na reflexní, která není ovládána vůlí a je kontrolována týlní mozkovou kůrou, a volní, což je schopnost konvergovat bez blízkého stimulu ovládaná vůlí a kontrolovaná frontální okulomotorickou oblastí mozkové kůry. Reflexní konvergenci dále můžeme rozdělit na 4 stupně: tonickou, akomodační, proximální a fúzní konvergenci. [2, 8]

2.3.1 Tonická vergence

Při přerušení jakékoliv inervace okohybných svalů by se oči vytočily do tzv. **anatomické klidové pozice**, kdy zrakové osy obou očí jsou lehce divergentní (asi 17 pD exo).

Tonická vergence je konvergence způsobená tonem v okohybných svalech, který dostane oči do **fyziologické klidové pozice**, kdy není přítomen žádný podnět ke konvergenci a zrakové osy obou očí jsou přibližně paralelní.

Klinický význam tonické vergence je ten, že určuje fórii do dálky. Slabší tonická vergence způsobuje exoforii, silnější esoforii. [2, 9]

2.3.2 Akomodační vergence

Akomodační vergence je konvergence vyvolaná akomodací. Je to důsledek neurologického spojení akomodace a konvergence. Velikost konvergence vyvolané 1 dioptrií akomodace je určena tzv. AC/A poměrem. Velikost (síla) AC/A poměru se podílí na fórii do blízka. Silnější AC/A poměr způsobuje posun směrem do esoforie vůči fórii do dálky. Slabší naopak způsobuje posun do exoforie. [2, 9]

2.3.3 Proximální vergence

Proximální vergence je konvergence způsobená vědomím blízkosti pozorovaného objektu a odhadem jeho vzdálenosti. Tato složka konvergence je vrozená a je nezávislá na akomodaci. [2]

2.3.4 Fúzní vergence

Fúzní vergence je poslední složkou reflexní vergence. Jejím úkolem je konečné doladění a udržení jednoduchého binokulárního vidění. Podrobněji bude fúzní vergence popsána v následující podkapitole.

2.4 Fúzní vergence

Fúzní vergence je jednou ze složek vergence. Je projevem motorické fúze a podnětem k její činnosti je sítnicová disparita, proto se také někdy nazývá vergencí disparátní. Při její nesprávné funkci vzniká fixační disparita. Fúzní vergence může být pozitivní (konvergence) nebo negativní (divergence).

Dále můžeme fúzní vergenci rozdělit na **rychlou** (reflexní) vergenci, která je řízena sítnicovou disparitou a zahajuje vergenční pohyby, a **pomalou** (adaptační) vergenci, která vzniká na základě podnětů z rychlé vergence a je známá také jako vergenční adaptace. Celková fúzní vergence je rovna součtu rychlé a pomalé složky. [2, 10]

2.5 Vztah vergence a akomodace

Akomodace je schopnost oka měnit dioptrickou hodnotu čočky a tak zaostřovat na objekty v různých vzdálenostech. Je to jedna ze schopností potřebných k dosažení jednoduchého binokulárního vidění. Obdobně jako konvergence má několik složek: tonickou, vergenční, proximální a reflexní. Jelikož k akomodaci i konvergenci dochází díky inervaci třetího hlavového nervu, dochází k jejich částečnému ovlivňování, kdy při akomodaci je také vyslán impuls pro konvergenci a naopak.

2.5.1 Akomodační konvergence

Konvergenci navozenou při akomodaci vyjadřuje akomodační konvergence. AC/A poměr potom vyjadřuje, o kolik prizmatických dioptrií se změní konvergence, přesněji akomodační konvergence, při změně akomodace o 1 D. Normální hodnoty jsou okolo $3/1 - 4/1$ pD/D, ale mohou se lišit v závislosti na použité metodě měření. [2]

2.5.2 Konvergenční akomodace

Konvergenční akomodace vyjadřuje akomodaci navozenou při konvergenci. CA/C poměr potom vyjadřuje, o kolik dioptrií se změní akomodace, přesněji konvergenční akomodace, při změně konvergence o 1 pD. Normální hodnoty jsou okolo $1/10\ \mathrm{D/pD}$. [2]

2.6 Základní parametry vergenčního systému

Stav konvergence lze popsat několika veličinami, které můžeme změřit. Jako příklad můžeme uvést úhel konvergence, blízký bod konvergence (NPC – near point of convergence), konvergenční schopnost a rozsah fúzní vergence.

2.6.1 Úhel konvergence

Úhel konvergence θ je možné měřit ve stupních [°], metrových úhlech $[m.ú. = \mathrm{m}^{-1}]$ nebo v prizmatických dioptriích $[\mathrm{pD} = \mathrm{cm} * \mathrm{m}^{-1}]$.

Metrový úhel je definován jako úhel konvergence, který jedno oko udělá, aby fixovalo objekt vzdálený 1 metr ve střední rovině od základní linie spojující středy otáčení obou očí. **Velký metrový úhel** je potom definován jako úhel konvergence mezi zrakovými osami obou očí dívajících se na objekt vzdálený 1 metr. Konvergence jednoho oka v metrových úhlech *m.ú.* je dána rovnicí:

$$m.ú. = \frac{1}{a} = \frac{1}{a_B + 0{,}027}$$

kde a je vzdálenost fixovaného objektu od středu otáčení oka v metrech, a_B je vzdálenost od brýlové roviny v metrech a hodnota $0{,}027\ \mathrm{m}$ je vzdálenost brýlové roviny od středu otáčení oka. U emetropického oka odpovídá akomodačnímu požadavku na danou vzdálenost, a to díky vztahu akomodace a konvergence.

Prizmatická dioptrie je definována jako odchylka očí o 1 cm od přímého směru na vzdálenost 1 m. Velikost konvergence C v prizmatických dioptriích je vyjádřena vzorcem

$$C = \frac{\frac{1}{2}PD}{a} = \frac{\frac{1}{2}PD}{a_B + 0{,}027}$$

pro jedno oko a vztahem

$$C = \frac{PD}{a} = \frac{PD}{a_B + 0{,}027}$$

pro obě oči, kde PD je pupilární vzdálenost, a je vzdálenost fixovaného objektu od středu otáčení oka v metrech, a_B je vzdálenost od brýlové roviny v metrech a hodnota $0{,}027$ m je vzdálenost brýlové roviny od středu otáčení oka. [2, 4]

2.6.2 Blízký bod konvergence

Blízký bod konvergence (někdy také označován jako konvergenční amplituda) je bod, při jehož pozorování dochází k maximálnímu konvergenčnímu úsilí a ve kterém je pozorovaný objekt viděn jednoduše. Měří se v centimetrech od kořene nosu. Při měření subjektivního NPC si vyšetřovaný přibližuje tužku směrem k nosu až do bodu než se mu hrot tužky rozdvojí (bod rozdvojení) a následně oddaluje od nosu, než se mu hrot tužky opět spojí (bod spojení). Pokud rozdvojení vyšetřovaný neohlásí, je vhodné přeměřit objektivní NPC, což je bod, ve kterém jedno oko přestane fixovat pozorovaný objekt a „vytočí se“ ven. Normální hodnoty jsou pro rozdvojení $7{,}5$ cm a méně, pro spojení alespoň $10{,}5$ cm. [2, 11]

2.6.3 Vergenční schopnost

Vergenční schopnost (facilita) je schopnost rychle a pružně reagovat na změny vergenčního požadavku. Měří se do blízka pomocí prizmatického flipru (3 pD bází dovnitř (BI) / 12 pD bází ven (BO)), výsledek se uvádí v počtu cyklů za minutu. Vyšetřovaný sleduje jedno písmeno na optotypu do blízka a při předložení 3 pD BI

oznámí, až se mu písmeno zaostří. Po zaostření nastává změna prizma na 12 pD BO, atd. Normální hodnoty jsou alespoň 12 cpm (cyklů za minutu). [2, 11]

2.6.4 Rozsah fúzní vergence

Rozsah fúzní vergence měříme ve stupních nebo v prizmatických dioptriích. Hodnotí se maximální možná pozitivní fúzní vergence (prizma bází ven – BO; neboli schopnost očí konvergovat), negativní fúzní vergence (prizma bází dovnitř – BI; neboli schopnost očí divergovat) vertikální fúzní vergence při akomodaci na určitou vzdálenost, kdy je ještě zachováno jednoduché binokulární vidění.

Předkládáním prizmat před oči je díky fúzi obraz viděn jednoduše, a to do té doby než dojde k jejímu vyčerpání a nastane tedy diplopie. Díky vzájemnému vztahu mezi vergencí a akomodací (viz kapitola 2.5) dochází při měření fúzní vergence rovněž k ovlivnění akomodace. Při pozitivní fúzní vergenci dochází ke stimulaci akomodace. Když dojde k jejímu vyčerpání, nastane rozmazání obrazu. Při negativní fúzní vergenci do blízka dochází k uvolňování akomodace a rovněž nastává rozmazání. Naopak při negativní fúzní vergenci do dálky se předpokládá, že akomodace je uvolněná (tzn. oko je emetropické, eventuálně plně korigované), a rozmazání obrazu by nemělo nastat. [11, 12]

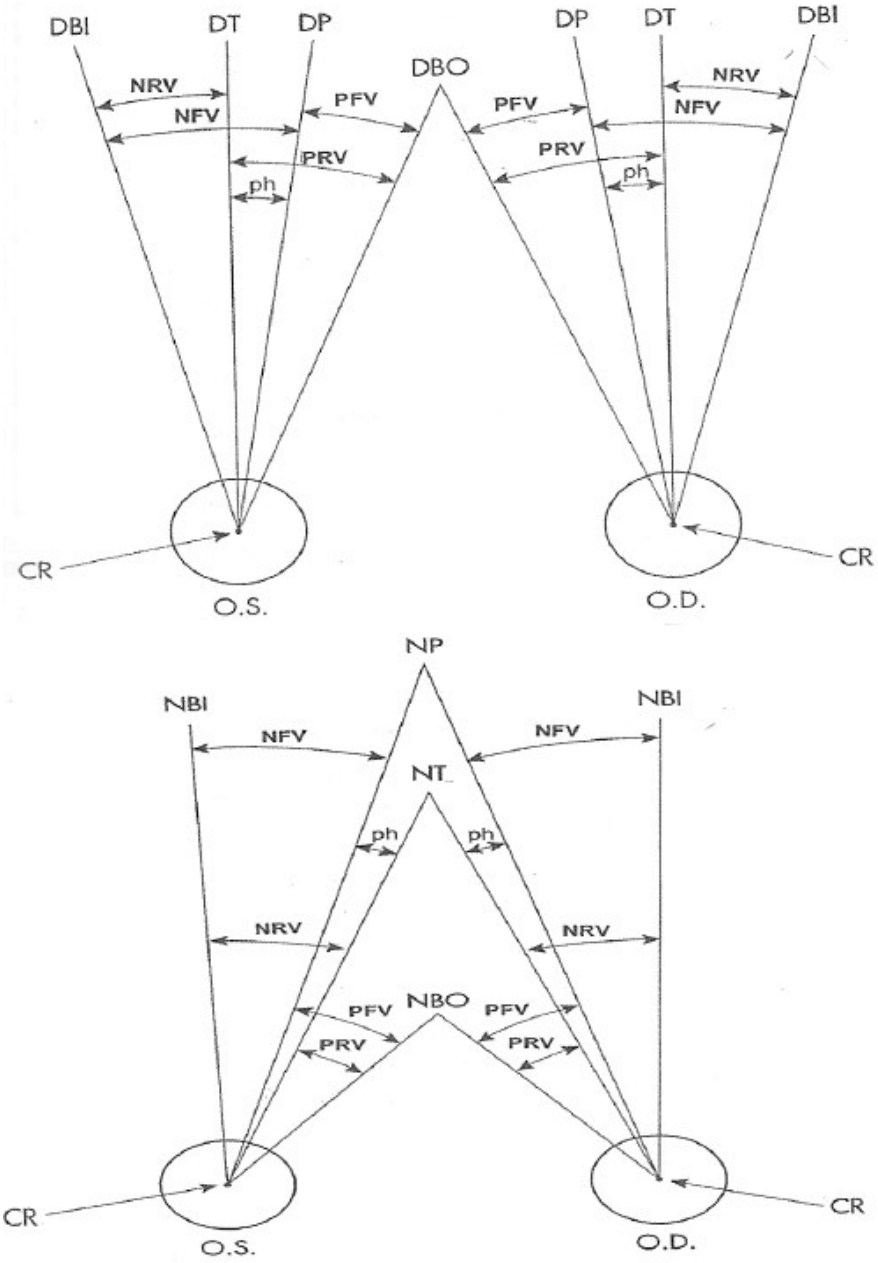
2.7 Vymezení pojmů souvisejících s fúzní vergencí

V literatuře se používá více pojmů, jako např. fúzní rezervy, relativní vergence, apod. Výklad těchto pojmů jednotlivými autory se může lišit, proto je dobré si vždy ujasnit, jak daný autor jednotlivé pojmy chápe. V této práci uvedu vybrané pojmy podle Gosse [13]:

- **Negativní/pozitivní fúzní vergence** je množství fúzní divergence/konvergence, které může být vynaloženo, určené přidáváním BI/BO prizmat, za podmínky, že začínáme měřit od prizmatické hodnoty rovnající se disociační fórii (neboli heteroforii). Představují maximální schopnost fúzní vergence vyšetřovaného.

- **Negativní/pozitivní relativní vergence** je množství fúzní divergence/konvergence, které může být vynaloženo, určené přidáváním BI/BO prizmat, za podmínky, že začínáme měřit od nulové hodnoty prizmatické síly. Jsou to tedy hodnoty, které byly odečteny z prizma použitého při testování rozsahu fúzní vergence. Jsou to nálezy rozmazání nebo, v případě že žádné rozmazání nenastane, nálezy rozdvojení.
- **Rezerva** je potom množství fúzní vergence zbývající potom, co je dosažena binokulární fúze. Je tedy rovna negativní relativní vergenci u esoforie a pozitivní relativní vergenci u exoforie.

Detailněji jsou tyto pojmy ukázány na *obrázku č. 3* na následující straně.



Obrázek č. 3 – Pozice zrakových os u esoforie do dálky a exoforie do blízka [X],

kde CR – střed otáčení oka, O.S. – levé oko, O.D. – pravé oko, DT/NT – pozice zrakových os při binokulárním pozorování nekonečně vzdáleného/blízkého objektu, DP/NP – pozice zrakových os během disociovaného testu fórie do dálky/blízka, ph – disociovaná fórie, DBI/NBI – pozice zrakových os při rozdvojení/rozmazání v testu BI rozsahu FV do dálky/blízka, DBO/NBO – pozice zrakových os při rozmazání v testu BO rozsahu FV do dálky/blízka, NFV/PFV – negativní/pozitivní fúzní vergence, NRV/PRV – negativní/pozitivní relativní vergence. Disociovaná fórie je požadavek na fúzní vergenci k udržení jednoduchého binokulárního vidění (JBV). Např. na horním obrázku musí být zrakové osy otočeny z DP do DT, aby bylo dosaženo JBV. Pacient s esoforií tak musí použít část své NFV k dosažení DT a JBV. Podíl zbylé NFV (úhel mezi DT a DBI) je znám jako rezerva (u esoforie rovna NRV).

3 VYŠETŘOVÁNÍ FÚZNÍ VERGENCE

Metody měření fúzní vergence můžeme rozdělit do dvou kategorií podle způsobu navození fúzní vergence. První skupinou jsou přístroje, u nichž dochází k navození fúzní vergence natáčením tubusů. Patří sem troposkop, synoptofor a amblyoskop. Přístroje ve druhé skupině využívají k navození fúzní vergence prizmat. Patří sem prizmatická lišta, Herschellovo (Risleyho) prizma a sada prizmatických skel. [14, 15]

Dále můžeme hodnocení fúzní vergence rozdělit podle použitých testů na přímá měření, kam patří měření fúzní vergence, a nepřímá měření, která zahrnují měření vergenční schopnosti, negativní a pozitivní relativní akomodace, binokulární akomodační schopnosti a akomodační odezvy. Nepřímá měření mají souvislost s fúzní vergencí díky vztahu akomodace a vergence, který je popsán v kapitole 2.5. Tento typ měření má význam především tehdy, když vyšetřovaný je symptomatický, ale přímé měření fúzní vergence neprokázalo žádnou patologii (tzn. je v rámci normálních hodnot). Některá z těchto měření jsou popsána v kapitole 2.6, ostatní lze najít v literatuře, např. [11, 15].

3.1 Vyšetření fúzní vergence pomocí troposkopu

Troposkop, nověji synoptofor (viz *obrázek č. 4*) je přístroj využívaný převážně v ortopticko-pleoptických ambulancích a používá se k diagnostice a léčbě amblyopie a strabismu. Pracuje na principu disociace obrazu. Je sestaven ze základny a dvou ramen s optickým systémem, světelným zdrojem a místem pro zasunutí diagnostických obrázků. S rameny je možné v horizontální rovině rotovat a jejich rotaci lze odečíst na stupnici. Dále je možné posouvat s obrázky, resp. s nosiči obrázků a jak kolem horizontální osy, tak vertikálně. [16]

Obrázek č. 4 – Synoptofor [16]

Jedním z mnoha vyšetření, které lze provádět pomocí troposkopu, je měření rozsahu fúzní vergence (neboli šířky fúze). Lze měřit horizontální i vertikální rozsahy fúzní vergence a navíc také amplitudu cyklovergence.

Při vyšetření používáme optimální korekci a ramena před začátkem samotného měření nastavíme do subjektivní odchylky (úhel, kdy vyšetřovaný správně překryje 2 disimilární obrazy) a poznačíme si její velikost. Při měření rozsahu horizontální fúzní vergence posunujeme rameny (pomocí stranového šroubu) nejprve do konvergence (pozitivní fúzní vergence), poté do divergence (negativní fúzní vergence) až do bodu, kdy dojde k rozmazání a následně k rozdvojení obrázků. Při měření rozsahu vertikální fúzní vergence posunujeme nosičem diagnostických obrázků dolů a nahoru. Při rozdvojení odečteme hodnotu ze stupnice. Amplitudu cyklovergence můžeme změřit otáčením nosičem kolem horizontální osy až do rozdvojení obrázků. [16]

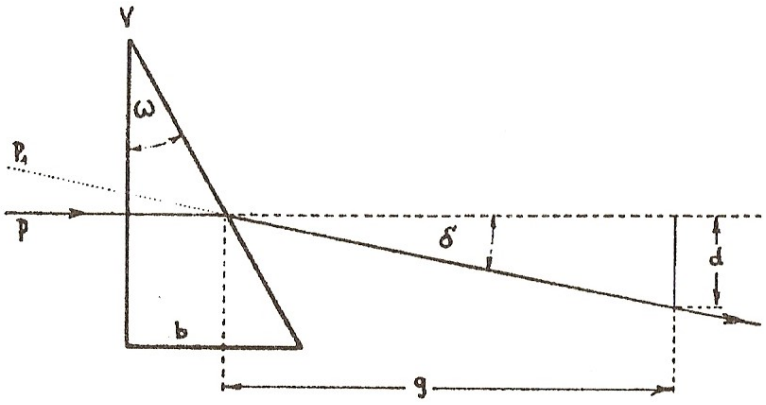
Normální hodnoty fúzní vergence se liší v závislosti na věku vyšetřovaného, jeho akomodaci, AC/A poměru a na výběru velikosti testových obrázků (viz *tabulka č. 3*). [1]

Použité obrázky	Typ fúze	Šířka fúze
Velké	Periferní	-3 až +25 stupňů (-5 až +44 pD)
Střední	Makulární	-2 až +15 stupňů (-4 až +26 pD)
Malé	Foveolární	-1 až +10 stupňů (-2 až +17 pD)

Tabulka č. 3 – Šířka fúze podle velikosti použitých obrázků [1]

3.2 Vyšetření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt

Druhou možností, jak vyšetřit rozsah fúzní vergence, je předkládáním prizmat před jedno nebo obě oči. Prizma neboli optický klín (či hranol) se skládá z báze, vrcholu a dvou lomných ploch, které svírají lámavý úhel ω. Průchod světelných paprsků skrz prizma je zobrazen na *obrázku č. 5*. Při kolmém dopadu světelného paprsku na lámavou plochu lze určit prizmatický účinek v prizmatických dioptriích (pD, Δ), kde 1 prizmatickou dioptrii má hranol, který odchyluje paprsek ve vzdálenosti 1 m od druhé lámavé plochy o 1 cm od původního směru. [17]



Obrázek č. 5 – Průchod světelného paprsku hranolem [1],
kde V – vrchol hranolu, b – báze hranolu, ω – lámavý úhel hranolu, δ – úhel odchýlení paprsku vystupujícího z hranolu od paprsku dopadajícího na předního lomnou plochu hranolu, P – předmět pozorovaný přes hranol, d – posun paprsku v cm, P1 – zdánlivá poloha předmětu P, /PP1/ – zdánlivý posun předmětu směrem k vrcholu hranolu.

Prizma můžeme při vyšetřování fúzní vergence předkládat buď před jedno oko jako volné prizma (nebo zabudované v prizmatické liště), nebo stejně před obě oči pomocí foropteru.

Při měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt vyšetřovaný sleduje sloupec písmen na optotypu, obvykle s korekcí. Prizmatická lišta se předkládá před vedoucí oko, i když podle některých studií [18] vliv dominatního/nedominantního oka není statisticky významný.

Prizmatická síla je postupně zvyšována a vyšetřovaný je požádán, aby oznámil, kdy se mu písmena rozmažou a následně rozdvojí. Poté je prizmatická síla zvýšena a následně zase snižována do doby, než vyšetřovaný oznámí opětovné spojení obrazu. Normální hodnoty jsou zaznamenány v *tabulce č. 4*.

Výhodou měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt je především lepší kontrola fixace, tzn. je případně dobře vidět stav, kdy se jedno oko utlumí a vrátí do primární pozice. Mezi nevýhody patří např. možnost ovlivnění výsledku umístěním lišty před okem (mírná rotace, umístění přechodu mezi prizmaty před oko, apod.) a dále také nestejná velikost kroku.

Test		**Očekávané hodnoty [pD]**	
		průměrná hodnota	**rozsah**
BO dálka	rozdvojení	11 ± 7	4 – 18
	spojení	7 ± 2	5 – 9
BI dálka	rozdvojení	7 ± 3	4 – 10
	spojení	4 ± 2	2 – 6
BO blízko	rozdvojení	19 ± 9	10 – 28
	spojení	14 ± 7	7 – 21
BI blízko	rozdvojení	13 ± 6	7 – 19
	spojení	10 ± 5	5 – 15

Tabulka č. 4 – Očekávané hodnoty fúzní vergence při měření prizmatickými lištami [15]

3.3 Vyšetření fúzní vergence pomocí foropteru

Foropter je multifunkční přístroj, který může nahradit subjektivní měření zraku pomocí brýlové obruby a sady zkušebních čoček, a to monokulárně i binokulárně – tedy od refrakce až po vyšetření binokulárního vidění. Můžeme rozlišit dva základní typy, a to starší, ale dosud používaný, manuální a modernější digitální.

Foropter se skládá z hlavy, která v sobě ukrývá vše, co může být použito při vyšetřování – korekční čočky, barevné a polarizační filtry, Jacksonovy zkřížené cylindry, atd., a z ramena, kterým je foropter připojen k vyšetřovací jednotce, popř. na zeď. Rameno je pohyblivé, aby bylo možné rychle a snadno upravit polohu foropteru vůči vyšetřovanému. U digitálních foropterů je to dále ovládací skříňka, příp. počítač, s možností připojení dalších přístrojů (např. automatický refraktometr, fokometr, apod.).

Mimo jiné, již výše zmíněné, obsahuje hlava foropteru také rotační prizmatické čočky (Herschellovy nebo Risleyho), které umožňují mimo jiné také měření fúzní vergence. [19]

Měření fúzní vergence pomocí foropteru je obdobné jako u prizmatických lišt, tedy vyšetřovaný sleduje na optotypu sloupec/řádek písmen a oznámí, kdy se mu písmena rozmažou, rozdvojí a následně zase spojí. Normální hodnoty jsou zaznamenány v *tabulce č. 5*.

Mezi výhody využití foropteru pro měření fúzní vergence patří: rovnoměrné rozdělení prizmat na obě oči a stejná velikost kroku od začátku měření do konce. Nevýhodou může být špatná kontrola fixace a postavení hlavy vůči přístroji, příp. nemožnost kontroly výrazu obličeje v průběhu měření, protože přístroj je tak robustní, že zakrývá celou hlavu vyšetřovaného.

Test		**Očekávané hodnoty [pD]**	
		průměrná hodnota	rozsah
BO dálka	rozmazání	9 ± 4	5 – 13
	rozdvojení	19 ± 8	11 – 27
	spojení	10 ± 4	6 – 14
BI dálka	rozdvojení	7 ± 3	4 – 10
	spojení	4 ± 2	2 – 6
BO blízko	rozmazání	17 ± 5	12 – 22
	rozdvojení	21 ± 6	15 – 27
	spojení	11 ± 7	4 – 18
BI blízko	rozmazání	13 ± 4	9 – 17
	rozdvojení	21 ± 4	17 – 25
	spojení	13 ± 5	8 – 18

Tabulka č. 5 – Očekávané hodnoty fúzní vergence při měření foropterem [15]

3.4 Význam vyšetřování fúzní vergence

Měření fúzní vergence má největší význam v souvislosti s měřením heteroforie (tj. skryté okohybné odchylky), a to z toho důvodu, že do jisté míry určuje schopnost její kompenzace. Při znalosti rozsahu fúzní vergence a velikosti heteroforie lze určit velikost prizmatické korekce potřebné ke kompenzaci.

Existuje několik ucelených metod, které hodnotí kompenzaci heteroforie, mimo jiné i pomocí rozsahu fúzní vergence:

Grafická analýza

Grafická analýza zahrnuje komplexní vyšetření binokulárního vidění. Využívá hodnoty heteroforie (HTF) a rozsahů fúzní vergence (FR) do dálky i do blízka, dále hodnoty amplitudy akomodace, blízkého bodu konvergence a relativní akomodace k sestavení A-V diagramu, ze kterého lze vyčíst typ vergenční poruchy a její kompenzaci. Ke zjištění kompenzace a případně hodnoty prizmatické korekce potřebné ke kompenzaci dekompenzovaných poruch využívá kritérií:

- *Sheardovo* (vhodné při exoforii): heteroforie je kompenzovaná, platí-li $FR \geq 2HTF$, je-li dekompenzovaná, potom prizmatická hodnota potřebná ke kompenzaci je $\Delta = {}^{2}/_{3}\,|HTF| - {}^{1}/_{3}\,|FR|$.
- *Percivalovo* (vhodné při esoforii do blízka): heteroforie je kompenzovaná, platí-li $menší\ FR > {}^{1}/_{2}\ větší\ FR$, je-li dekompenzovaná, potom prizmatická hodnota potřebná ke kompenzaci je $\Delta = {}^{1}/_{3}\,(větší\ FR) - {}^{2}/_{3}\,(menší\ FR)$. [9]

Normativní analýza

Normativní analýza (Optometric Extension Program (OEP), Morganův systém) srovnává naměřené hodnoty s normami (s tabulkou očekávaných hodnot). Dekompenzovanou heteroforii kompenzuje takovou prizmatickou, příp. sférickou hodnotou, která ji dostane do normálních hodnot.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST: SROVNÁNÍ MĚŘENÍ FÚZNÍ VERGENCE POMOCÍ PRIZMATICKÉ LIŠTY A FOROPTERU

Cílem experimentální části bylo porovnat dvě metody měření fúzní vergence, a to měření pomocí prizmatických lišt a pomocí foropteru. Závěrem by tedy mělo být zjištění, zda lze tyto dvě metody používat zaměnitelně, neboli zda lze ze dvou hodnot, měření získaných různými metodami vyvozovat např. závěry o úspěšnosti tréninku fúzní vergence apod., nebo zda je nutné používat vždy stejnou metodu. Pro doplnění bude sledována opakovatelnost každé metody.

Předpokládá se, že opakovatelnost bude lepší pro negativní fúzní urgenci, než pro pozitivní fúzní vergenci [20]. Při srovnávání obou metod se předpokládá, že měření pomocí prizmatické lišty bude dávat vyšší hodnoty, a to kvůli vlivu periferní fúze na vergenční schopnost [21], a tedy, že bude potvrzena nezaměnitelnost těchto dvou metod.

4.1 Metodika

Měření probíhalo v optometrické laboratoři na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého od listopadu 2015 do dubna 2016.

4.1.1 Soubor testovaných osob

Celkem se studie zúčastnilo 26 osob z řad studentů Univerzity Palackého, z nichž bylo do studie zařazeno 23 probandů. Tři probandi byli vyloučeni, protože nesplňovali vstupní kritéria pro zařazení do studie (2 měli vysoké hodnoty asociační fórie, 1 měl symptomy nestabilního binokulárního vidění). Z 23 osob zařazených do studie bylo 22 (96 %) žen a 1 (4 %) muž. Průměrný věk byl (22±2) let v rozsahu 19-25 let.

Průměrná sférická hodnota refrakční vady všech 46 očí byla -1,14 D ± 2,32 D, s rozsahem -8,0 až +3,25 D. Průměrná cylindrická hodnota byla -0,44 D ± 0,79 D, s rozsahem -4,0 až 0 D, za předpokladu, že sféro-cylindrický zápis byl prováděn s minusovým cylindrem.

Měření byla prováděna na normálních, zdravých očích. Zájemci o účast ve studii tedy museli splnit tyto podmínky:

1. Věk 18-35 let z důvodu postupného úbytku akomodační schopnosti s věkem.
2. Normální zraková ostrost s korekcí do dálky i do blízka, tj. alespoň 0,8.
3. Žádné oční patologie ani refrakční operace.
4. Žádné potíže související s binokulárním viděním, tj. strabismus, amblyopie nebo dekompenzovaná heteroforie.

Měření byla rozdělena do dvou dnů, kdy první den bylo provedeno měření zahrnující zhodnocení vstupních podmínek a měření fúzní vergence jednou metodou (např. pomocí prizmatických lišt). druhý den byla změřena fúzní vergence druhou metodou (např. pomocí foropteru). Měření probíhala přibližně ve stejnou denní dobu a rozestup byl minimálně 24 hodin a maximálně 14 dní. Probandům s lichým číslem byla nejprve měřena fúzní vergence pomocí prizmatické lišty, a až následující den pomocí foropteru, u probandů se sudým číslem tato měření probíhala naopak. [20]

4.1.2 Vstupní měření

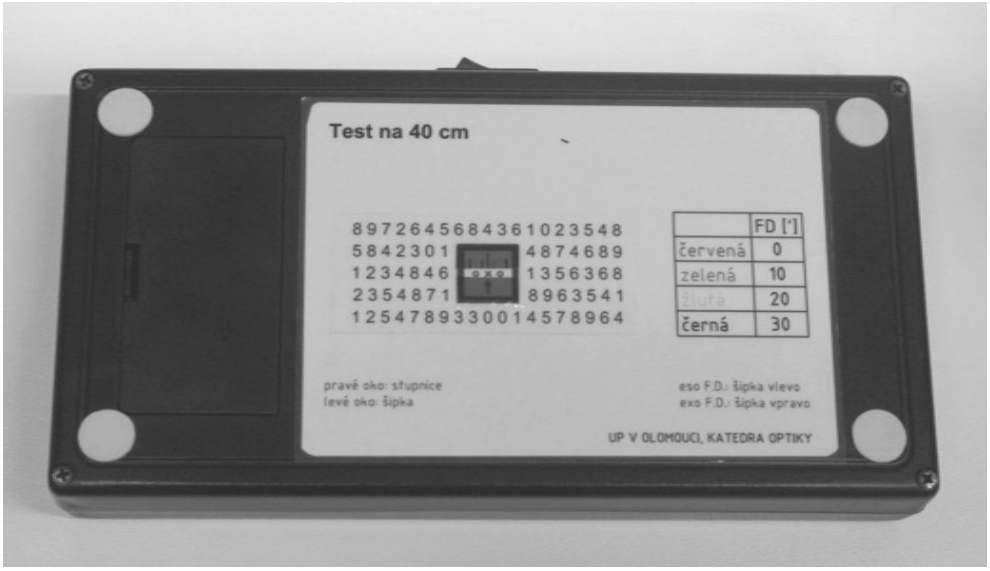
Měření vždy začalo poučením účastníka studie o průběhu všech následujících měření a podpisem informovaného souhlasu. Poté byl usazen do vyšetřovacího křesla, kde mu byl na optotypu změřen vízus s korekcí do dálky, jak monokulárně, tak binokulárně, a na čtecím testu ověřena zraková ostrost do blízka. Dále mezi vstupní měření patřily zakrývací testy, měření asociační fórie a stereopse. Všechna měření byla prováděna s korekcí, do dálky i do blízka.

Zakrývací testy

Při provádění zakrývacích testů do dálky vyšetřovaný sledoval na optotypu sloupec písmen (o hodnotě vízu 0,8-1,0). Nejprve byl proveden intermitentní zakrývací test pro vyloučení heterotropie. Následoval alternující zakrývací test pro zjištění směru heteroforie a případně její kompenzace pomocí prizmatické lišty. Stejným způsobem byly rovněž provedeny zakrývací testy na blízko, tj. na vzdálenost 40 cm, kdy vyšetřovaný sledoval sloupec písmen na optotypu do blízka. Normální hodnoty jsou do dálky 4 pD směrem do exoforie až 2 pD směrem do esoforie, do blízka 0 až 6 pD směrem do exoforie.

Asociační fórie

Pro určení kompenzace heteroforie byla následně změřena asociační fórie. Platí, že pokud je hodnota asociační fórie rovná nule, heteroforie je kompenzovaná. Nerovná-li se asociační fórie nule, heteroforie může, ale nemusí, být dekompenzovaná. Hodnoty asociační fórie pro osoby mladší 40 let menší než 1 pD jsou považovány za normální. Do dálky byla asociační fórie vyšetřována pomocí polarizovaného křížového testu s centrálním fúzním podnětem ze sady testů u foropteru, do blízka pomocí polarizovaného UP testu (viz *obrázek č. 6*). Hodnoty asociační fórie dvou účastníků studie převyšovaly normální hodnoty, proto byli ze studie vyloučeni. Hodnoty ostatních účastníků byly v rámci normálních hodnot.



Obrázek č. 6 – UP test

Stereopse

Pro doplnění představy o stavu BV byl nakonec proveden test na stereopsi. Do dálky pomocí polarizovaného stereotestu přítomného v sadě u foropteru, do blízka pomocí polarizovaného Random Dot Steroacuity Test. Normální hodnoty jsou do dálky i do blízka alespoň 60".

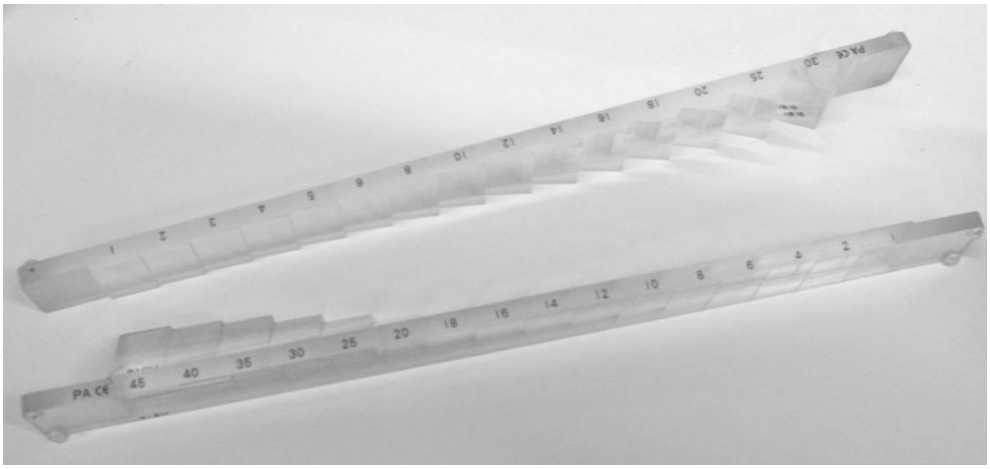
4.1.3 Měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt

Před začátkem měření samotné fúzní vergence bylo zjištěno vedoucí oko vyšetřovaného. A to tím způsobem, že byl požádán, aby ze svých rukou udělal otvor a přes něj se binokulárně podíval do mého pravého oka. Oko, které bylo vidět, bylo označeno jako vedoucí. Prizmatické lišty (zobrazeny na *obrázku č. 7*) byly umisťovány před vedoucí oko, a to z důvodu sledování možné suprese a „vytočení" oka, což je pravděpodobnější u nedominantního oka. Tento jev u žádného probanda nenastal.

Rozsah fúzní vergence byl měřen s korekcí, takže měl proband nasazeny svoje vlastní brýle nebo kontaktní čočky, popř. brýlovou obrubu s jeho korekcí. Vyšetřovaný byl požádán, aby sledoval sloupec písmen o velikosti (0,8-1,0 do dálky, do blízka sloupec písmen na optotypu do blízka) a oznámil, až se mu písmena rozmažou, rozdvojí a následně opět spojí. Hodnota předřazeného prizmatu byla zvyšována postupně v krocích 1 prizmatická dioptrie (pD), 2-20 pD po 2 pD, 25-45 pD po 5 pD pro horizontální fúzní vergenci, pro vertikální 1-6 pD po 1 pD, 8-20 pD po 2 pD a 25-30 pD po 5 pD, rychlostí 1 krok za 2 sekundy. Při dosažení rozdvojení byla prizmatická hodnota navýšena o 1 krok a posléze zase snižována do doby opětovného spojení obrazu. Všechny získané hodnoty byly zaznamenány do tabulky (viz *obrázek č. 8*).

Pořadí testů bylo následující: dálka BI – dálka BO – dálka vertikální – blízko BI – blízko BO. Měření probíhá od testů, které dávají nejmenší hodnoty, tedy BI před BO a měření do dálky před měřením do blízka, a to z důvodu možné prizmatické adaptace především na BO prizma. U vertikálních prizmat adaptace nenastává, proto je přiřazeno k měřením do dálky. Mezi jednotlivými dílčími testy byla přestávka alespoň 15 sekund, aby se vergenční systém mohl zregenerovat. [20]

Přibližně po 15 minutách bylo celé měření provedeno ještě jednou. Během této doby byl pacient požádán, aby se díval převážně do dálky, aby nebyl namáhán vergenční systém. Pokud se druhé měření výrazně lišilo, bylo opět za 15 minut provedeno ještě třetí měření a to pouze u těch testů, u kterých byl významný rozdíl. A to z toho důvodu, aby byla minimalizována chyba vyšetřujícího. Pro vyhodnocení byly použity dvě méně odlišné hodnoty.



Obrázek č. 7 – Prizmatické lišty použité ve studii

Vyšetření FV pomocí prizmatické lišty/foropteru

Datum a čas vyšetření:

	NFV (BI)		PFV (BO)		vertikální FV (BU/BD)
dálka	/	/	/	/	/
blízko	/	/	/	/	/

	NFV (BI)		PFV (BO)		vertikální FV (BU/BD)
dálka	/	/	/	/	/
blízko	/	/	/	/	/

	NFV (BI)		PFV (BO)		vertikální FV (BU/BD)
dálka	/	/	/	/	/
blízko	/	/	/	/	/

Obrázek č. 8 – Část záznamových tabulek (pro zápis hodnot fúzní vergence)

4.1.4 Měření fúzní vergence pomocí foropteru

Při měření na foropteru (zobrazen na *obrázku č. 9*) se hodnota refrakce vyšetřovaného v případě brýlové korekce nastavila do foropteru, v případě korekce kontaktními čočkami se ponechala hodnota refrakce ve foropteru nulová. Dále se

foropter se přizpůsobil danému účastníkovi, tj. upravila se vzájemná výška křesla a foropteru a rozestup zornic (PD).

Postup měření probíhal velmi obdobně jako s prizmatickými lištami. Pořadí testů a opakování bylo totožné. Do dálky proband sledoval stejný sloupec písmen, do blízka sloupec čísel v sadě do blízka u foropteru. Při měření byl vyšetřovaný opět požádán, aby sledoval sloupec písmen/čísel a oznámil, kdy se mu rozmažou, rozdvojí a opět spojí. Celé měření bylo stejně jako u prizmatických lišt za 15 minut zopakováno. Jestliže se druhá hodnota výrazně lišila, byly za dalších 15 minut přeměřeny jen tyto testy. Pro vyhodnocení byly použity pouze dvě méně odlišné hodnoty.

U foropteru bylo prizma rozděleno rovnoměrně před obě oči a bylo zvyšováno postupně v krocích po 1 pD (tj. 0,5 pD před každým okem) rychlostí 1 krok za 1 sekundu. Po dosažení rozdvojení byla hodnota zvýšená o 2 pD / 2 kroky a následně zase snižována do opětovného spojení obrazu.

Obrázek č. 9 – Automatický foropter RT-5100 značky NIDEK použitý ve studii
(vlevo hlava foropteru, vpravo ovládací skříňka)

4.1.5 Statistické vyhodnocení

Pokud nenastal bod rozmazání, ať už u měření prizmatickými lištami nebo foropterem, byl tento bod pro účely statistického vyhodnocování roven bodu rozdvojení. Pokud nenastal bod rozdvojení, byly k maximální dosažitelné hodnotě přičteny 2 pD, tj. u prizmatické lišty (45+2) pD a u foropteru (40+2) pD. Hodnota bodu spojení byla určena jako rovna bodu rozdvojení. Tato metodika je shodná s postupem použitým ve studii [22].

Nejdříve byla zhodnocena opakovatelnost měření pro každou metodu, a to pomocí Bland-Altmanovy analýzy, kdy byly do grafu zaznamenány hodnoty rozdílu prvního a druhého méně odlišného měření v závislosti na jejich průměru. Metodou korelace byla sledována závislost rozdílu na průměru, kdy statisticky významná hodnota korelačního koeficientu pro soubor o 23 subjektech je $r = 0{,}413$. [23] Míra opakovatelnosti pak byla hodnocena pomocí šířky 95% konfidenčního intervalu.

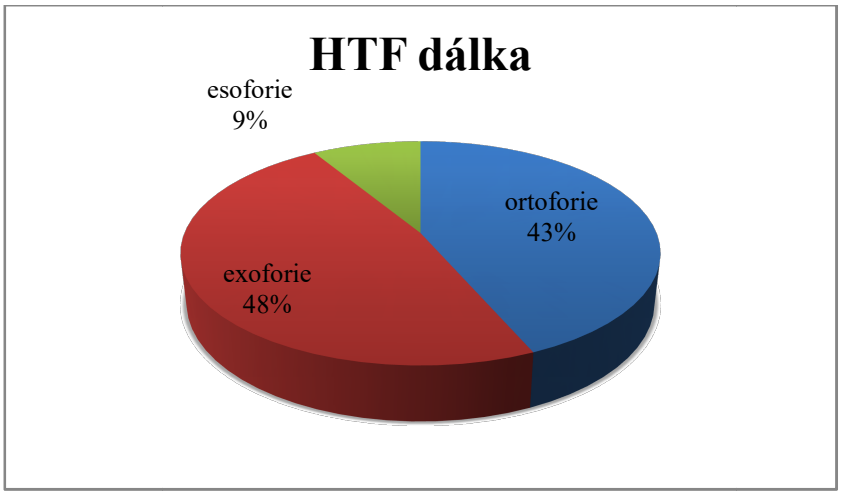
Ke srovnání průměrných hodnot stejného testu, měřeného dvěma metodami, byl použit párový Studentův t-test střední hodnoty na hladině významnosti $P = 0{,}05$, pomocí kterého jsme zjistili, zda naměřené rozdíly jsou nebo naopak nejsou statisticky významné. Následně byla použita Bland-Altmanova analýza, pomocí které jsou do grafu zaznamenány hodnoty rozdílu mezi metodami v závislosti na jejich průměru, a pomocí korelačního koeficientu byla sledována jejich případná závislost. Srovnatelnost obou metod pak byla hodnocena jednak podle průměrného rozdílu, jednak podle šířky 95% konfidenčního intervalu.

4.2 Výsledky

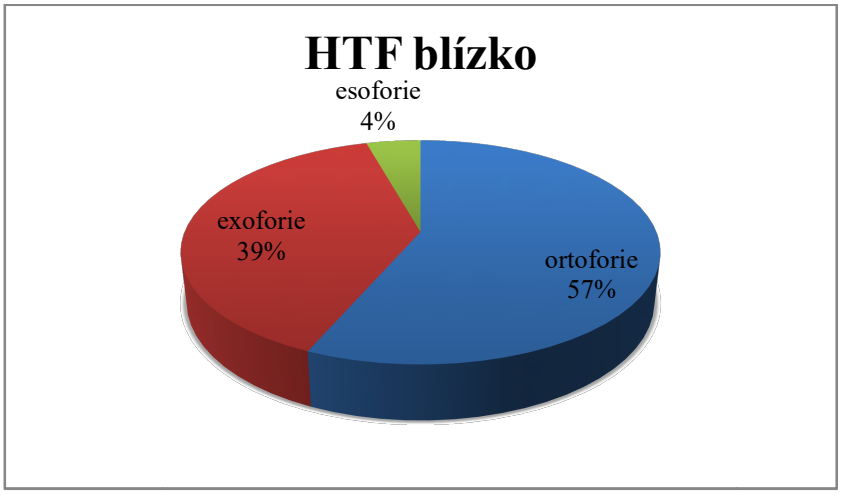
Průměrná heteroforie do dálky byla -0,5 pD (tzn. směrem do exoforie) se směrodatnou odchylkou 1,1 pD. Naměřené hodnoty heteroforie do dálky se pohybovaly v rozsahu -4 až 2 pD, což je přesně v rozsahu normálních hodnot. Průměrná heteroforie do blízka byla -1,1 pD (tzn. směrem do exoforie) se směrodatnou odchylkou 2,2 pD. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozsahu -9 až 0,5 pD, což mírně přesahuje rozsah normálních hodnot. Srovnání naměřených průměrných hodnot s normálními hodnotami je v *tabulce č. 6*. Rozdělení probandů podle směru heteroforie do dálky a do blízka je znázorněno v *grafech č. 1* a *2*.

	Průměr	**Rozsah**	**Normální hodnoty**
HTF dálka	-0,5 pD ± 1,1 pD	4 XO – 2 SO	4 XO – 2 SO
HTF blízko	-1,1 pD ± 2,2 pD	9 XO – 0,5 SO	6 XO – orto

Tabulka č. 6 – Průměrné naměřené hodnoty, jejich rozsah a normální hodnoty



Graf č. 1 – Rozložení naměřené heteroforie do dálky



Graf č. 2 – Rozložení naměřené heteroforie do blízka

Hodnota asociační fórie do dálky byla u jednoho probanda 0,5 pD směrem do esoforie, u ostatních 0 pD, hodnota asociační fórie do blízka byla u jednoho probanda 1 pD směrem do exoforie, u ostatních 0 pD.

Hodnota stereopse do dálky byla u všech probandů menší nebo rovna 1' (použitý test podrobnější měření neumožňoval). Průměrná stereopse do blízka byla 22,3" se směrodatnou odchylkou 11,3". Rozsah stereopse do blízka byl od 60" do 12,5", což je v rámci normálních hodnot.

4.2.1 Opakovatelnost měření rozsahu fúzní vergence pomocí prizmatických lišt

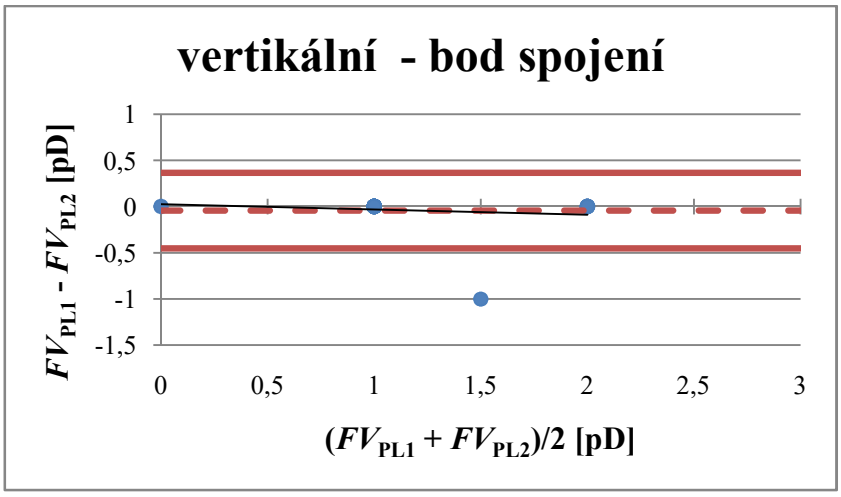
Při srovnání naměřených hodnot z prvního a druhého měření fúzní vergence měřené pomocí prizmatické lišty byl použit párový t-test na hladině významnosti 5 % (P = 0,05) s hypotézou, že průměrné hodnoty prvního i druhého měření si jsou rovny. Statisticky významný rozdíl mezi měřeními (tj. $P < 0,05$) byl zjištěn u BO testu do dálky, a to u rozdvojení (P = 0,0005) a spojení (P = 0,02). U ostatních testů byly statisticky nevýznamné. V obou případech, kdy nastal statisticky významný rozdíl, byla jeho hodnota záporná, což znamená, že druhé měření dalo vyšší hodnoty než měření první. Tento jev může být způsoben lepším seznámením s testem a s procesem testování při druhém měření.

Pomocí Bland-Altmanovy analýzy byl zjištěn nejmenší průměrný rozdíl, který byl roven nule, u rozdvojení vertikálního testu, kde byl také nulový rozptyl (tedy druhé měření bylo totožné s prvním u všech probandů), a u rozmazání BI testu do blízka, kde průměrný rozdíl byl rovněž roven nule, ale rozptyl už nulový nebyl. Největší průměrný rozdíl nastal u rozdvojení a spojení BO testu do dálky. Nejmenší rozptyl, resp. směrodatná odchylka (SD) od průměrné hodnoty byla u rozdvojení vertikálního testu (SD = 0 pD). Nejmenší nenulový rozptyl hodnot nastal u spojení vertikálního testu. Naopak největší rozptyly nastaly u rozmazání (SD = 3,7 pD) a rozdvojení (SD = 3,3 pD) BO testu do blízka. Korelační koeficient nenabyl u žádného sledovaného parametru statisticky významné hodnoty, tj. rozdíl nezávisí na velikosti měřené hodnoty.

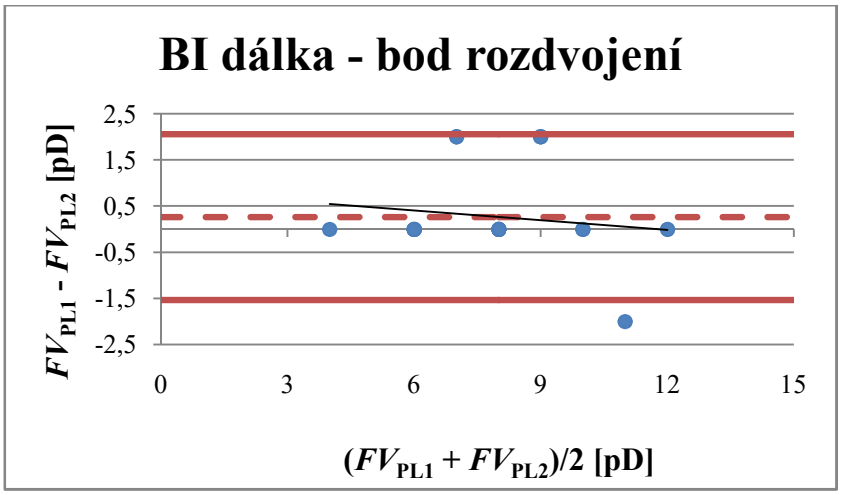
Všechny výsledky jsou shrnuty v *tabulce č. 7*, kde jsou označeny hvězdičkou statisticky významné rozdíly mezi měřeními. Na *grafech č. 3 – 14* jsou zobrazeny grafy opakovatelnosti měření jednotlivých testů pomocí prizmatických lišt, kde $\boldsymbol{FV_{PL1}}$, $\boldsymbol{FV_{PL2}}$ jsou hodnoty prvního a druhého měření pomocí prizmatických lišt, **červené plné čáry** jsou horní a dolní mez 95% konfidenčního intervalu, **červená přerušovaná čára** je průměrný rozdíl, **černá plná čára** je regresní přímka. V grafech není zobrazena opakovatelnost měření rozdvojení vertikálního testu, protože byla 100%.

		Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti – prizmatické lišty				
		Průměrný rozdíl [pD]	Směrodatná odchylka [pD]	Dolní a horní mez 95% konfidenčního intervalu [pD]		Korelační koeficient r
BI dálka	rozdvojení	0,3	0,9	-1,5	2,1	-0,15
	spojení	0,09	0,7	-1,4	1,5	-0,07
BO dálka	rozmazání	-0,04	2,3	-4,6	4,5	-0,07
	rozdvojení	-2,0 *	2,4	-6,6	2,6	-0,11
	spojení	-1,1 *	2,2	-5,3	3,1	0,001
vertikální	rozdvojení	0	0	0	0	----
	spojení	-0,04	0,2	-0,5	0,4	-0,13
BI blízko	rozmazání	0	1,5	-2,9	2,9	0,13
	rozdvojení	-0,1	1,5	-3,0	2,8	0,37
	spojení	-0,3	1,4	-3,0	2,5	-0,06
BO blízko	rozmazání	-0,5	3,7	-7,6	6,7	0,29
	rozdvojení	-0,04	3,3	-6,4	6,3	-0,25
	spojení	-0,5	2,3	-4,9	4,0	0,32

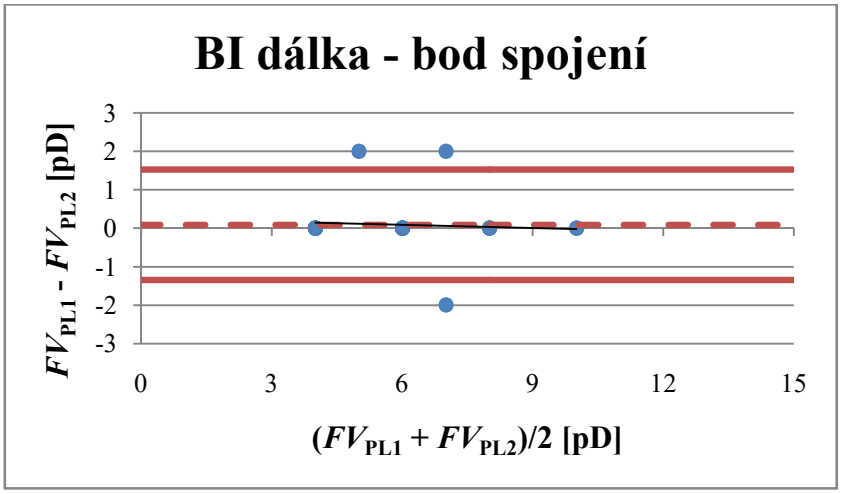
Tabulka č. 7 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy opakovatelnosti měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt



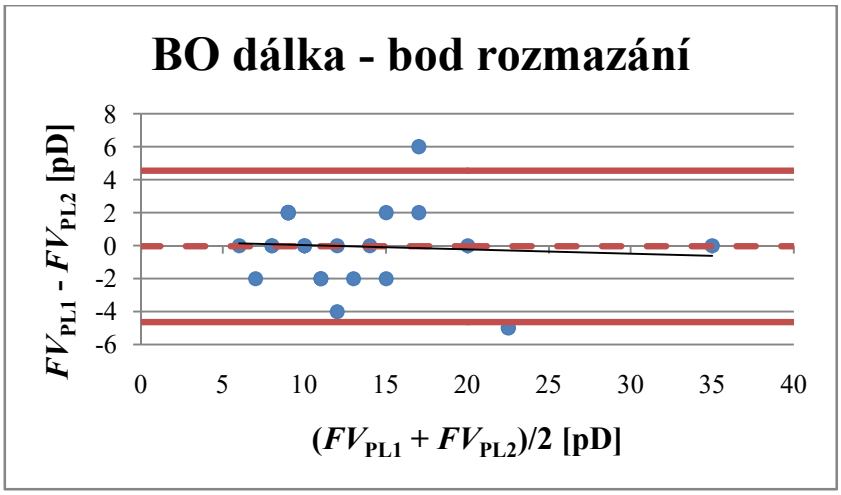
Graf č. 3 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u vertikálního testu pomocí prizmatické lišty



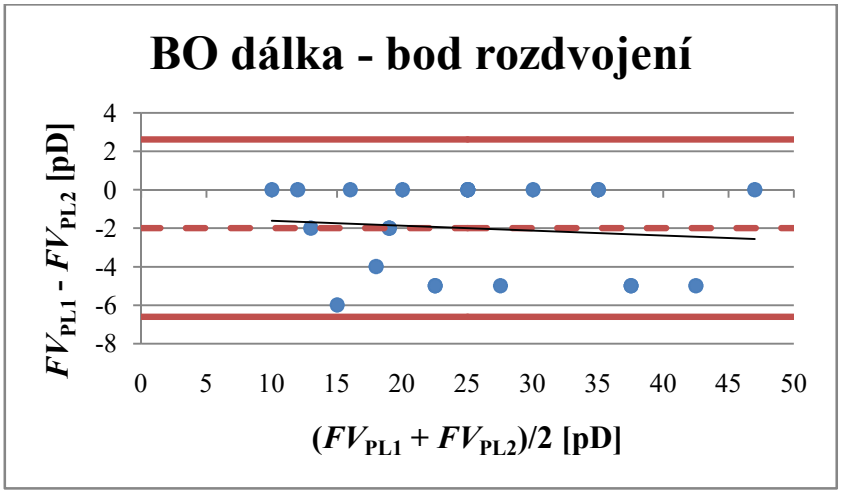
Graf č. 4 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BI do dálky pomocí prizmatické lišty



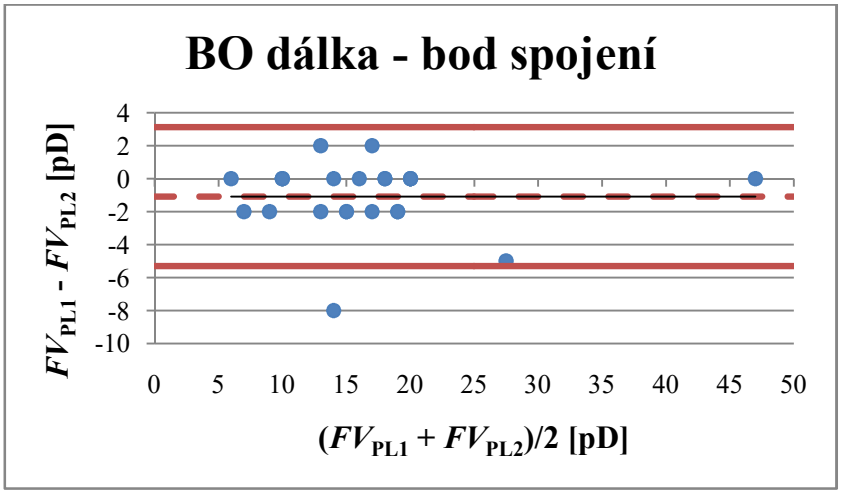
Graf č. 5 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BI do dálky pomocí prizmatické lišty



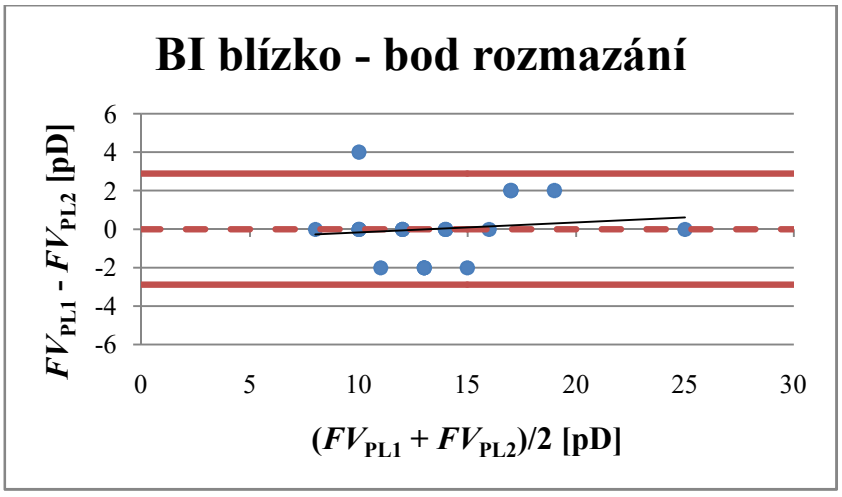
Graf č. 6 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozmazání u testu BO do dálky pomocí prizmatické lišty



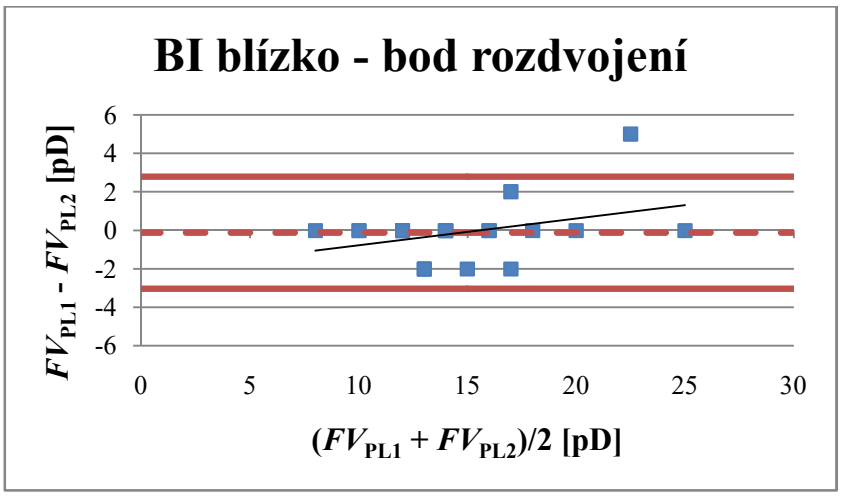
Graf č. 7 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BO do dálky pomocí prizmatické lišty



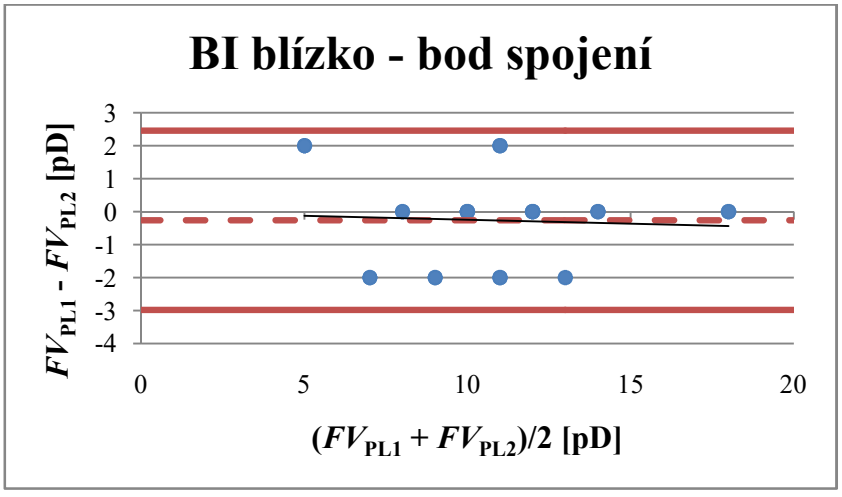
Graf č. 8 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BO do dálky pomocí prizmatické lišty



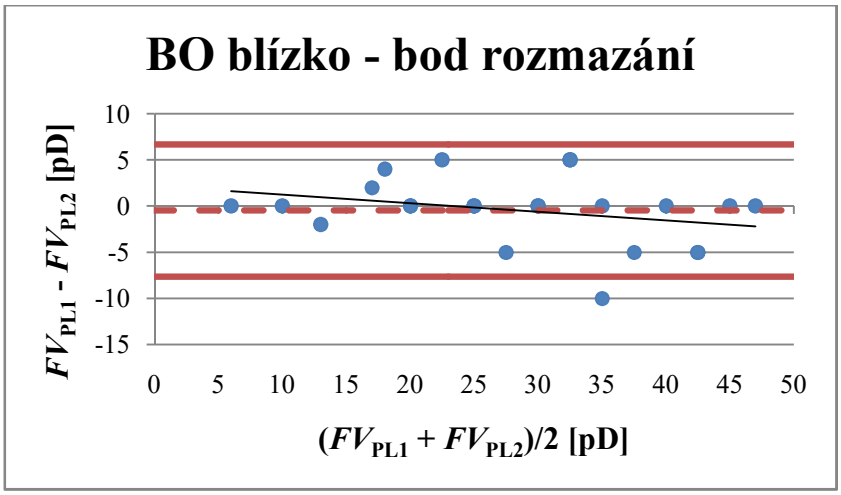
Graf č. 9 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozmazání u testu BI do blízka pomocí prizmatické lišty



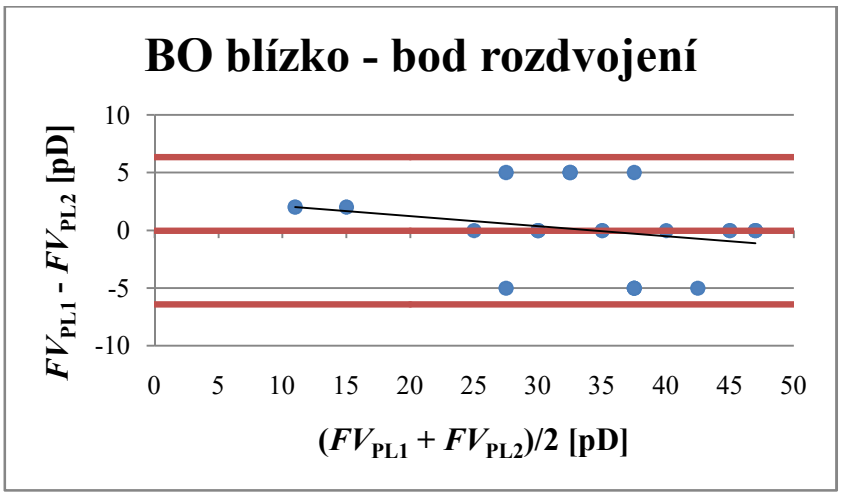
Graf č. 10 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BI do blízka pomocí prizmatické lišty



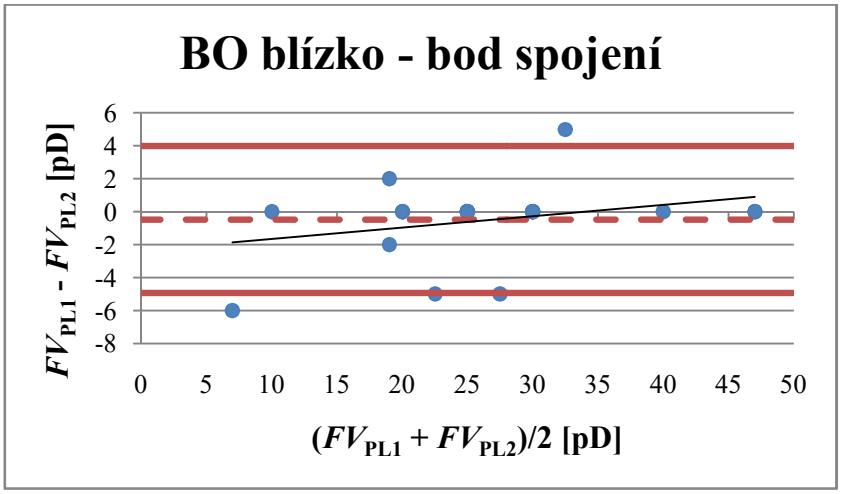
Graf č. 11 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BI do blízka pomocí prizmatické lišty



Graf č. 12 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozmazání u testu BO do blízka pomocí prizmatické lišty



Graf č. 13 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BO do blízka pomocí prizmatické lišty



Graf č. 14 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BO do blízka pomocí prizmatické lišty

4.2.2 Opakovatelnost měření rozsahu fúzní vergence pomocí foropteru

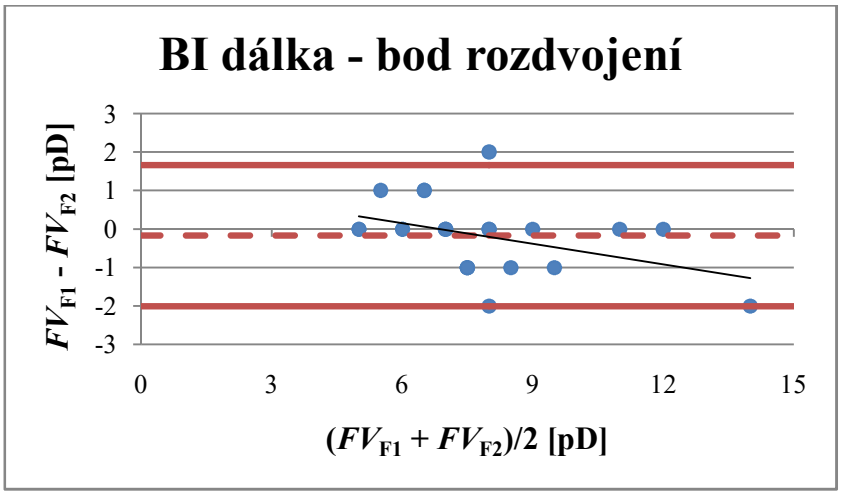
Při srovnání naměřených hodnot z prvního a druhého měření fúzní vergence měřené pomocí foropteru byl použit párový t-test na hladině významnosti 5 % (P = 0,05) s hypotézou, že průměrné hodnoty prvního i druhého si jsou rovny. Statisticky významný rozdíl mezi měřeními (tj. $P < 0,05$) byl zjištěn u BO testu do dálky, a to u rozmazání (P = 0,003). Tento rozdíl byl záporný, tedy při druhém měření byly naměřeny vyšší hodnoty. Důvod může být stejný jako při měření prizmatickými lištami, tedy lepší seznámení probanda s testem. U ostatních testů byly statisticky nevýznamné.

Pomocí Bland-Altmanovy analýzy byl zjištěn nejmenší průměrný rozdíl a zároveň nejmenší rozptyl u rozdvojení a spojení vertikálního testu, a největší průměrný rozdíl u rozmazání BO testu do dálky. Největší rozptyl dat (SD = 3,2 pD) byl u spojení BO testu do dálky i do blízka. Korelační koeficient nabyl statisticky významné hodnoty u spojení vertikálního testu (r = 0,59 pD), tj. rozdíl je tím větší, čím větší je velikost měřené hodnoty. U ostatních testů nenabyl statisticky významných hodnot.

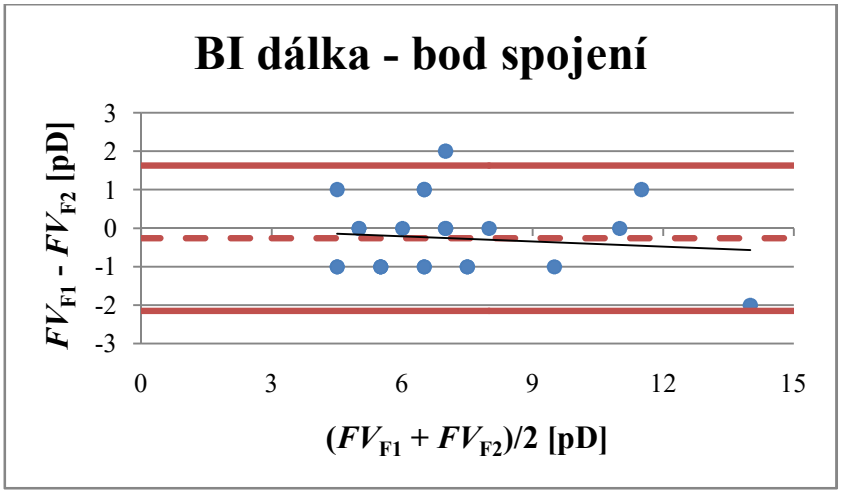
		Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti - foropter				
		Průměrný rozdíl [pD]	Směrodatná odchylka [pD]	Dolní a horní mez 95% konfidenčního intervalu [pD]		Korelační koeficient r
BI dálka	rozdvojení	-0,2	0,9	-2,0	1,7	-0,42
	spojení	-0,3	1,0	-2,1	1,6	0,11
BO dálka	rozmazání	-1,7 *	2,5	-6,7	3,2	0,29
	rozdvojení	-0,7	2,1	-4,9	3,4	0,35
	spojení	-0,8	3,2	-7,0	5,4	0,009
vertikální	rozdvojení	-0,04	0,21	-0,5	0,4	-0,09
	spojení	0,1	0,5	-0,8	1,0	0,59 *
BI blízko	rozmazání	-0,1	1,6	-3,2	3,0	-0,33
	rozdvojení	-0,5	1,3	-3,0	2,1	-0,35
	spojení	0,8	1,0	-1,8	2,2	-0,35
BO blízko	rozmazání	-1,0	2,8	-6,4	4,4	-0,08
	rozdvojení	-0,7	2,2	-5,1	3,6	0,28
	spojení	-0,3	3,2	-6,5	5,9	0,14

Tabulka č. 8 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy opakovatelnosti měření fúzní vergence pomocí foropteru.

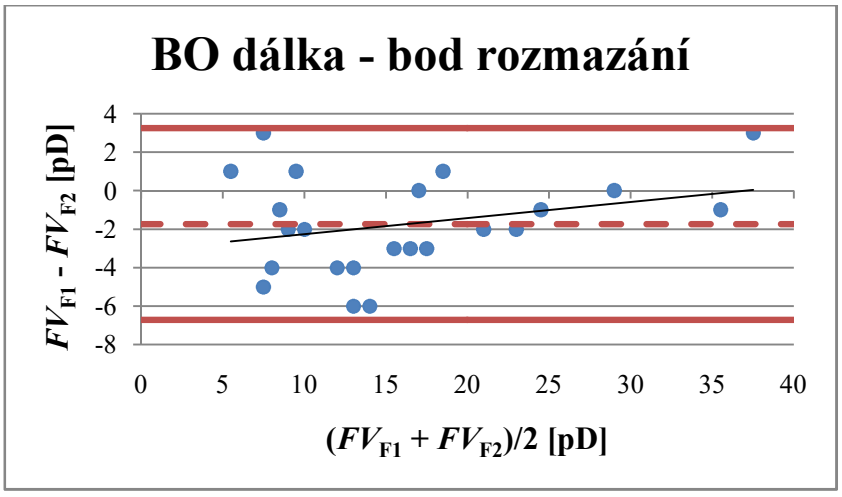
Všechny výsledky jsou shrnuty v *tabulce č. 8*, kde hvězdičkou jsou označeny statisticky významné rozdíly mezi měřeními a korelační koeficienty. V *grafech č. 15 – 27* jsou zobrazeny grafy opakovatelnosti měření jednotlivých testů pomocí foropteru, kde FV_{F1}, FV_{F2} jsou hodnoty prvního a druhého měření pomocí foropteru, **červené plné čáry** jsou horní a dolní mez 95% konfidenčního intervalu, **červená přerušovaná čára** je průměrný rozdíl, **černá plná čára** je regresní přímka.



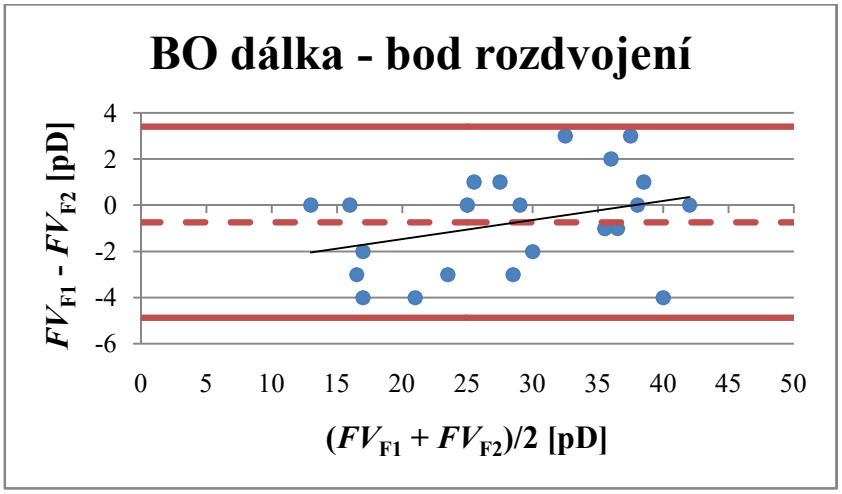
Graf č. 15 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BI do dálky pomocí foropteru



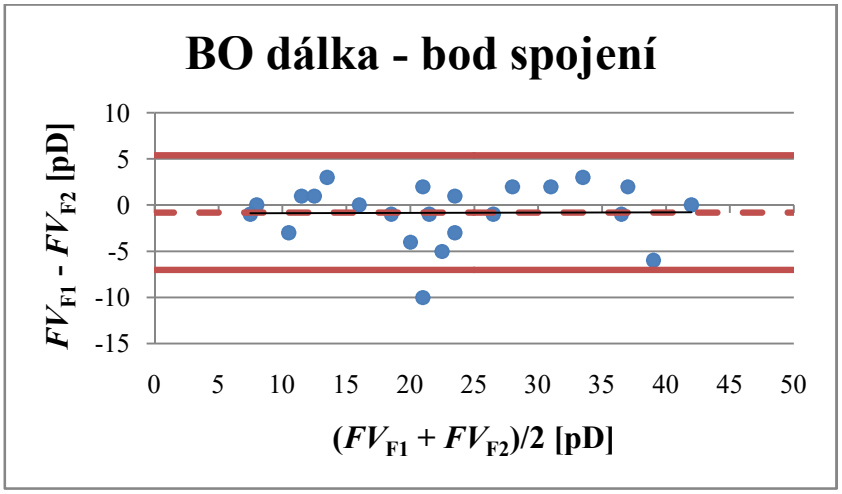
Graf č. 16 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BI do dálky pomocí foropteru



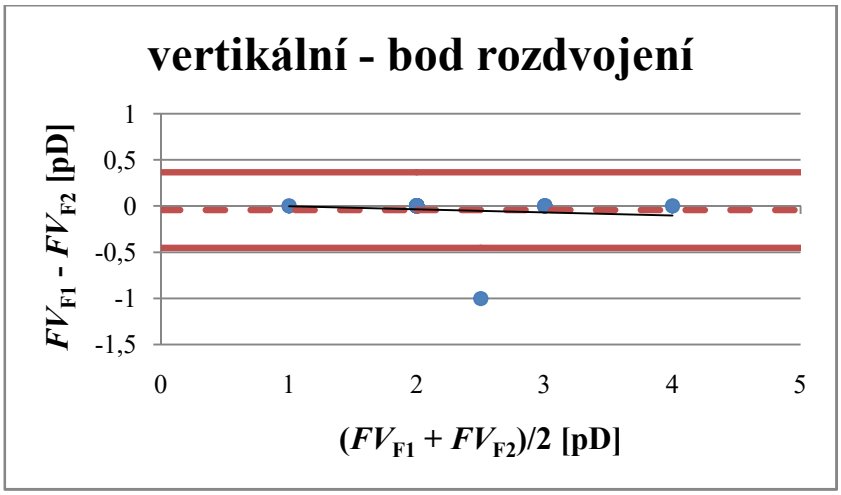
Graf č. 17 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozmazání u testu BO do dálky pomocí foropteru



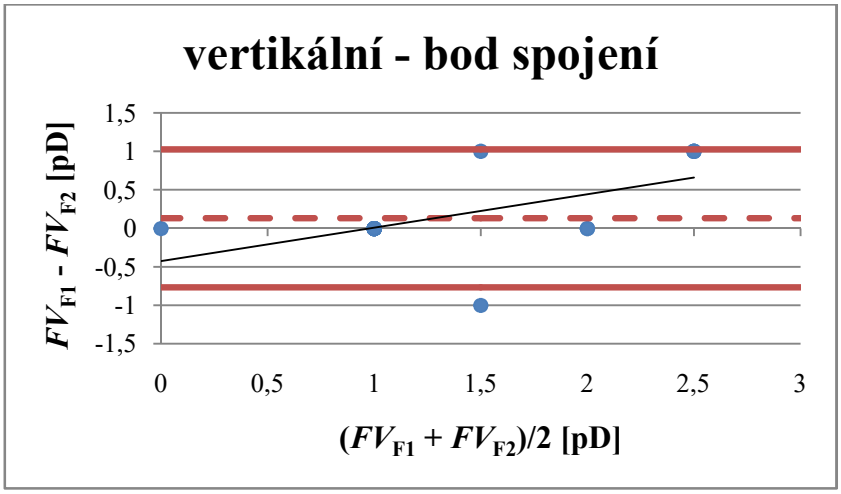
Graf č. 18 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BO do dálky pomocí foropteru



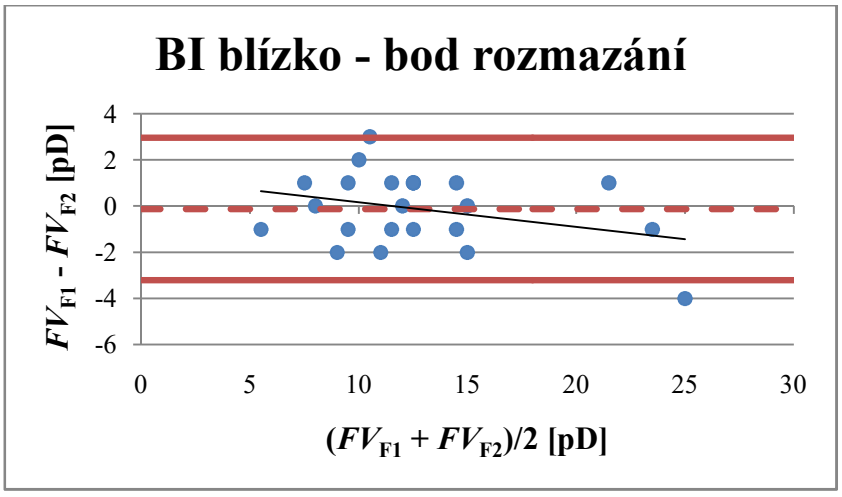
Graf č. 19 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BO do dálky pomocí foropteru



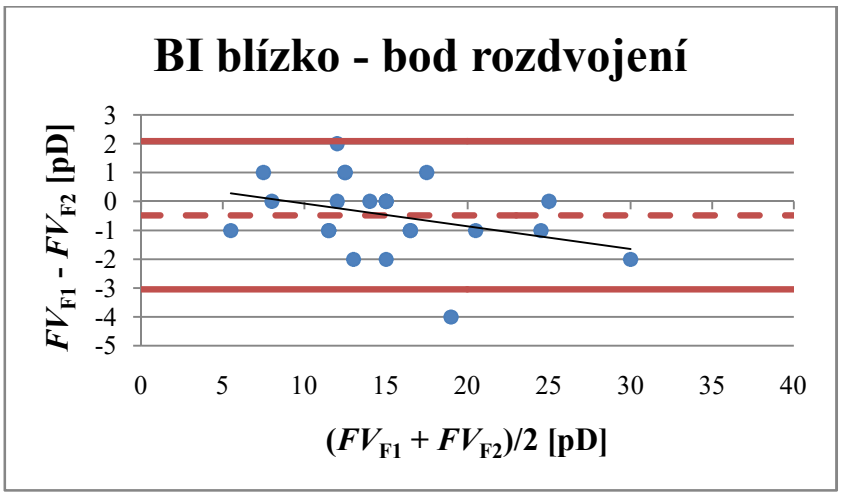
Graf č. 20 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u vertikálního testu pomocí foropteru



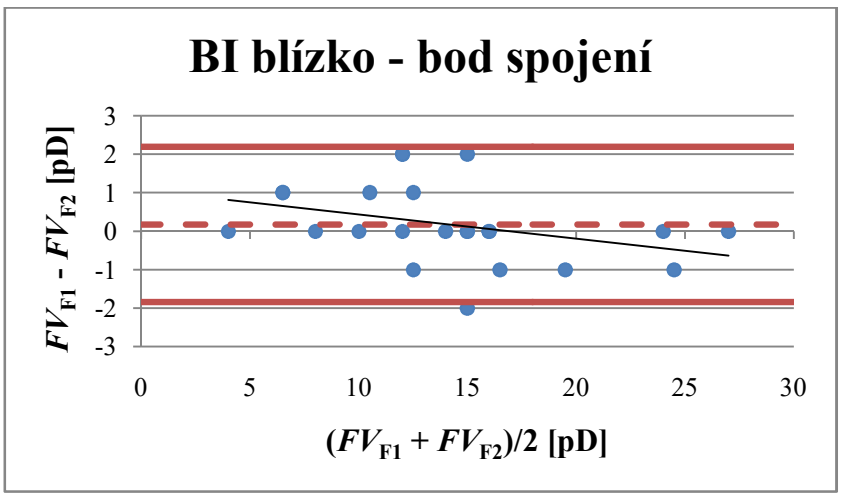
Graf č. 21 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u vertikálního testu pomocí foropteru



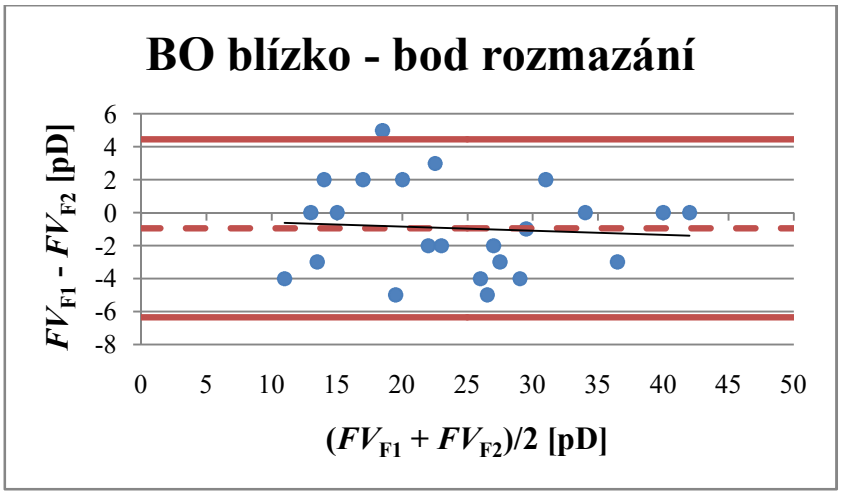
Graf č. 22 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozmazání u testu BI do blízka pomocí foropteru



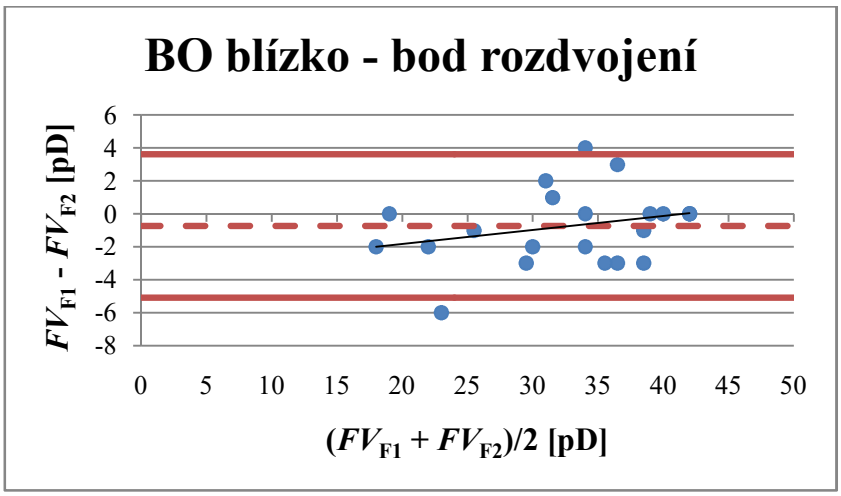
Graf č. 23 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BI do blízka pomocí foropteru



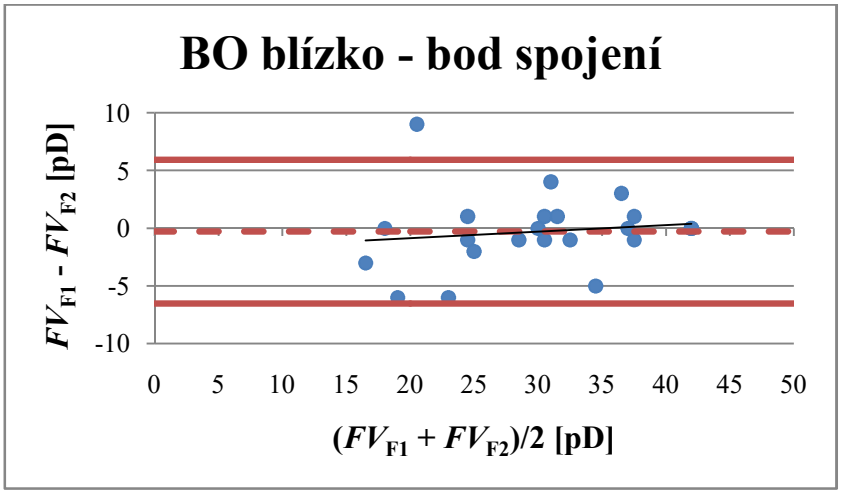
Graf č. 24 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BI do blízka pomocí foropteru



Graf č. 25 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozmazání u testu BO do blízka pomocí foropteru



Graf č. 26 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu rozdvojení u testu BO do blízka pomocí foropteru



Graf č. 27 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření bodu spojení u testu BO do blízka pomocí foropteru

4.2.3 Srovnání měření rozsahu fúzní vergence pomocí prizmatických lišt a foropteru

Pro srovnání dvou metod byly dvě získané hodnoty u každého dílčího testu zprůměrovány (viz *tabulka č. 9*). Dále byly porovnávány tyto průměry, a to párovým t-testem na hladině významnosti 5 % (P = 0,05) s hypotézou, že průměrné hodnoty obou metod si jsou rovny. Statisticky významný rozdíl mezi metodami (tj. $P < 0,05$) byl zjištěn u spojení při testu BI do dálky (P = 0,01), u testu BO do dálky (a to jak u rozmazání, P = 0,02, rozdvojení, P = 0,03, tak u spojení, P = 0,002), a dále u spojení při testu BI do blízka (P = 0,0001). U ostatních (rozdvojení BI do dálky, rozdvojení a spojení u vertikálního testu, rozmazání a rozdvojení BI do blízka, a rozmazání, rozdvojení a spojení BO do blízka) nebyl zjištěn významný rozdíl (P = 0,43; P = 0,33; P = 0,21; P = 0,35; P = 0,46; P = 0,07; P = 0,19; P = 0,10). V případech, kdy nastal významný rozdíl, byl vždy záporný, tj. prizmatická lišta udávala nižší hodnoty než foropter.

Pomocí Bland-Altmanovy analýzy byl zjištěn nejmenší průměrný rozdíl s nejmenším rozptylem dat u rozdvojení a spojení vertikálního testu, a největší průměrný rozdíl u spojení BO testu do dálky a rozmazání BO testu do blízka. Velké rozptyly (SD > 6,2 pD) nastaly u všech měření BO testu, a to jak do dálky tak do blízka. Největší byl u rozmazání BO testu do blízka (SD = 10,5 pD). Korelační koeficient nabyl statisticky významné hodnoty u rozmazání BO testu do dálky (r = -0,43), u BI testu do blízka, a to u rozmazání (r = -0,43), rozdvojení (r = -0,56), i spojení (r = -0,67), tj. rozdíl je tím větší, čím menší je velikost měřené hodnoty. U ostatních testů nenabyl statisticky významných hodnot.

Všechny výsledky jsou shrnuty v *tabulce č. 10*, kde hvězdičkou jsou označeny statisticky významné rozdíly mezi měřeními a korelační koeficienty. Na *grafech č. 28 – 40* jsou zobrazeny grafy porovnávající měření jednotlivých testů pomocí prizmatických lišt versus foropterem, kde $\boldsymbol{FV_{PL}}$ je průměrná hodnota měření pomocí prizmatických lišt, $\boldsymbol{FV_F}$ je průměrná hodnota měření pomocí foropteru, **červené plné čáry** jsou horní a dolní mez 95% konfidenčního intervalu, **červená přerušovaná čára** je průměrný rozdíl, **černá plná čára** je regresní přímka.

Pro lepší interpretaci výsledků jsou v *tabulce č. 11* shrnuty průměrné rozdíly a jejich směrodatné odchylky, a to jak opakovatelnosti měření prizmatickými lištami a foropterem, tak srovnání těchto dvou metod. Z této tabulky můžeme vyčíst, že nejlepší opakovatelnost u obou metod byla u vertikálního testu, a to jak u rozdvojení, tak u spojení. Rovněž srovnání těchto dvou metod je nejlepší. Z testů horizontálních fúzních vergencí (tedy BI a BO) byla nejlepší opakovatelnost měření pomocí prizmatických lišt u spojení a rozdvojení BI testu do dálky, opakovatelnost měření pomocí foropteru u rozdvojení BI testu do dálky. Nejlepší srovnatelnost těchto metod nastala rovněž u rozdvojení BI testu do dálky. Na druhé straně, největší průměrné rozdíly nastaly při zkoumání opakovatelnosti měření pomocí prizmatických lišt u rozdvojení a spojení BO testu do dálky. U opakovatelnosti měření s foropterem byl největší průměrný rozdíl u rozmazání BO testu do dálky a rozmazání BO testu do blízka. Při srovnání těchto metod nastaly největší průměrné rozdíly u spojení BO testu do dálky a rozmazání BO testu do blízka. Jak lze názorně vidět v *tabulce č. 11* horší opakovatelnost jedné metody zhoršuje porovnatelnost obou metod.

Test		**Průměr s prizmatickými lištami [pD]**	**Průměr s foropterem [pD]**
BI dálka	rozdvojení	8,0 ± 2,0	7,8 ± 2,2
	spojení	6,0 ± 1,9	7,0 ± 2,4
BO dálka	rozmazání	13 ± 6	16 ± 8
	rozdvojení	25 ± 10	29 ± 9
	spojení	17 ± 8	23 ± 10
vertikální	rozdvojení	2,1 ± 0,5	2,2 ± 0,6
	spojení	1,2 ± 0,5	1,3 ± 0,6
BI blízko	rozmazání	13 ± 4	13 ± 5
	rozdvojení	15 ± 4	15 ± 6
	spojení	11 ± 3	14 ± 6
BO blízko	rozmazání	28 ± 11	24 ± 9
	rozdvojení	35 ± 10	33 ± 7
	spojení	27 ± 11	30 ± 8

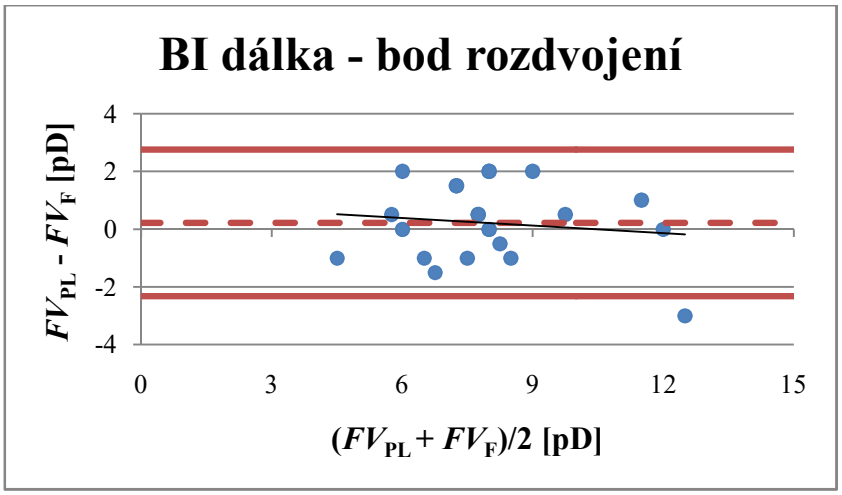
Tabulka č. 9 – Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých testů obou metod

		Bland-Altmanova analýza prizmatické lišty versus foropter				
		Průměrný rozdíl [pD]	Směrodatná odchylka [pD]	Dolní a horní mez 95% konfidenčního intervalu [pD]		Korelační koeficient r
BI dálka	rozdvojení	0,2	1,3	-2,3	2,8	-0,14
	spojení	-1,0 *	1,7	-4,4	2,4	-0,36
BO dálka	rozmazání	-3,2 *	6,2	-15,3	8,9	-0,43 *
	rozdvojení	-3,6 *	7,5	-18,3	11,2	0,17
	spojení	-6,1 *	8,3	-22,3	10,1	-0,25
vertikální	rozdvojení	-0,11	0,52	-1,13	0,91	-0,31
	spojení	-0,09	0,33	-0,72	0,55	-0,40
BI blízko	rozmazání	0,5	2,7	-4,8	5,9	-0,43 *
	rozdvojení	-0,5	3,3	-7,0	5,9	-0,56 *
	spojení	-3,4 *	3,7	-10,6	3,8	-0,67 *
BO blízko	rozmazání	4,2	10,5	-16,5	24,8	0,30
	rozdvojení	1,8	6,4	-10,7	14,3	0,39
	spojení	-3,1	8,7	-20,1	13,9	0,35

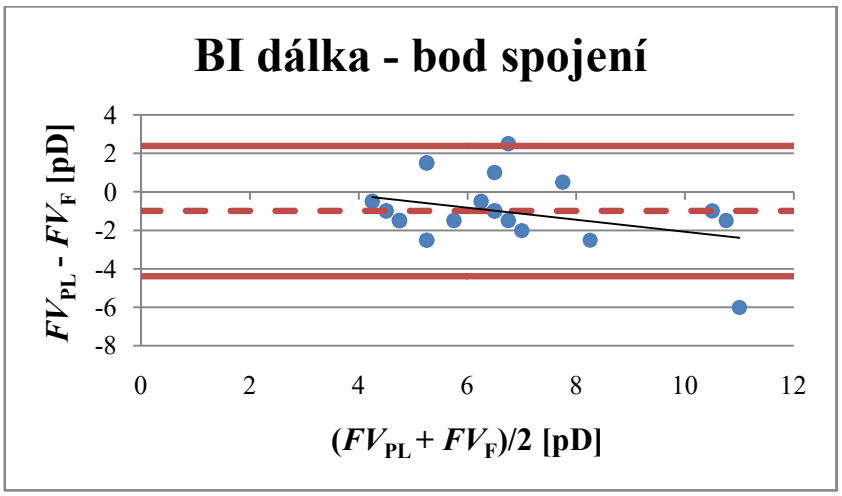
Tabulka č. 10 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy srovnání měření fúzní vergence stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem

		Průměrný rozdíl ± směrodatná odchylka		
		Opakovatelnost měření prizmatickými lištami	Opakovatelnost měření foropterem	Srovnání obou metod (p. lišty – foropter)
BI dálka	rozdvojení	0,3 ± 0,9	-0,2 ± 0,9	0,2 ± 1,3
	spojení	0,09 ± 0,7	-0,3 ± 1,0	-1,0 ± 1,7 *
BO dálka	rozmazání	-0,04 ± 2,3	**-1,7 ± 2,5 ***	**-3,2 ± 6,2 ***
	rozdvojení	**-2,0 ± 2,4 ***	-0,7 ± 2,1	**-3,6 ±7,5 ***
	spojení	-1,1 ± 2,2 *	**-0,8 ± 3,2**	**-6,1 ± 8,3 ***
vertikální	rozdvojení	0 ± 0	-0,04 ± 0,21	-0,11 ± 0,52
	spojení	-0,04 ± 0,2	0,1 ±0,5	-0,09 ± 0,33
BI blízko	rozmazání	0 ± 1,5	-0,1 ± 1,6	0,5 ± 2,7
	rozdvojení	-0,1 ± 1,5	-0,5 ± 1,3	-0,5 ± 3,3
	spojení	-0,3 ± 1,4	0,8 ± 1,0	-3,4 ± 3,7 *
BO blízko	rozmazání	**-0,5 ± 3,7**	**-1,0 ± 2,8**	**4,2 ± 10,5**
	rozdvojení	**-0,04 ± 3,3**	-0,7 ± 2,2	**1,8 ± 6,4**
	spojení	-0,5 ± 2,3	**-0,3 ± 3,2**	**-3,1 ± 8,7**

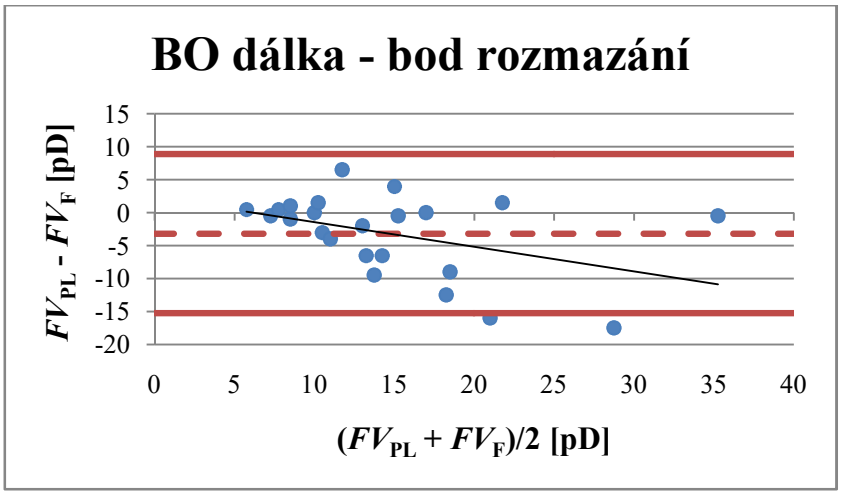
Tabulka č. 11 – Souhrn průměrných rozdílů a jejich směrodatných odchylek Bland-Altmanovy analýzy opakovatelnosti jednotlivých metod a jejich srovnání,
žluté podbarvení – nejmenší průměrné rozdíly s nejmenším rozptylem dat,
červené podbarvení – největší průměrné rozdíly,
tučné zvýraznění – největší rozptyly dat,
** – testy, u kterých vyšla statisticky významná P hodnota t-testu.*



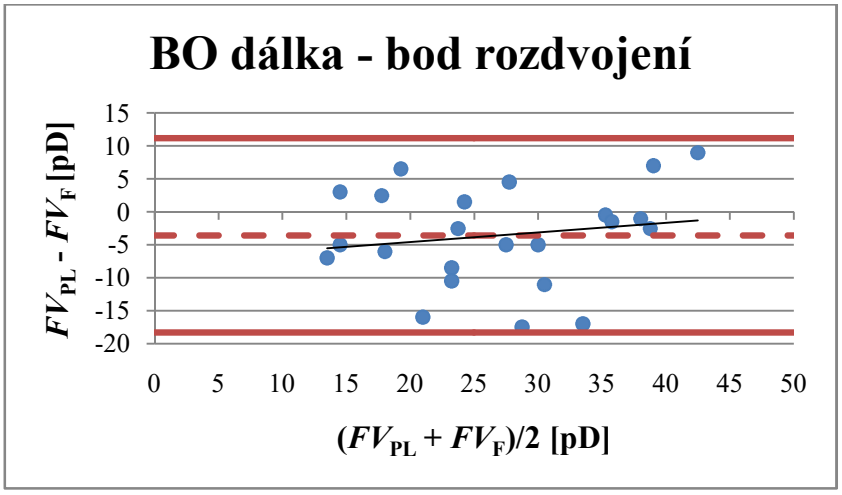
Graf č. 28 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozdvojení u testu BI do dálky stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



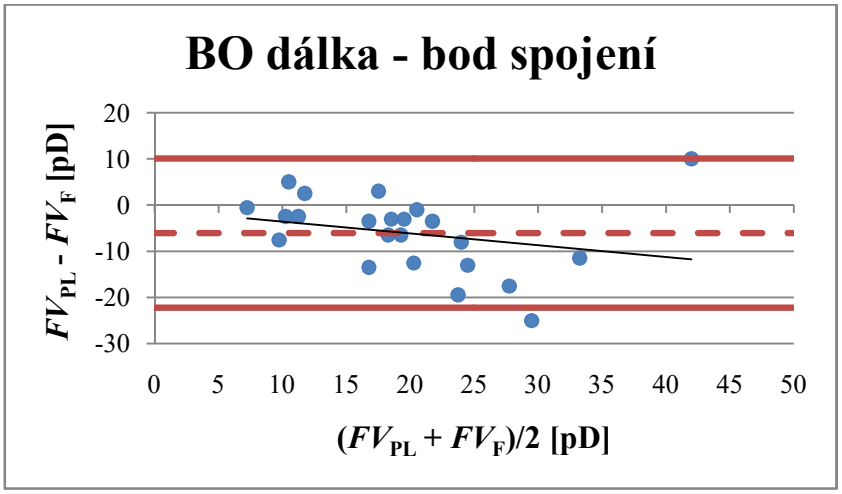
Graf č. 29 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu spojení u testu BI do dálky stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



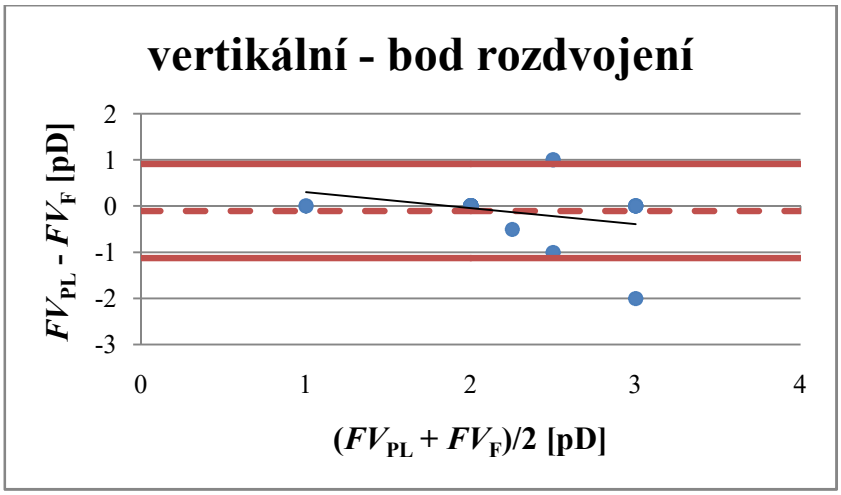
Graf č. 30 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozmazání u testu BO do dálky stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



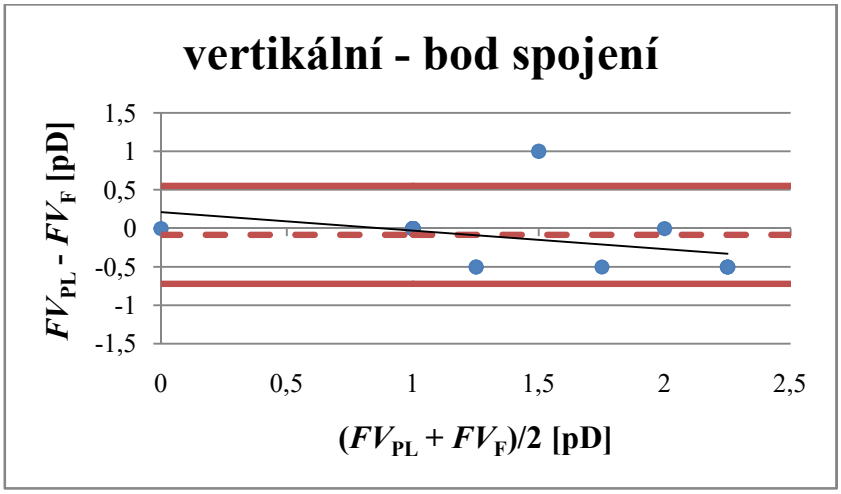
Graf č. 31 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozdvojení u testu BO do dálky stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



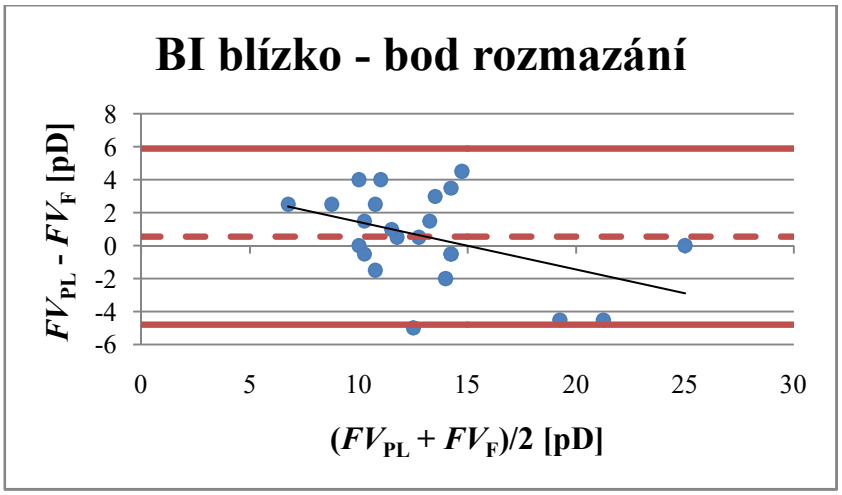
Graf č. 32 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu spojení u testu BO do dálky stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



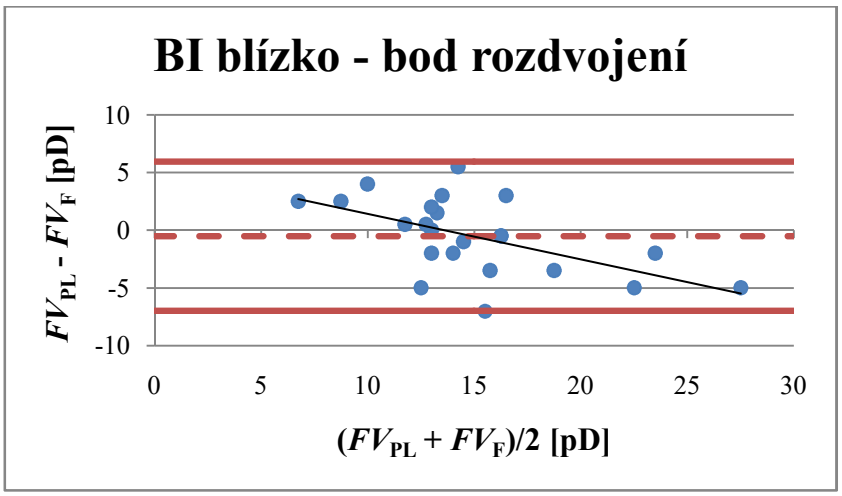
Graf č. 33 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozdvojení u vertikálního testu stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



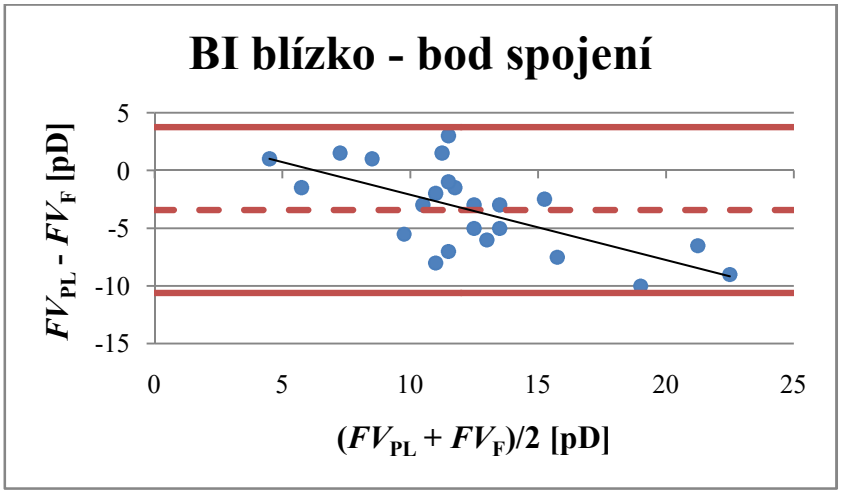
Graf č. 34 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu spojení u vertikálního testu stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



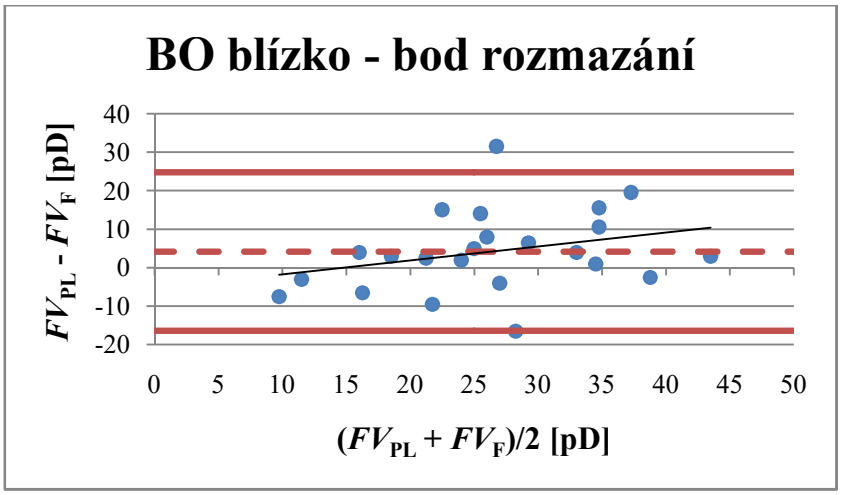
Graf č. 35 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozmazání u testu BI do blízka stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



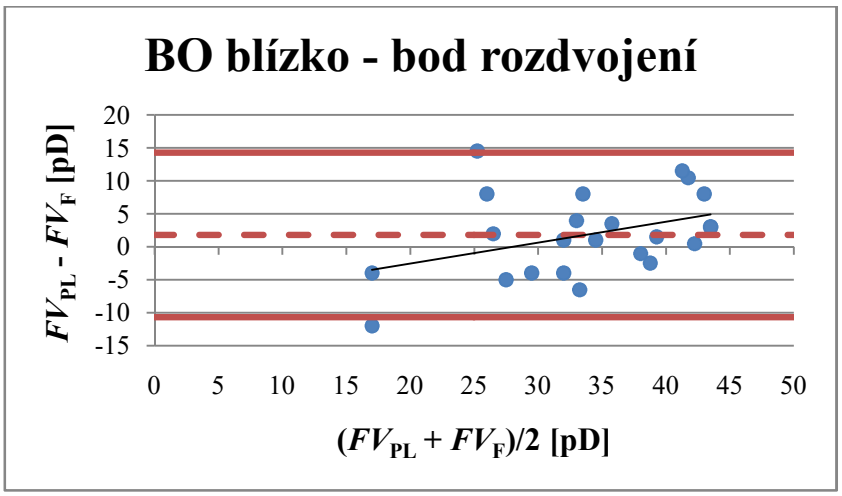
Graf č. 36 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozdvojení u testu BI do blízka stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



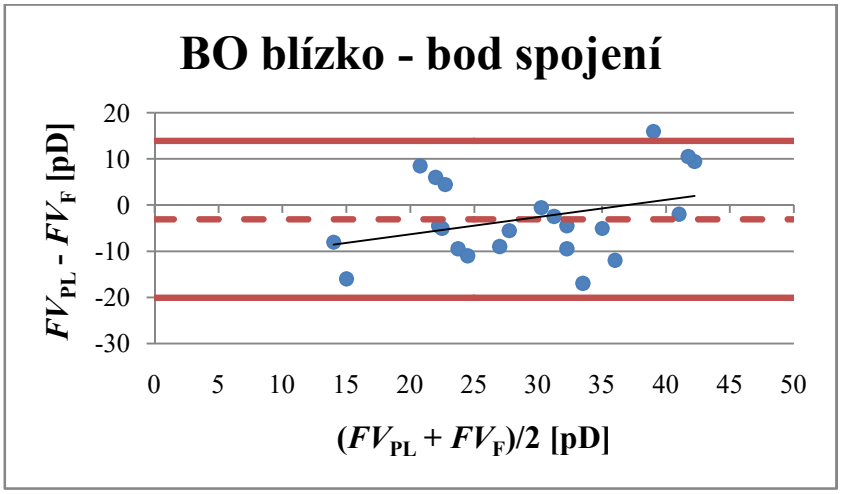
Graf č. 37 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu spojení u testu BI do blízka stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



Graf č. 38 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozmazání u testu BO do blízka stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



Graf č. 39 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu rozdvojení u testu BO do blízka stanoveného prizmatickou lištou vs. foropterem



Graf č. 40 - Bland-Altmanova analýza srovnání nálezu bodu spojení u testu BO do blízka stanoveného prizmatickou lištou vs. Foropterem

4.3 Diskuze

V experimentální části této práce byla zjišťována opakovatelnost měření fúzní vergence pomocí prizmatických lišt a pomocí foropteru a shodnost těchto dvou metod.

Opakovatelnost

Nejlepší opakovatelnost měření byla u vertikální fúzní vergence, a to při měření prizmatickými lištami i foropterem. U horizontální fúzní vergence byla nejlepší opakovatelnost při měření prizmatickými lištami u BI testu do dálky (u spojení i rozdvojení), při měření foropterem u rozdvojení BI testu do dálky. Obecně se dá shrnout, že opakovatelnost byla lepší u měření negativní fúzní vergence (BI testy) než u měření pozitivní fúzní vergence (BO testy). Toto platí o opakovatelnosti měření u prizmatických lišt i foropteru, do dálky i do blízka. Tyto výsledky jsou shodné s předpokladem stanoveným na začátku studie (viz *strana 30*). V předchozích studiích [20, 21], ze kterých tato práce vychází, byla opakovatelnost metod zkoumána z dlouhodobějšího hlediska, tedy během měření, která probíhala ve více dnech, kdežto v této práci byla zjišťována krátkodobá opakovatelnost – tedy během jednoho měření ve stejný den. V porovnání se studií [20] je krátkodobá opakovatelnost lepší než ta dlouhodobá, kdy směrodatné odchylky průměrných rozdílů v experimentální části této práce (pro porovnání bereme v úvahu jenom horizontální fúzní vergenci) spadaly do intervalu 0,7-3,7 pD (0,7-3,7 pD pro prizmatické lišty, 0,9-3,2 pD pro foropter), kdežto v studii [20] to byl interval 1,8-9,1 pD. Ve studii [21] byl rozsah směrodatných odchylek pro prizmatické lišty 1,5-5,7 pD, pro foropter 2,3-3,9 pD. Dlouhodobá opakovatelnost může být, kvůli delšímu časovému intervalu mezi měřeními, ovlivněna více faktory než krátkodobá opakovatelnost, např. prodělanou nemocí mezi měřeními, apod.

Statistická významnost rozdílu mezi měřeními při sledování opakovatelnosti měření fúzní vergence a to jak pomocí prizmatických lišt (BO dálka – rozdvojení, spojení), tak pomocí foropteru (BO dálka – rozmazání) není klinicky významná, a může být způsobena lepším seznámením s testem a jeho průběhem při druhém měření. Průměrný rozdíl byl u těchto hodnot vždy záporný, tj. druhé měření vykazovalo průměrně vyšší hodnoty než první měření. Korelační koeficient, který zkoumá, zda

velikost průměrného rozdílu závisí na velikosti měřených hodnot, nabyl statisticky významné hodnoty pouze u spojení vertikálního testu při měření foropterem. Důvodem je odchýlení jedné naměřené hodnoty, proto tento korelační koeficient není klinicky významný.

Srovnání metod

Nejlepší shoda obou metod, tedy nejmenší průměrný rozdíl, byla zjištěna u měření vertikální fúzní vergence. Tento závěr se dal předpokládat, ale žádná předchozí studie [20, 21, 22], ze kterých tato práce vycházela, vertikální fúzní vergence nehodnotila, proto v tomto směru nebyl určen žádný předpoklad. U horizontální fúzní vergence byla nejlepší shoda obou metod při měření rozdvojení u BI testu do dálky. Naopak nejhorší shoda byla při měření spojení u BO testu do dálky a rozmazání BO testu do blízka. Statisticky významné rozdíly mezi měřeními nastaly u spojení BI testu do dálky, u BO testu do dálky (u rozmazání, rozdvojení i spojení) a u spojení BI testu do blízka. Průměrný rozdíl u těchto testů byl vždy záporný, což znamená, že při měření foropterem tyto testy dávaly vyšší hodnoty než při měření prizmatickými lištami. Tento nález je opačný než jsme předpokládali (viz *strana 30*). Náš předpoklad vycházel ze studie [21], která dospěla k závěru, že měření ve volném prostoru, tedy pomocí prizmatických lišt, dávala vyšší hodnoty než měření pomocí foropteru. Jako důvod uvedli autoři větší zorné pole (160-170° s prizmatickými lištami oproti 20-30° u foropteru), a tím lepší periferní fúzi. V jiné studii [20] nastaly takovéto výsledky: pro rozmazání a rozdvojení vykazovala větší hodnoty měření pomocí foropteru, kdežto hodnoty spojení byly vyšší při měření pomocí prizmatických lišt. Důvodem vyšších hodnot nálezů rozmazání a rozdvojení u foropteru je podle autorů postupné binokulární zvyšování prizmat u foropteru, kdežto u prizmatických lišt je vergence asymetrická a kroky moc razantní, na což může vergenční systém reagovat obtížněji. Důvodem vyšších hodnot nálezů spojení u prizmatických lišt podle autorů naopak může být již v předchozí studii zmíněné periferní vidění, které napomáhá k rychlejšímu návratu jednoduchého binokulárního vidění.

V této studii nebyl zjištěn jednoznačný posun mezi oběma metodami, ale výsledky naznačují (všechny statisticky významné rozdíly byly záporné), že měření na foropteru může vykazovat vyšší hodnoty než měření pomocí prizmatické lišty. Největší takovýto posun byl zjištěn u BO do dálky. Naopak nejmenší rozdíly byly u vertikální fúzní vergence. Studium rozdílnosti obou metod, především při měření horizontální fúzní vergence, je též výrazně ovlivněno jejich horší opakovatelností, zejména u BO.

ZÁVĚR

Práce je zaměřena na problematiku fúzní vergence a jejího měření. Zahrnuje jak teoretickou rešerši tohoto jevu, tak též experimentální studii. V teoretické části jsou shrnuty dosavadní poznatky o fúzní vergenci a o měření jejího rozsahu. Na začátku je popsán vývoj a stupně binokulárního vidění, dále fúze senzorická a podrobněji fúze motorická, která úzce souvisí s očními pohyby, tedy i s vergencí. Následně se práce věnuje složkám vergence, jejímu vztahu k akomodaci a základním parametrům, kterými můžeme vergenci hodnotit. Také je v práci zmíněna nesrovnalost pojmů fúzní rezervy – fúzní vergence, apod. používaných v literatuře. Poslední kapitola teoretické části popisuje různé metody vyšetřování fúzní vergence – pomocí troposkopu, prizmatických lišt a foropteru.

Experimentální část zkoumá opakovatelnost měření fúzní vergence pomocí dvou vybraných metod – prizmatických lišt a foropteru, a následně tyto dvě metody srovnává. Do studie bylo zařazeno 23 probandů, kdy každý z nich byl měřen ve dvou dnech ve stejnou denní dobu. Každý den podstoupil měření fúzní vergence pomocí jedné metody, a to dvakrát až třikrát. U každé metody byla zjišťována opakovatelnost dvouvýběrovým párovým t-testem na střední hodnotu a dále zhodnocena Bland-Altmanovou analýzou. Z výsledků vyplývá, že opakovatelnost obou metod je přibližně stejná – nejlepší je při měření vertikální fúzní vergence a lepší při měření negativní fúzní vergence než při měření pozitivní fúzní vergence, a zároveň lepší při měření do dálky než do blízka. Dále byly tyto dvě metody porovnávány dvouvýběrovým párovým t-testem na střední hodnotu a Bland-Altmanovou analýzou.

Závěrem lze shrnout, že opakovatelnost obou metod je lepší při měření negativní fúzní vergence než pozitivní fúzní vergence. Nižší opakovatelnost některých testů měla vliv na rovnost obou metod. Z toho důvodu není vhodné tyto dvě metody používat zaměnitelně a např. při sledování účinku zrakového tréninku by měla být používána (u daného člověka) jen jedna metoda měření fúzní vergence.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] HROMÁDKOVÁ, L. *Šilhání.* 2. doplněné vydání. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-7013-207-8.

[2] PLUHÁČEK, F. *Normální binokulární vidění* – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012.

[3] KUCHYNKA, P. a kol. *Oční lékařství.* Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.

[4] STIDWILL, D., FLETCHER, R. *Normal Binocular Vision: Theory, Investigation and Practical Aspects.* Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2011. ISBN 978-1-4051-9250-7.

[5] GROSVENOR, T. Primary Care Optometry. 5th edition. St. Louis: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-7575-8.

[6] ČIHÁK, R. *Anatomie 3.* 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-716-9140-2.

[7] *Anatomy: Extraocular Eye Muscles (Front View).* Pfoff Laser and Eye [online]. [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: http://www.pfofflaserandeye.com/anatomy.htm

[8] EVANS, B., DOSHI, S. Binocular Vision and Orthoptics: Investigation and management. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0-7506-471-2.

[9] PLUHÁČEK, F. *Grafická analýza* – výukové materiály k předmětu Nestrabické poruchy binokulárního vidění, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2015.

[10] Optometric Clinical Practice Guideline: *Care of Patients with Accommodative and Vergence Dysfunction.* American Optometric Association, 1998, rewised 2010. [online]. [cit. 2016-09-12] Dostupné z: http://www.aoa.org/documents/optometrists/CPG-18.pdf

[11] PLUHÁČEK, F. *Vyšetřovací postupy BV a akomodace* – výukové materiály k předmětu Korekce zraku 2, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012.

[12] ELLIOTT, D. *Clinical Procedures in Primary Eye Care.* 3rd edition. New York: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8896-3.

[13] GOSS, D. *Ocular Accomodation, Convergence and Fixation Disparity: Clinical Testing, Theory and Analysis.* 3rd edition. Santa Ana: Optometric Extension Program Foundation, 2009. ISBN 978-0-929780-245.

[14] KŘÍŽ, P. *Fúzní rezervy.* Česká oční optika, roč. 57, 2016, č. 1, str. 14-17, ISSN 1211-233X.

[15] SCHEIMAN, M., WICK, B. *Clinical Management of Binocular vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders.* 3rd edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kliwer business, 2008. ISBN 978-0-7817-7784-1.

[16] VESELÝ, P. *Synoptofor, přístroj pro diagnostiku a léčbu binokulárního vidění.* Česká oční optika, roč. 50, 2009, č. 2, str. 56-59, ISSN 1211-233X

[17] NAJMAN, L. *Prizmatická korekce.* Česká oční optika, roč. 53, 2012, č. 4, str. 30-34, ISSN 1211-233X.

[18] WESSON, M. *Normalization of Prism Bar Vergences.* American Journal of Optometry and Physiological Optics, Vol. 59, 1982, No. 8, pp. 628-634, ISSN 0093-7002.

[19] RUTRLE, M. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology.* 1. vydání. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.

[20] ANTONA, B. et al. *Repeatability and agrément in the measurement of horizontal fusional vergences*. Ophthalmic and Physiological Optics, Vol. 28, 2008, No. 5, pp. 475-491, ISSN 0275-5408.

[21] CIUFFREDA, M. et al. *Repeatability and variability of near vergence ranges.* Journal of Behavioral Optometry, Vol. 17, 2006, No. 2, pp. 39-46, ISSN 1045-8395.

[22] GOSS, D., BECKER, E. *Comparison of near fusional vergence ranges with rotary prisms and with prism bars.* Optometry – Journal of the American Optometric Association, Vol. 82, 2011, No. 2, pp. 104-107, ISSN: 1529-1839.

[23] *Table of critical values: Pearson Correlation.* Statistics Solutions: Advacement Through Clarity. [online] [cit. 2016-11-12] Dostupné z: http://www.statisticssolutions.com/table-of-critical-values-pearson-correlation/