



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

Vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a polarizačního křížového testu

Examination of heterophoria using Maddox and polarized cross test

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor práce: Lucie Vasilečková

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Kladno, Květen 2016

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2015/2016

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Lucie Vasilečková**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a polarizačního křížového testu**
Téma anglicky: Examination of heterophoria using Maddox and polarized cross test

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Student teoreticky popíše postupy stanovení prizmatické korekce pomocí různých typů testů a metodik. Dále se zaměří na metody aplikace prizmatické brýlové korekce, rozložení prizmatického účinku a jeho značení. Analyzuje vliv indukovaného prizmatického účinku v důsledku centrace a decentrace brýlových čoček a vliv prizmatického účinku na kvalitu vidění. V praktické části provede porovnání Maddoxova a polarizovaného křížového testu.

Seznam odborné literatury:

- [1] RUTRLE, M., Binokulární korekce na polatestu, ed. 1, Institut pro další vzdělávání pracovníků v Brně, 2006, ISBN 80-7013-302-3
- [2] DIVIŠOVÁ, Gabriela, Strabismus, ed. 1, Praha: Avicenum, 1990, 306 s., ISBN 80-201-0037-7
- [3] METHLING, D., Bestimmen von Sehhilfen, ed. 3, Auflage. Stuttgart: Thieme, 2012, ISBN 978-313-1639-431
- [4] DIEPES, H., BLENDOWSKE, R., Optik und Technik der Brille: mit 40 Tabellen, ed. 2, Aufl. Heidelberg: Optische Fachveröff, 2005, ISBN 978-392-2269-618

zadání platné do: 11.09.2017

Vedoucí: prof. Ing. Jiří Novák, Ph.D.


.....
vedoucí katedry / pracoviště


.....
děkan

V Kladně dne 23.02.2016

Název bakalářské práce: Vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a polarizačního křížového testu

Abstrakt:

V teoretické části bakalářské práce je popsán prizmatický účinek, jeho možnosti navození u různých typů brýlových čoček a vliv prizmatického účinku na binokulární vidění. Další část je zaměřena na popis binokulárního vidění s důrazem na heteroforii. Testy ke stanovení heteroforie do dálky byly rozděleny do čtyř skupin podle způsobu oddělení zrakového vjemu. V experimentální části je porovnána metoda vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a polarizačního křížového testu. Bylo zjištěno, že mezi naměřenými hodnotami jsou statisticky významné rozdíly mezi oběma porovnávanými metodami. Na základě toho dochází ke změnám binokulárního visu a subjektivního vnímání prizmatické korekce.

Klíčová slova:

Prizmatický účinek, heteroforie, Maddoxův test, polarizační křížový test

Bachelor's Thesis title: Examination of heterophoria using Maddox and polarized cross test

Abstract:

In the theoretical part of the thesis a prismatic effect, possibilities of inducing prismatic effects in various types of spectacle lenses and influence of prismatic effect on binocular vision are described. The next section is focused on a description of binocular vision with an emphasis on heterophoria. Tests for the determination of heterophoria are divided into four groups with respect to the principle of the separation of visual perception. The experimental part of the thesis compares Maddox and polarized cross test. It was found that statistically significant differences exist between the measured values using both methods. On the basis of these differences there are found changes in the binocular visual acuity and subjective perception of the prismatic correction.

Key words:

Prismatic effect, heterophoria, Maddox test, polarized cross test

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce prof. Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly při psaní této práce. Dále bych ráda poděkovala všem, kteří mi byli oporou při psaní této práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a polarizačního křížového testu“ 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).

V dne

.....

podpis

Obsah

Úvod.....	1
1 Prizmatický účinek	2
1.1 Prizma	2
1.2 Prizmatický účinek brýlové čočky	3
1.2.1 Značení prizmatického účinku a jeho rozdělení.....	3
1.2.2 Sčítání prizmatických účinků.....	4
1.2.3 Tloušťka prizmatické čočky.....	5
1.3 Vliv prizmatického účinku na binokulární vidění.....	6
1.3.1 Nežádoucí prizmatický účinek.....	7
1.4 Indukovaný prizmatický účinek.....	9
1.5 Metody výpočtu prizmatického účinku brýlové čočky.....	10
1.5.1 Prenticeho rovnice.....	10
1.5.2 Rozšíření Prenticeho rovnice Weinholdem.....	10
1.5.3 Remoleho metoda.....	10
1.5.4 Porovnání jednotlivých metod výpočtu	11
1.6 Navození prizmatického účinku u různých typů brýlových čoček	12
1.6.1 Fresnelova optika	13
1.6.2 Afokální čočky	13
1.6.3 Asférické čočky.....	14
1.6.4 Sférické, sférocylindrické a plan-cylindrické čočky.....	14
1.7 Normativní požadavky na zhotovení brýlí s prizmatickými čočkami	17
1.8 Centrace a vliv vrcholové vzdálenosti na prizmatický účinek brýlové čočky	18
1.9 Měření prizmatických čoček	18
1.9.1 Manuální fokometr.....	19
1.9.2 Automatický fokometr	20
1.10 Faktory ovlivňující zobrazování prizmatickými čočkami.....	20
2 Binokulární vidění	22
2.1 Kvalitativní stupně binokulárního vidění.....	23
2.2 Fyziologie binokulárního vidění	23
3 Heteroforie	25
3.1 Typy a směry heteroforie	25
3.2 Fixační disparita a heteroforie.....	26

3.2.1	Řešení dekompenzované heteroforie	26
3.3	Jak poznat heteroforii?	27
3.3.1	Orientační test motility	28
3.3.2	Zakrývací test	28
3.3.3	Blízký bod konvergence (NPC)	29
3.3.4	Fúzní rezervy	29
3.3.5	AC/A poměr	30
3.4	Vyšetření heteroforie	30
3.4.1	Oddělení obrazu prizmatickým účinkem	31
3.4.2	Anaglyfní testy	31
3.4.3	Mechanický princip oddělení	33
3.4.4	Polarizační testy	34
3.5	Stanovení konečné prizmatické hodnoty	38
4	Experimentální srovnání Maddoxova a polarizačního křížového testu	40
4.1	Metodika	40
4.2	Hypotézy	41
4.3	Výsledky	43
4.4	Diskuse	46
4.4.1	Shrnutí výsledků	49
4.4.2	Kazuistiky	49
5	Závěr	53
6	Seznam použité literatury	55
7	Seznam zkratk	58
8	Seznam obrázků	59
9	Seznam tabulek	60
10	Seznam příloh	61

Úvod

Cílem vyšetření prováděného optometristou by mělo být kompletní zhodnocení všech funkcí zrakového systému. Přesto se část optometristů spokojí pouze se zrakovou ostrostí dosaženou sférocylickou korekcí. Existují i skryté vady, které se snížením zrakové ostrosti primárně neprojeví. Tato bakalářská práce se věnuje právě heteroforii, skrytému šilhání, které se může projevit při dlouhodobém zatížení vergenčního systému. Může dojít ke vzniku astenopických potíží a ke snížení vizuálního komfortu. Existuje mnoho způsobů, jak příznaky heteroforie zmírnit či úplně odstranit. České optometrii dominuje korekce brýlovými čočkami s prizmatickým účinkem. Vzhledem k tomu, že jsou k dispozici různé metodiky testování, liší se názory a postoje optometristů zda vůbec a v jaké hodnotě heteroforii korigovat.

Optometrista by tedy měl vždy provádět kompletní vyšetření zrakových funkcí oka, včetně kontroly binokulárního vidění, a rozlišit symptomy mezi nekorigovanou ametropií a heteroforií. Důvodem, proč toto vyšetření většina optometristů neprovádí, může být vyšší pořizovací cena přístrojů či nejistota při měření.

V teoretické části se blíže zabývám prizmatickým účinkem, jeho vlivem na kvalitu vidění a popisem binokulárního vidění s důrazem na heteroforii. Jednotlivé testy, sloužící ke stanovení heteroforie do dálky, jsem pro tento účel rozdělila do čtyř kategorií podle možností oddělení obrazu. V experimentální části je provedeno vyhodnocení vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a polarizačního křížového testu, které bylo provedeno na 58 probandech, přičemž klíčovými parametry byly rozdíly v naměřených hodnotách, změny binokulárního visu a subjektivního hodnocení prizmatické korekce.

1 Prizmatický účinek

1.1 Prizma

Optický klín s lámavým úhlem φ [°] do 5° se v brýlové optice označuje jako prizma. To je tvořeno bází a vrcholem. Paprsek světla dopadající kolmo na první stěnu prizmatu, prochází skrz dané prostředí v nezměněné podobě. Na druhé ploše dochází k lomu směrem k bázi. To způsobí posunutí obrazu k vrcholu (obr. 1). Toto posunutí se označuje jako prizmatický účinek Δ , který je měřený v jednotce prizmatické dioptrie [pdpt] a je roven:

$$\Delta = \frac{d}{g}, \quad (1)$$

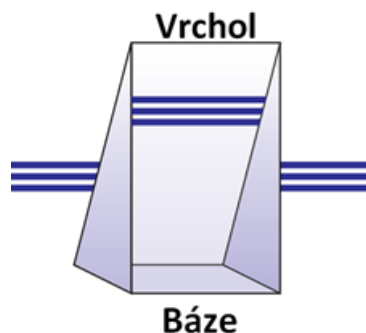
kde d [cm] je posunutí obrazu a g [m] vyjadřuje vzdálenost odkloněného paprsku. Prizmatická dioptrie může být všeobecně definovaná jako odchylka jedné jednotky vůči vzdálenosti stonásobku takovýchto jednotek. V brýlové optice se nejčastěji používá definice jedné prizmatické dioptrie, která odkloní o jeden centimetr kolmo dopadající paprsek ve vzdálenosti jednoho metru. [1;2]

Úhel odchýlení mezi původním směrem dopadajícího paprsku a paprsku vystupujícího z prizmatu, je vyjádřen deviací δ [°]. Deviace závisí na indexu lomu materiálu n a na lámavém úhlu dle vztahu:

$$\delta = (n - 1)\varphi, \quad (2)$$

Vztah mezi deviací a prizmatickým účinkem je vyjádřen [1;2]:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta}{100}\right). \quad (3)$$



Obrázek 1 Lom světla při průchodu prizmatem [3]

1.2 Prizmatický účinek brýlové čočky

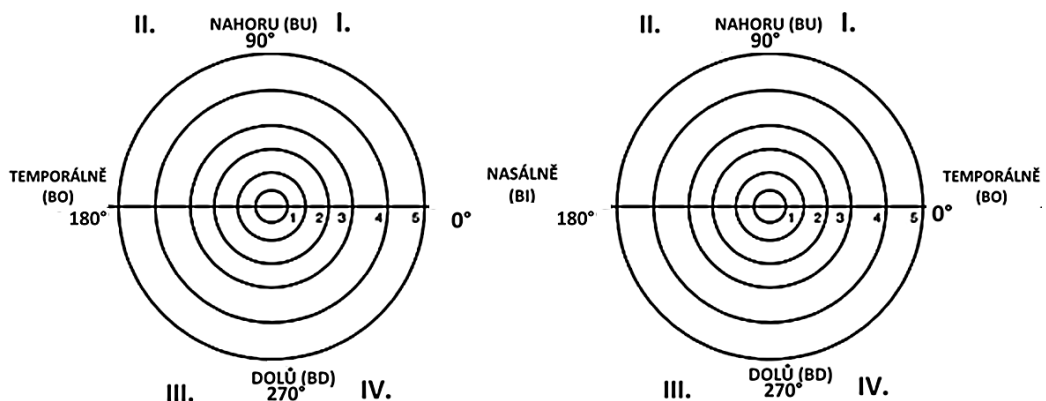
Funkce korekční brýlové čočky nemusí být jen ve vytvoření ostrého obrazu na sítnici. Brýlové čočky s prizmatickým účinkem způsobují také posunutí směru hlavního svazku paprsků za účelem vytvoření, či alespoň podpoření ortoforického postavení očí. Prizmatický účinek dané čočky je tedy možné popsat hodnotou prizmatické odchylky, která je potřebná k poskytnutí komfortního binokulárního vidění. [3]

1.2.1 Značení prizmatického účinku a jeho rozdělení

Tabulka 1 představuje formát názvosloví, které se využívá u předpisu brýlové korekce. *OP* je zkratka pro pravé oko, *OL* pro oko levé. *Sph.* [dpt] značí vrcholovou lámavost sférické a *Cyl.* [dpt] cylindrické složky. Směr cylindru určuje *osa* [°]. *Prizma* [pdpt] popisuje hodnotu prizmatického účinku a *báze* [°] jeho směr. *Add* [dpt] je hodnota přičítavající se k hodnotě *Sph* do dálky. Osa cylindru a orientace báze se zapisují pomocí formátu TABO (obr. 2). Jde o úhlovou stupnici, která nabývá hodnot proti směru hodinových ručiček. Pro správnou a jednoznačnou orientaci osy cylindrické čočky se využívá rozsah od 0 ° do 180 °. Pro orientaci báze prizmatické čočky slouží stupnice v rozsahu od 0 ° do 360 °. [4]

Tabulka 1 Obecný zápis naměřených hodnot [4]

	Sph.	Cyl.	Osa	Add	Prizma	Báze
OP						
OL						



Obrázek 2 Schéma značení prizmatického účinku [5]

Předpisová metoda

Tento způsob zápisu, který využívají především oftalmologové, je založen na pravoúhlých souřadnicích. Souřadnice grafu *x* představuje směr báze horizontální

složky, to znamená směr BO nebo BI. Vertikální složku tvoří souřadnice y s orientací BU nebo BD. Směr báze je nutné zapsat ve spojení s hodnotou prizmatu. Forma předpisu může mít například tvar 2 pdpt BU. Pro vytvoření prizmatického účinku v šikmé ose, je zapotřebí určit hodnotu prizmatu v horizontální i vertikální rovině. [4]

Laboratorní metoda

Laboratorní způsob předpisu je více využíván ve výrobách brýlových čoček a je vyjádřen polárními souřadnicemi. Opět je zde orientace báze ve formě osy uvedena v kombinaci s hodnotou prizmatu v této ose. Rozsah osy se pohybuje od 0° do 360° podle formátu TABO. Zápis laboratorní metodou může mít například tvar 2 pdpt 250° . Pro vytvoření šikmého prizmatického účinku je opět nutné určit horizontální a vertikální složku. [4]

1.2.2 Sčítání prizmatických účinků

Převod mezi zápisem pravoúhlých a polárních souřadnic je možný pouze vektorovým součtem obou složek prizmatu. Každou takovouto složku tvoří naměřená hodnota prizmatu v horizontální H_Δ a vertikální rovině V_Δ [pdpt] a její osa θ [$^\circ$] (obr. 3). Výsledný prizmatický účinek R_Δ [pdpt] se vypočítá podle vztahů:

$$\begin{aligned} H_\Delta &= \Delta \cos(\theta), \\ V_\Delta &= \Delta \sin(\theta), \end{aligned} \quad (4)$$

$$R_\Delta = \sqrt{H_\Delta^2 + V_\Delta^2}, \quad (5)$$

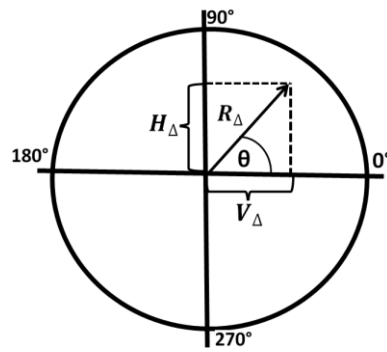
Pro stanovení osy prizmatu je nejdříve nutné stanovit referenční úhel θ' [$^\circ$] bez ohledu na znaménkovou konvenci:

$$\tan \theta' = \frac{V_\Delta}{H_\Delta}. \quad (6)$$

Dále se podle obrázku 2 určí kvadrant, ve kterém bude báze prizmatu orientovaná a na základě toho, se podle tabulky 2 určí její konečná osa. [4;6]

Tabulka 2 Přepočítaná orientace báze prizmatu [4]

Kvadrant	Orientace báze
I.	θ
II.	$180 - \theta$
III.	$180 + \theta$
IV.	$360 - \theta$

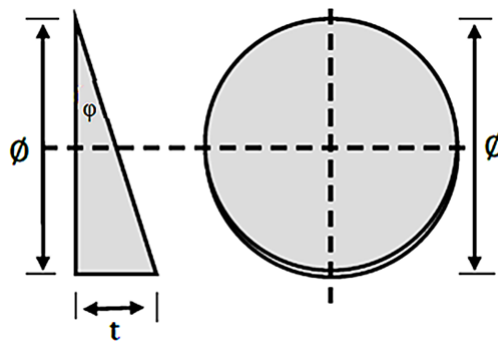


Obrázek 3 Složky prizmatu [4]

1.2.3 Tloušťka prizmatické čočky

Vznik prizmatického účinku na brýlové čočce je podmíněn rozdílem stranových tlouštěk mezi dvěma danými body na čočce v rámci jednoho meridiánu (obr. 4). Tento meridián je nazývaný jako linie mezi bází a vrcholem prizmatu. Samotná tloušťka prizmatu je kromě své hodnoty a osy závislá také na průměru brýlové čočky \emptyset [mm] a indexu lomu materiálu. Na estetickém vzhledu celé brýlové čočky s prizmatickým účinkem má podíl také její optická mohutnost a tvar brýlové obruby. Tloušťka prizmatu v geometrickém středu se vypočítá ze vzorce [4;7]:

$$t = \frac{\Delta \emptyset}{100(n-1)} \quad (7)$$



Obrázek 4 Tloušťka prizmatu [4]

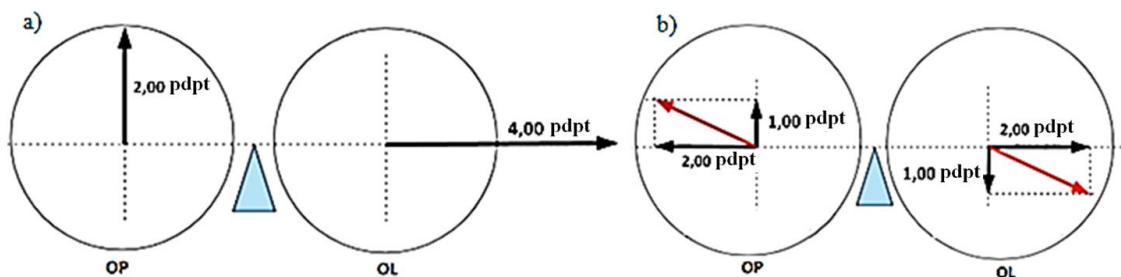
Tabulka 3 popisuje rozdíly v tloušťce, které závisí na průměru a hodnotě prizmatického účinku brýlové čočky. Všechny hodnoty jsou počítány pro materiál CR39 o indexu lomu 1,53 a pro nulovou vrcholovou tloušťku prizmatu. Jak je vidět, se zvyšujícím se průměrem a hodnotou prizmatického účinku stoupá i samotná tloušťka. Všechny tyto parametry je nezbytné zohlednit při aplikaci a zábrusu těchto speciálních brýlových čoček. [4]

Tabulka 3 Změny tloušťky prizmatu v závislosti na průměru a pdpt [4]

Δ [pdpt]	\varnothing [mm]				
	50	55	60	65	70
1	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
3	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0
5	4,7	5,2	5,7	6,1	6,6
7	6,6	7,3	7,9	8,6	9,3
9	5,8	9,3	10,2	11,0	11,9

1.3 Vliv prizmatického účinku na binokulární vidění

Pokud se optometrista rozhodne korigovat heteroforii prizmatickými brýlovými čočkami, musí dodržet pravidlo souměrného rozložení naměřených hodnot prizmatu mezi pravým a levým okem. Používá-li při měření foropter, dochází k automatickému rozložení korekce. V případě použití astigmatické obruby, předkládá prizmatické čočky zpravidla před jedno oko. V brýlové korekci by měl prizmatický účinek jedné brýlové čočky odpovídat polovině celkové naměřené hodnoty prizmatu. Rozložená prizmatická korekce musí respektovat okohybnou úchylku oka, které musí odpovídat směr báze. Při korekci vertikálních úchylek bude směr báze mezi pravým a levým okem vždy opačný. Horizontální úchylky budou korigované oběma bázemi nasálně nebo temporálně. Směry bází by tedy měly být rovny rozdílu 180° . Dojde tak k vytvoření stejného optického účinku předsazených brýlových čoček. Pokud by k tomuto rozložení nedošlo, vznikla by v každé oční odlišná hmotnost a tloušťka brýlové čočky. Dále by se projevil rozdíl disperze, zkreslení a astigmatismu šikmých paprsků. Např. je-li na jednom oku BU a na druhém BD, dojde k vyvolání fúzních pohybů očí, ve kterém se vizuální osy obou očí pohybují ve stejném směru. Tímto se zachovají dobré zobrazovací vlastnosti a minimalizují se aberace prizmatických brýlových čoček. Rozložená prizmatická korekce je znázorněna na obr. 5. [3;8;9]



Obrázek 5 a) Směry změřených hodnot prizmatu, b) Rozložení výsledného prizmatického účinku [7]

1.3.1 Nežádoucí prizmatický účinek

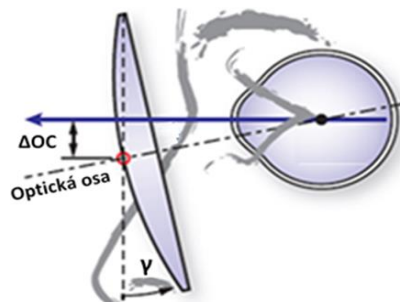
Každý prizmatický účinek, který není požadovaný v rámci kompenzace binokulárních poruch, je označován jako nežádoucí. Důsledkem může být rozdělení zrakového vjemu a vznik diplopie. Ve většině případů se jedná o přechodnou formu, kterou se nositel snaží kompenzovat zvýšenou aktivitou okoohybných svalů. Na základě toho se mohou projevit astenopické potíže. Nežádoucí prizmatický účinek může vzniknout špatným výběrem a přizpůsobením brýlové obruby, nevhodným centrováním s ohledem na zvolený design brýlových čoček nebo rozdílem pdpt. Za nepřijatelný, se v horizontální rovině považuje rozdíl větší jak $2/3$ pdpt a ve vertikální rovině rozdíl větší jak $1/3$ pdpt. [9;10]

Pantoskopický náklon

Tento náklon brýlové obruby je nazývaný také jako inklinace (obr. 6). Jde o úhel, který svírá svislá rovina brýlové obruby s jejím okrajem. Je-li spodní okraj brýlové obruby skloněn směrem k nositeli, označuje se tento směr jako pantoskopický. Retroskopickým náklonem se rozumí oddálení spodního okraje obruby směrem od nositele. U přizpůsobení nebo výběru brýlové obruby je třeba mít na paměti, že by měla mít co nejmenší rušivý vliv. Měla by také zohlednit fyziologické parametry oka a respektovat vizuální osu oka, která je skloněna mírně dolů. Z tohoto důvodu se také pro maximální zachování komfortního vidění a eliminaci astigmatismu aplikuje pravidlo decentrace optického středu mírně dolů. Vychází se ze vztahu:

$$\Delta OC = b \tan(\gamma) \cong 27 \tan(\epsilon \gamma), \quad (8)$$

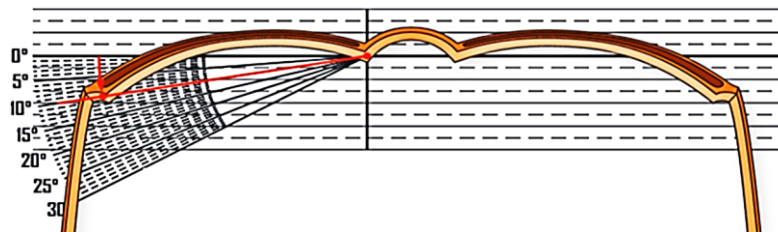
kde ΔOC [mm] označuje složku decentrace a b [mm] značí vzdálenost mezi zadním vrcholem brýlové čočky a bodu rotace oka, závisející na velikosti pantoskopického úhlu γ [°]. Z výpočtu vyplývá, že na každé 2° náklonu je potřeba brýlovou čočku decentrovat přibližně o 1 mm směrem dolů pod střed zornice. Nejběžnější hodnoty pantoskopického náklonu se pohybují od 8° do 12°. Čím více se bude úhel od této normované hodnoty lišit, tím větší prizmatický účinek bude brýlová čočka vykazovat. [9;11]



Obrázek 6 Pantoskopický náklon [11]

Bazická křivka obruby

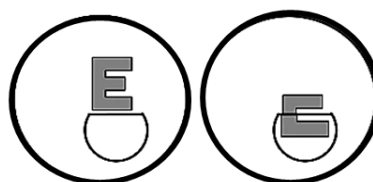
Prohnutí brýlového středu (obr. 7) je přímo závislé na vzdálenosti zornic a vzdálenosti zadní plochy brýlové čočky od přední plochy rohovky. Pokud se shoduje hodnota vzdálenosti zornic se vzdáleností vztažných bodů brýlových čoček do dálky, je možné označit toto prohnutí obruby jako nulové. I když tato varianta splňuje podmínky bodového zobrazení, konstantní vzdálenost mezi zadní plochou brýlové čočky a rohovky způsobí větší hodnoty astigmatismu šikmých paprsků a prizmatického účinku v periferních částech brýlové čočky. Proto se přistoupilo ke kladnému prohnutí obruby do 10° , které má za následek přiblížení brýlových čoček k povrchu rohovky a tím i snahu ji kopírovat. Současně je splněna podmínka, kdy vzdálenost vztažných bodů je větší než vzdálenost zornic. Díky tomu je vyloučen nežádoucí prizmatický účinek a minimalizovaný periferní astigmatismus. Případ, kdy je vzdálenost vztažných bodů menší než vzdálenost zornic, lze označit za záporné prohnutí brýlového středu. Tímto způsobem se dnes brýlové obruby neupravují. Výjimku mohou tvořit dalekohledové či lupové brýle, které tento design upřednostňují. [10;11]



Obrázek 7 Úhel prohnutí brýlového středu [11]

Skok obrazu

U bifokálních a trifokálních brýlových čoček dochází vlivem střídání pohledových směrů přes různé části určené do dálky a na bližší vzdálenosti ke skoku obrazu (obr. 8). Vznik prizmatického účinku zapříčiňují zavedené hrany, které oddělují jednotlivé pohledové zóny. Skok obrazu vzniká po celém okraji segmentu. Aby došlo k jeho největší eliminaci, je potřeba, aby prizmatický účinek hrany segmentu měl stejnou hodnotu na pravé a levé čočce. Dále je vhodné zvolit varianty segmentu ve tvaru „C“, jelikož díky plynulejšímu přechodu mezi jednotlivými částmi brýlové čočky působí takto zavedený segment méně rušivě. [1;10]



Obrázek 8 Skok obrazu na bifokální brýlové čočce [4]

1.4 Indukovaný prizmatický účinek

K navození prizmatického účinku je nutné znát vlastnosti optické osy brýlové čočky. Optická osa čočky je imaginární linie, která prochází skrze centrální body zakřivení přední a zadní plochy. Mezi těmito body se nachází optický střed čočky. Pokud dopadá paprsek světla na optické médium s paralelními stranami, prochází optickým středem v nezměněné podobě. Vztažný bod, je bod na brýlové čočce, ve kterém je dosaženo potřebného optického účinku. U sférických nebo tórických brýlových čoček dochází při správné centraci a zábrusu ke splnutí optického i vztažného bodu. U brýlových čoček s prizmatickým účinkem dochází k vychýlení optického středu, což zapříčiní vznik nového vztažného bodu brýlové čočky. To znamená, že indukovaný prizmatický účinek vzniká, když vizuální osa oka neprochází optickým středem brýlové čočky. Paprsky, které na čočku dopadají v jiných místech než v optickém středu čočky, budou vykazovat různě velký prizmatický účinek. Ten může být navozen následujícími způsoby [4;8;12]:

Prizma indukované broušením:

Prizmatický účinek může být navozen vybroušením odlišných okrajových tloušťek z výrobních polotovarů. Ty nemají přesně definované zadní zakřivení a jejich tloušťka je po celé ploše konstantní. Pro vznik výsledného prizmatického účinku dojde k úpravě tohoto tvaru tak, že se odbrousí požadované množství materiálu podle přepočtových tabulek. Dojde také k posunu optického centra z geometrického středu opracovávané čočky. [4;8]

Natmelení prizmatického kroužku:

Prizmatický kroužek, který má tvar kruhového prstence, se natmelí na zadní plochu polotovaru brýlové čočky. Úhel sklonu mezi nejtlustším a nejtenčím místem na tomto kroužku odpovídá hodnotě prizmatického účinku. Při výrobě brýlové čočky s více jak 4 pdpt se využívá kombinace vybroušení různých obvodových tloušťek čočky a aplikací prizmatického kroužku. [3;8]

Decentrace:

Brýlové čočky s různou vrcholovou lámavostí budou vykazovat prizmatický účinek v případě, že se posune či decentruje jejich optický střed od vizuální osy vidění. To znamená, že procházející paprsek světla, skrz takto posunutý optický střed, bude v závislosti na směru decentrace vychýlen. [12]

1.5 Metody výpočtu prizmatického účinku brýlové čočky

1.5.1 Prenticeho rovnice

K výpočtu prizmatického účinku je možné využít fakt, že paprsky světla procházející skrz brýlovou čočku ve vzdálenosti od optické osy jsou odchýleny tou stejnou vzdáleností přes ohnisko čočky. Prenticeho rovnice platí pro paraxiální zobrazení a je odvozena pro předmět v nekonečnu (vidění na dálku):

$$\Delta = \frac{decF}{10}, \quad (9)$$

kde Δ [pdpt] je hodnota prizmatického účinku, dec [mm] značí vzdálenost posunutí od optického středu a F [dpt] je vrcholová lámavost brýlové čočky. Je důležité si uvědomit, že toto odvození se vztahuje k plankonvexní či plankonkávni brýlové čočce, kde dochází k lomu světla pouze na jedné ploše. Pokud brýlová čočka nesplňuje podmínku nulového zakřivení na jedné ploše, dochází vlivem rozdílných zakřivení k nepřesné hodnotě vypočtené decentrace Prenticeho rovnicí. Pro vidění do blízka nezohledňuje změnu polohy oka, a tudíž se pro takové výpočty nevyužívá. Při navození prizmatického účinku na fokometru musí být pro její platnost splněna podmínka, že bude zadní plocha brýlové čočky přiložena kolmo k centrovacímu nástavci fokometru. [6;13;14]

1.5.2 Rozšíření Prenticeho rovnice Weinholdem

Prenticeho rovnice nezohledňuje vzdálenost mezi zadní plochou brýlové čočky a přední plochou rohovky vůči středu rotace oka. Na základě toho, se nejeví jako příliš přesná. Z tohoto důvodu byla tato rovnice Weinholdem rozšířena o jednotku b [mm], která určuje vzdálenost zadní plochy brýlové čočky od skutečného středu rotace oka. Tato vzdálenost představuje obvykle 25 mm. Výsledná rovnice má tvar [1]:

$$\Delta = \frac{decF}{\frac{(1000 - bF)}{100}} \quad (10)$$

1.5.3 Remoleho metoda

Jelikož Prenticeho rovnice dosahuje přesných výsledků pouze u tenkých brýlových čoček s vrcholovou lámavostí maximálně do ± 1 dpt a vztahuje se pouze k jedné čočce z páru, bývá využita pro výpočet decentrace Remoleho rovnice. Pokud je mezi pravou a levou brýlovou čočkou rozdíl vrcholové lámavosti, bude se oko, před kterým je předložena čočka s vyšší dioptrickou hodnotou, odchylovat jinak od druhého oka aby zachytilo hlavní dopadající svazek světla vycházející z bodu předmětu. [14;15]

Vznik chyb u jiných metod výpočtu vychází z předpokadu, že se obě oči dívají přes identické body brýlových čoček. Ovšem u Remoleho metody se používá přesného výpočtu zvětšení, středové tloušťky a zakřivení přední i zadní plochy brýlové čočky. Pro každé oko zvlášť se tedy vypočítá velikost zorného úhlu obrazu a předmětu. Poměr mezi nimi udává odchylku způsobenou brýlovými čočkami, která v pdpt vyjadřuje skutečnou prizmatickou hodnotu. Jelikož je lidské oko v neustálém pohybu, je do výpočtu Remoleho metodou zahrnutý střed rotace oka. [14;16]

Zvětšení brýlové čočky M se vypočítá podle vzorce:

$$M = \left(\frac{1}{1 - \frac{t}{n} F_1} \right) \left(\frac{1}{1 - bF} \right), \quad (11)$$

kde t [m] je středová tloušťka čočky, F_1 [dpt] je vrcholová lámavost přední plochy čočky, n je index lomu materiálu, b [m] je vzdálenost zadní plochy brýlové čočky a středu rotace oka a F [dpt] je vrcholová lámavost brýlové čočky. Poměr M' mezi pravým M_{OP} a levým M_{OL} zvětšením brýlové čočky je:

$$M' = \frac{M_{OP}}{M_{OL}}. \quad (12)$$

Pokud se oko dívá bodem, který se nachází 10 mm pod optickým středem brýlové čočky, zobrazí se nový obraz v bodě, který je ve vzdálenosti y (mm) od optické osy:

$$y = \frac{10}{M'}. \quad (13)$$

Rozdíl vzdáleností V (mm) mezi bodem vzniklého obrazu a bodem brýlové čočky skrze který se oko dívá je:

$$V = 10 - y. \quad (14)$$

Výsledný prizmatický účinek je dán vztahem [14;16]:

$$\Delta = \frac{V}{b10}. \quad (15)$$

1.5.4 Porovnání jednotlivých metod výpočtu

Z výše zmíněných rovnic se v optické praxi nejvíce využívá Prenticeho. Ve výpočtu se nezohledňují zakřivení, tloušťka čočky ani střed rotace oka. Rotace oka však při použití tenkých čoček v rámci paraxiálního zobrazování nemá významný vliv na kvalitu vidění. Naopak je tomu u tlustých čoček, kde může dojít ke změně pdpt, na základě čeho se více projeví sférická aberace. Je nezbytné si uvědomit, že velikost zmíněných chyb klesá se snižující se vrcholovou lámavostí brýlové čočky. Prenticeho pravidlo dosahuje

přesných výsledků u brýlových čoček do ± 1 dpt a u výpočtu pro paraxiální paprsky, které prochází brýlovou čočkou v blízkosti optické osy. Ostatní vzorce vyžadují mimo jiné hodnoty centrální tloušťky, zakřivení přední a zadní plochy nebo indexu lomu čočky. Měření těchto parametrů není těžké, ale nevýhodou zůstává potřeba specifických nástrojů např. sférometr nebo tloušťkoměr, které nebývají obvykle součástí všech provozoven optických optik. Výhodou dnešní doby je snadná dostupnost počítačových systémů pro výpočet požadovaného prizmatického účinku. Firmy, specializující se na výrobu brýlových čoček, mohou takový software svým zákazníkům poskytnout. Existují i mobilní aplikace, které nabízí kalkulátory výpočtu prizmatického účinku. [12;14;17]

V tabulce 5 jsou uvedené výše zmíněné metody výpočtu pdpt. Vstupní parametry brýlové čočky jsou zobrazeny v tabulce 4. [14]

Tabulka 4 Parametry brýlové čočky [14]

F_1	F	b	t	n	\emptyset	dec
9,43 dpt	6,00 dpt	27 mm	7,6 mm	1,481	65 mm	5 mm

Tabulka 5 Porovnání různých metod výpočtu prizmatického účinku [14]

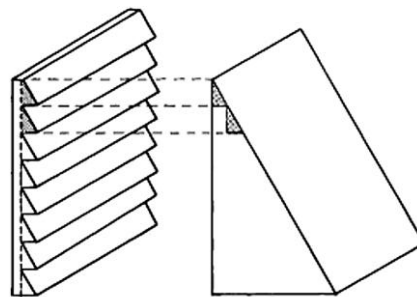
Prenticeho rovnice	3 pdpt
Weinholdova rovnice	3,57 pdpt
Remoleho rovnice	3,75 pdpt

1.6 Navození prizmatického účinku u různých typů brýlových čoček

Velikost prizmatického účinku navozeného při zpracování polotovaru čočky je vypočítána pomocí počítačového systému, který zohlední křivky konkrétní čočky v každém jejím bodě. Zvláště složité jsou tyto výpočty u asférických, multifokálních a ostatních čoček, které jsou vyrobeny metodou Freeform. Princip této metody spočívá ve frézování daného designu bod po bodu celé plochy. To znamená, že v každém tomto bodě vzniká jiné zakřivení a výsledná plocha je tak rotačně asymetrická. Proto u všech typů multifokálních a jednoohniskových asférických čoček není možné navodit prizmatický účinek decentrací. Ta nachází uplatnění především u sférických, sférocylindrických a plancylindrických brýlových čoček. [12]

1.6.1 Fresnelova optika

S rostoucí hodnotou prizmatu se zvyšuje tloušťka báze. Fresnelovo prizma se snaží eliminovat tloušťku takového prizmatu pomocí vytvoření malých šikmých prizmat, které k sobě těsně přiléhají (obr. 9). Jejich vzdálenost je konstruována tak, aby procházející paprsky světla dopadly do jednoho ohniska. Lámací hodnota Fresnelovy fólie může dosahovat až 40 pdpt. Podle směru báze, se rozděluje na rovinnou nebo kruhovou. Výhodou Fresnelových čoček je zvolený typ materiálu, ze kterého jsou vyrobené. Nejčastěji se vyskytují ve formě měkké fólie, kterou je možné vystříhnout podle tvaru obruby a nalepit ji v požadovaném směru nejenom po celé ploše brýlové čočky, ale také pouze na její určitou část. Tato jednoduchá aplikace je umožňuje využívat dočasně a po důkladném vyčištění i opakovaně. Fresnelovy čočky se nejčastěji využívají při stanovení a kompenzaci vergenčních poruch nebo při rozšíření zorného pole u hemianopsie. Méně často se používají při minimalizaci nystagmu, v lupových systémech a u nemobilních pacientů upoutaných na lůžko pro vytvoření nového pohledového směru. Nevýhody použití spočívají ve zhoršení zrakové ostrosti. Důvodem je vznik chromatické aberace a zkreslení. Tyto vady se mohou více projevovat za snížených světelných podmínek. Z tohoto důvodu nejsou Fresnelovy čočky vhodné pro pacienty se sníženou kontrastní citlivostí. [7;18]



Obrázek 9 Rozdíly tvaru mezi Fresnelovou čočkou a prizmatem o stejné pdpt [13]

1.6.2 Afokální čočky

Touto soustavou se v brýlové optice rozumí čočka s nulovou vrcholovou lámavostí, jejíž ohniska se nachází v nekonečnu. Rovnoběžné paprsky světla, které afokálním systémem prochází, ho opouští v nezměněné podobě. Indukovaný prizmatický účinek afokálních čoček se zvyšuje se zakřivením přední plochy, tloušťkou a s větší rotací oka. Ze vztahů Prenticeho rovnice vyplývá, že brýlová čočka s nulovým předním a zadním zakřivením nemá žádný prizmatický účinek. Ovšem středová tloušťka takovéto čočky

je přibližně 1 mm. Na základě toho vzniká v takové čočce velmi malý, a v optické praxi zanedbatelný prizmatický účinek. [14]

1.6.3 Asférické čočky

Asférická čočka může být tvořena oběma asférickými plochami nebo kombinací plochy sférické a asférické. Asférická plocha je taková, která mění své zakřivení od středu k periférii čočky. U tohoto designu brýlových čoček je nutná správná centrace v horizontální i vertikální rovině tak, aby byla zachována kvalita zobrazení a redukované zvětšení. Při použití asférické čočky se předpokládá, že optická osa brýlové čočky bude procházet středem rotace oka. To znamená, že by při decentraci této čočky došlo k nepříznivému vlivu zobrazení v periferních částech na základě vzniku astigmatismu šikmých paprsků. Prizmatický účinek se proto indukuje při samotné výrobě čočky za použití vybroušení různé obvodové tloušťky nebo pomocí aplikace prizmatického kroužku. [1;14]

1.6.4 Sférické, sférocylindrické a plan-cylindrické čočky

Sférickou plochou se rozumí množina bodů v prostoru, jejichž vzdálenost od středu k periférii je ve všech těchto bodech stejná. Tvar plancylindrické čočky je dán podélným řezem cylindru. Z tohoto důvodu je její první rovina, která prochází po směru osy cylindru, rovna nule a vykazuje minimální lámavost. Druhý lámavý řez s maximální lámavostí prochází kolmo k ose cylindru. Lámavý účinek sférocylindrických čoček je dán kombinací vrcholových lámavostí první a druhé plochy. Ty tvoří složka sférická a cylindr. Vznik prizmatického účinku na těchto plochách, je možné docílit zabroušením prizmatického kroužku, vybroušením různě silných obvodových stran či decentrací brýlového středu od optické osy oka. Právě decentrace je nejpoužívanější způsob navození prizmatického účinku. Zbylé metody jsou vhodné pro brýlové čočky, kde samotná decentrace není možná. [1;7;10]

Decentrace sférické čočky

U sférické čočky je nutné zvolit vhodnou metodu výpočtu a decentrovat její optický střed v požadovaném směru. Dále je důležité zachovat pravidlo směru decentrace. Rozptylné čočky se decentrují ve směru předepsaného prizmatického účinku a spojné čočky proti tomuto směru. [1]

Decentrace sférocylindrické čočky

Aby bylo možné využít metodu decentrace u sférocylindrické čočky, je nezbytné stanovit směr a požadovanou prizmatickou hodnotu a na tomto základě určit nový vztažný bod brýlové čočky. Jelikož se Prenticeho pravidlo vztahuje pouze na jeden lámavý meridián, nelze ho v rámci decentrace sférocylindrické čočky použít. [1;6]

Na obr. 10 je označená vzdálenost bodu c od optické osy. Tato linie udává hodnotu prizmatického účinku sférocylindrické čočky a zároveň hlavní osu prizmatu. Pro takovou čočku s prizmatickou hodnotou v bodě c platí:

$$\Delta = (\Delta_x, \Delta_y) = -(Hc_x + Qc_y, Qc_x + Vc_y), \quad (16)$$

kde, c_x [mm] značí velikost decentrace na ose x a c_y [mm] decentraci na ose y . H [dpt] udává lámavost čočky v horizontální a V [dpt] ve vertikální rovině. Jednotka Q [dpt] představuje prizmatický účinek, který na oko působí ve směru kolmém vůči směru, který je vypočítaný z rovnice (16) pro horizontální a vertikální osu. Jednotlivé složky pak mají tvar:

$$\begin{aligned} H &= S + C \sin^2(\alpha), \\ V &= S + C \cos^2(\alpha), \end{aligned} \quad (17)$$

$$Q = -C \sin(\alpha) \cos(\alpha),$$

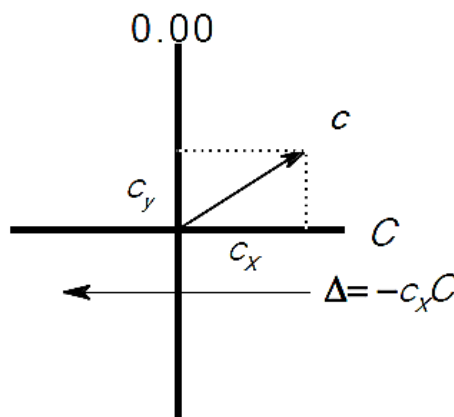
Pro určení konečné hodnoty decentrace sférocylindrické čočky platí vztah:

$$dec = (dec_x, dec_y) = \left(\frac{1}{D}\right) (V\Delta_x - Q\Delta_y, -Q\Delta_x + H\Delta_y), \quad (18)$$

$$D = S(S + C). \quad (19)$$

Pokud osy cylindru nabývají hodnot 180° nebo 90° , platí $Q = 0$ a vztah se zjednoduší na [1;6]:

$$\Delta = (\Delta_x, \Delta_y) = -(Hc_x, Vc_y). \quad (20)$$



Obrázek 10 Složky decentrace u sférocylindrické čočky [6]

Decentrace plancylindrické čočky

Pokud by došlo u plancylindrické čočky k decentraci ve směru osy cylindru, bude prizmatický účinek nulový. Důvodem je fakt, tato brýlová čočka nemá jeden hlavní optický střed. To znamená, že vznik prizmatického účinku je podmíněn decentrací v libovolném směru pouze ve směru druhého hlavního řezu. [1]

Omezení decentrace

Možnost navození prizmatického účinku decentrací brýlového středu je považováno za velice levnou a efektivní metodu. Ovšem existují faktory, které tento způsob limitují. Jedná se o průměr brýlové čočky a její design. Jak již bylo zmíněno, u brýlových čoček asférických a všech typů multifokálních čoček nelze prizma navodit decentrací. U zbylých čoček je pak nutné zohlednit jejich vlastní průměr. V optické praxi se velikosti průměrů pohybují běžně od 50 mm do 80 mm. Není však problém jej vyrobit o několik milimetrů menší či větší. Ovšem takovéto požadavky vyžadují delší výrobní dobu dané čočky a vyšší finanční nároky. Aby se mohla konkrétní čočka decentrovat, je potřeba vypočítat její minimální průměr \varnothing_{min} [mm] v závislosti na parametrech brýlové obruby, do které bude zabroušena. Výpočet je dán vztahem:

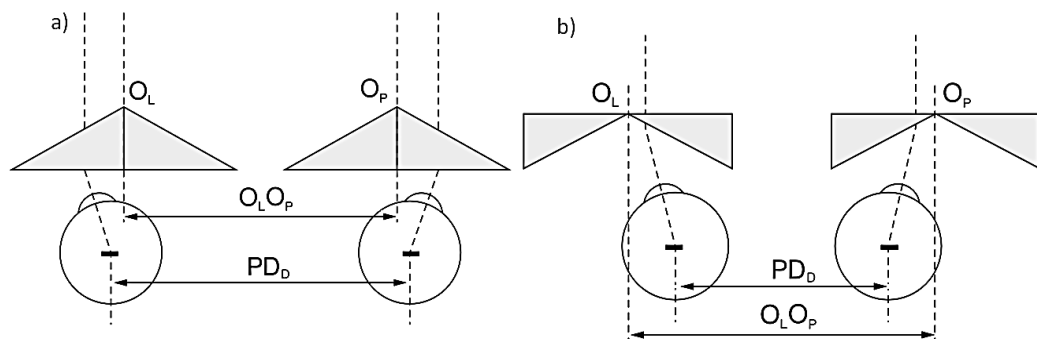
$$\varnothing_{min} = \left(\frac{\varnothing}{2} + dec \right) 2, \quad (21)$$

kde \varnothing [mm] je efektivní průměr čočky, který je dán středem kružnice v geometrickém bodě, která kopíruje tvar zabroušené čočky. Složka decentrace dec [mm] se nejčastěji počítá z Prenticeho rovnice. K takto vypočtenému minimálnímu průměru se přičítávají +2,0 mm, které slouží jako rezervní množství obvodové části materiálu. Ne zřídka se stává, že antireflexní vrstva není nanesena po celé ploše čočky. Její okraje tak bývají bez této povrchové úpravy maximálně do 1 mm od periferní hrany čočky. Přidaný průměr slouží také jako rezerva při zábrusu drážky nebo fazety. Z estetického hlediska je nezbytné vybrat vhodný typ brýlové obruby. Čím větší se obruba zvolí, tím bude potřeba většího průměru brýlové čočky. Tento fakt se negativně projeví na zobrazovacích i estetických vlastnostech čoček, které korigují ametropie nad ± 5 dpt. S větším průměrem čočky vzroste také její hmotnost a středová tloušťka u spojných čoček, případně okrajová tloušťka u čoček rozptylných. [4;9]

1.7 Normativní požadavky na zhotovení brýlí s prizmatickými čočkami

Aby se zabránilo nežádoucímu vzniku vertikálního či horizontálního prizmatického účinku, musí být optické středy brýlových čoček přesně nacentrovány podle jejich designu. Centrační odchylky jsou zrakovým systémem více tolerovány v horizontálním, než ve vertikálním směru. Je to z důvodu funkce okohybných svalů, které snadněji překonají vzniklou nerovnováhu. Z toho vyplývá, že navozené vertikální odchylky působí na lidské oko více rušivě. Chyby vzniklé centrací se považují za přijatelné do té míry, než způsobí vznik nežádoucího prizmatického účinku. Tomu se předejde vyvážením pohledových os na obou očích. Pro zrakový systém je nepřírozené postavení do divergence. Tento směr se označuje za kritický (obr. 11). [19]

Při samotném vydání brýlí s prizmatickou korekcí musí optik zákazníkovi zajistit, že brýle splňují národní standardy v odchylkách centrování. V případě, že jsou optické středy brýlových čoček stejně centrovány pod nebo nad středy zornic a jednalo by se o brýlové čočky se stejnou vrcholovou lámavostí, došlo by k vyvolání nízkého nežádoucího prizmatického účinku. Vzniklé chyby by narůstaly s rostoucí rozdílnou hodnotou nebo vertikální centrací mezi pravou a levou brýlovou čočkou. [7;19]



Obrázek 11 Kritické směry decentrace a) spojných, b)rozptylných brýlových čoček [19]

Tabulka 6 Povolené odchylky při binokulárním centrování v pdpt podle ČSN EN ISO 14889 [19]

Vrcholová lámavost [dpt]	Horizontálně [pdpt]		Vertikálně [pdpt]
	Méně kritický směr	Kritický směr	Rozdíl OP / OL
od 0,25 do 1,00	0,50	0,25	0,25
od 1,25 do 6,00	1,00	0,50	0,25
od 6,25 do 12,00	1,00	0,50	0,50
přes 12,25	1,50	1,00	0,50

1.8 Centrace a vliv vrcholové vzdálenosti na prizmatický

účinek brýlové čočky

U centrace prizmatické čočky je nezbytné vzít v úvahu polohu zornic a vztažných bodů brýlových čoček, které musí ležet v jedné rovině. Ovšem díky neustálým pohybům očí v různých směrech a statické poloze brýlové čočky se může projevit astigmatismus šikmých paprsků. Pokud by došlo k takové centraci, že by v žádném pohybu oka nedošlo ke splnutí vztažného bodu a linie středu rotace oka, mohlo by dojít ke snížení zrakové ostrosti. [1;10]

Hodnota předloženého prizmatu ve zkušební obrubě neodpovídá konečnému prizmatickému účinku. Ten se skládá z hodnot předkládaných prizmat společně s indukovaným prizmatickým účinkem cylindrické složky, pokud existuje. Při předložení prizmatu se oko nedívá přes optický střed čočky. Z tohoto důvodu se musí přepočítat původní poloha optického středu čočky vůči vzdálenosti středu rotace oka a povrchu rohovky C' [mm] a zadní plochy brýlové čočky k přední ploše rohovky d' [mm]. Optický střed brýlové čočky je proto nezbytné decentrovat o vzdálenost x [mm] podle vztahu:

$$x = \frac{d' + C'}{100}. \quad (22)$$

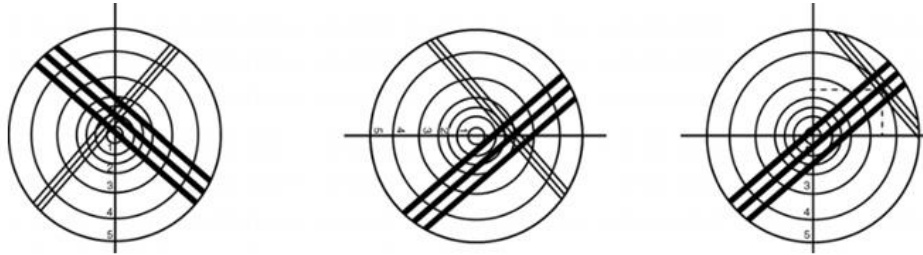
Pokud uvažujeme, že d' je dáno průměrnou vzdáleností 12 mm a C' je 13 mm, musí se optický střed čočky decentrovat o 1 mm na každé 4 pdpt proti směru báze. Při aplikaci prizmatické korekce z astigmatické zkušební obruby do obruby brýlové, je důležité zohlednit jejich vrcholovou vzdálenost. Vzdálenost posunutí optického středu brýlové čočky Δx (mm) proti směru báze je závislá na prizmatickém účinku a rozdílu vrcholových vzdáleností $\Delta d'$ [mm] [1;10;20]:

$$\Delta x = \frac{\Delta d' \cdot \Delta}{100}. \quad (23)$$

1.9 Měření prizmatických čoček

Princip měření prizmatického účinku na manuálním nebo automatickém fokometru je stejný. Požadovanou hodnotu prizmatu lze změřit posunutím optického středu čočky po vyobrazené stupnici (obr. 12). Ta u manuálních fokometrů tvoří síť pěti soustředných kruhů, jejichž vzájemná vzdálenost je rovna 1 pdpt. To znamená, že na takovém fokometru je možné naměřit maximálně 5 pdpt. Na trhu jsou i fokometry, u kterých je vzdálenost jednotlivých kruhů rovna 0,5 pdpt. U brýlových čoček, u kterých je požadováno decentrací víc jak 5 pdpt musí být použit prizmatický kompenzátor (diasporametr). Ten zvýší měřicí

rozsah až do 15 pdpt. Automatické fokometry mají tento prizmatický kompenzátor již zabudovaný. Existuje i alternativní metoda, kterou lze docílit zvýšení měřicího rozsahu jakéhokoliv fokometru. Metoda využívá pomocné prizma, které se do fokometru vloží v opačném směru báze přímo na měřenou brýlovou čočku. Na základě toho dojde k částečnému vyrušení prizmatického účinku a posunutí decentrovaného optického středu do pole vykreslené stupnice. Z pravidla se pomocné prizma předkládá o nižší hodnotě pdpt. [3;5;10]



Obrázek 12 Zobrazení prizmatického účinku ve fokometru [5]

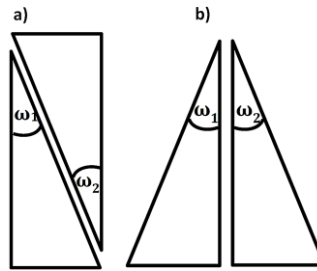
1.9.1 Manuální fokometr

Měření bez diasporametru

Nejprve je potřeba změřit vrcholovou lámavost brýlové čočky. Poté se podle předpisu decentruje optický střed v požadovaném směru báze o určitý počet dílků. To znamená, že decentruje-li se brýlová čočka o 3 dílky nahoru, navodí se prizmatický účinek 3 pdpt BU. Na brýlové čočce se zakreslí její horní a dolní okraj a označí se razítkovacími kolíky fokometru. [3;10]

Měření s diasporametrem

Diasporometr je přídavné zařízení tvořené dvěma prizmaty, které jsou součástí otočné objímky. Jejich konečnou hodnotu lze měnit podle vzájemné polohy bází (obr. 13). Maximální a minimální deviace paprsků, umožňují zvýšit měřicí rozsah fokometru až na 15 pdpt. Po upevnění diasporometru pod objektiv fokometru se nastaví požadovaná prizmatická hodnota s opačným směrem báze. Brýlová čočka se poté umístí do fokometru ve směru požadované báze z předpisu. Změří se vrcholová lámavost čočky a posouváním a jemným otáčením se vycentruje na střed záměrného kříže fokometru. Poté se brýlová čočka decentruje stejně jako u fokometru bez diasporometru. [10]



Obrázek 13 Schéma diasporometru a) minimální hodnota, b) maximální hodnota [10]

1.9.2 Automatický fokometr

Tyto, dnes nejrozšířenější fokometry umožňují měřit prizmatickou hodnotu brýlové čočky s velkou přesností. Odpadají chyby spojené se zaostřením testovací značky, jak to bývá u manuálního fokometru. U některých typů automatických fokometrů je nutné před samotným měřením nastavit požadovaný rozsah pdpt. Výsledná prizmatická hodnota se pak v závislosti na posunutí optického středu čočky zobrazuje v konečné podobě na displeji. Výhoda automatických fokometrů spočívá v rychlosti a v přesnosti měření. [5]

1.10 Faktory ovlivňující zobrazování prizmatickými čočkami

Astigmatismus šikmých paprsků

V závislosti na neustálých pohybech oka v různých pohledových směrech a statické poloze brýlové čočky může dojít k projevení astigmatismu šikmých paprsků. Pro potlačení této aberace volí výrobci brýlových čoček co nejvhodnější kombinace zakřivení přední a zadní plochy. V případě asférických brýlových čoček dochází vlivem plochého profilu k minimalizaci periferního astigmatismu šikmých paprsků. Čím bude prizmatická hodnota brýlové čočky větší, tím se budou pozorované body mimo vztažný bod čočky jevit více rozmazané. Tuto vadu je důležité zohlednit u brýlových čoček s více než 4 pdpt. [21;22]

Chromatická aberace

Chromatická aberace je závislá na průměru zornice. Čím menší její rozměr bude, tím méně periferních paprsků bude do oka dopadat. Tato vada se tak projeví minimálně. Chromatická aberace je zodpovědná za rozklad bílého světla do jeho jednotlivých složek. Ohnisko modrého světla s kratší vlnovou délkou se vytvoří blíže než ohnisko červené barvy s delší vlnovou délkou. Na základě toho, dochází ke vzniku pseudostereoskopického vnímání, které zapříčiňuje špatný odhad vzdáleností různě zbarvených předmětů nebo jejich barevné lemování. Chromatická aberace δ [pdpt] se bude projevovat s rostoucí prizmatickou hodnotou a se zvyšujícím se indexem lomu, kdy klesá hodnota Abbeova čísla V . Velikost aberace se určí podle vztahu [7;23]:

$$\delta = \frac{\Delta}{V}. \quad (24)$$

Např. má-li brýlová čočka hodnotu 10 pdpt a Abbeovo číslo 58, bude hodnota barevné vady rovna 0,17 pdpt. Hodnoty od 0,12 pdpt způsobují vznik duhového lemování předmětů. Lze tak říci, že u materiálů brýlových čoček z CR39 se duhové lemování neprojeví pod hodnotou 7 pdpt. [23]

Zkreslení

Zkreslení vzniká na základě různého zvětšení obrazu. Dochází k rozdílu symetričnosti mezi obrazem a předmětem. U brýlových čoček s BI a BO dojde k deformaci obrazu především ve svislé rovině. Naopak tomu bude u směru BU a BD. Aby se zkreslení obrazu co nejvíce eliminovalo, rozděluje se prizma symetricky před obě oči. Tato vada se bude také projevovat se zvyšující se prizmatickou hodnotou. [8;21]

Mikropsie a Makropsie

Mikropsie je subjektivní jev, kdy se pozorovaný předmět jeví menší, než ve skutečnosti je. Příčinou mohou být patologické změny na sítnici, které vedou k oddálení jednotlivých receptorů. Dalšími potenciálními příčinami se jeví paralýza akomodace nebo impulsy podporující akomodaci, konvergenci a zúžení zornice. Pokud jsou nositeli prizmatické korekce předsazená prizmata BO před obě oči, dochází k fyziologické reakci oko-hybného aparátu, který se snaží konvergovat. Na základě toho vnímá pozorované předměty menší. Makropsie je porucha opačná mikropsii. Velikost pozorovaných předmětů se zdá být větší. Předsazenými prizmaty BI nebo s uvolněnou akomodací při pohledu do dálky a rozšířenými zornicemi je člověk nucen divergovat. [22]

Parazitní odrazy na prizmatické čočce

Ke vzniku parazitního či diplopického obrazu dochází na základě různé tloušťky prizmatu po obvodu čočky. Parazitní obrazy se nejvíce projevují u prizmatických čoček s BI. I když jsou tyto parazitní obrazy světlé, způsobují snížení komfortu vidění především v prostředí s nižším osvětlením. Tento jev není možné odstranit, ale lze jej v dostatečné míře eliminovat nanesením antireflexní vrstvy na povrch brýlové čočky. [22]

2 Binokulární vidění

Podmínkou binokulárního vidění je vzájemná spolupráce obou očí, pomocí které je možné vnímat pozorovaný předmět jako jednoduchý. Jednoduchý zde znamená jednotný, nikoliv dvojitý. Teoreticky lze binokulární vidění přirovnat k hypotetickému oku, které by se nacházelo mezi oběma očima a přebíralo tak funkci očního páru. [24]

Binokulární vidění je zajišťováno třemi složkami. Do motorické složky spadá všech šest okohybných svalů, které pohybují celým okem tak, aby svazek světla dopadal na korespondující místa sítnice. Výsledný obraz by se měl vytvořit ve fovee každého oka. Činnost okohybných svalů je podmíněna správnou funkcí nervů, kmenových a korových center mozku. Senzorická složka představuje vedení nervového vzruchu ze sítnice a zrakového nervu do zrakového centra v mozku. Tam dochází ke sjednocení obrazů a následnému obrazovému vnímání. Podmínkou je totožná nebo co nejvíce podobná izeikonie, centrální fixace obou očí, nepoškozená zraková centra i zrakové dráhy. Optická složka reguluje průchod paprsků optickým prostředím oka tak, aby se na sítnici vytvořil co možná nejostřejší obraz. Možné optické překážky tvoří refrakční vady, zakalená optická média, ptóza víček či déle trvající okluze. Příčinou poruchy binokulárního vidění nemusí být vždy jen jedna složka, ale v mnoha případech se jedná o jejich vzájemnou kombinaci. [25;26;27]

Podmínky binokulárního vidění [24]

- stejná pozice obou očí
- plně funkční sítnice a optický systém
- správná retinální korespondence
- neporušený nervový systém
- neporušená zraková dráha
- refrakčně binokulární vyvážení
- iseikonie

Poruchy binokulárního vidění

Poruší-li se některá složka, podílející se na funkci binokulárního vidění, dojde ke vzniku překážky, která negativně ovlivní schopnost zpracovat zrakový signál. Tyto vady úzce souvisí s vývojem člověka. Adaptibilita zrakového systému zajišťuje reakci na tyto rušivé změny. V dětském věku může dojít ke vzniku amblyopie, suprese nebo anomální retinální korespondenci. [26;27]

Poruchy okohybného systému

Důležitým faktorem k vytvoření binokulárního vidění je vzájemná okohybná souhra. To znamená, že by v ideálním případě měly být pohledové linie obou očí do dálky paralelní. Tento stav se nazývá jako ortoforie. Opakem je strabismus, kdy se při fixaci daného předmětu do dálky nebo na blízko pohledové osy neprotínají v jednom bodě. Strabismus lze rozdělit na skrytý (heteroforie) a zjevný (heterotropie). [26]

2.1 Kvalitativní stupně binokulárního vidění

Simultánní vidění

Při simultánním vidění dochází k překrytí odlišného zrakového vjemu pravého a levého oka. [26]

Fúze

Fúze je schopnost nervového systému spojit zrakový vjem pravého a levého oka v jeden celek pomocí senzomotorického procesu. Motorická fúze zajišťuje pohyb očí takovým směrem, aby došlo k protnutí obou vizuálních os ve fixovaném předmětu. Senzorická fúze je psycho-fyziologický děj, který zajišťuje splnutí obrazů s absencí pohybů očí. [26]

Stereopse

Stereoskopické vidění vytváří prostorový dojem pozorovaného předmětu. Dochází k němu za podmínky, že se obrazy na sítnici zobrazí z mírně disparátních bodů obou sítnic. Jedná se o nejvyšší možný stupeň binokulárního vidění, který je zachován i přes nepatrné fyziologické nedokonalosti či nízký refrakční deficit očního páru. [24;27]

2.2 Fyziologie binokulárního vidění

Sítnicová korespondence

Dochází-li k fixaci bodů pozorovaného předmětu uprostřed fovey, jedná se o centrální fixaci. Při neporušené binokulární fúzi by měl být pozorovaný objekt fixován uprostřed fovey sítnice obou očí tak, aby došlo ke střetnutí fixačních linií právě v tomto objektu. V takovém případě se jedná o bicentrální fixaci s korespondujícími místy na sítnici. Nekorespondující místa jsou ta, kde dochází k fixaci na disparátních místech. [24;27]

Horofter, Panumův prostor, Panumův areál, Fyziologická diplopie,

Horofter je soubor všech bodů pozorovaného objektu, který je fixován na korespondujících místech sítnice za předpokladu vzniku jednoduchého binokulárního

vidění. Pokud se body objektu zobrazí mimo křivku horopteru, je pro zachování stereopse důležitá vzdálenost disparátních bodů. Tvar horopteru se mění v závislosti na vzdálenosti fixovaného bodu od oka. Čím dále se nachází, tím se jeho tvar přibližuje konvexní křivce. Panumův prostor označuje prostorovou část před a za horopterem, kde může být docíleno stereoskopického vidění. Dojde-li k překročení meze disparace, vznikne fyziologická diplopie. Důvod, proč člověk fyziologickou diplopií nevnímá, je vědomé soustředění se na jednoduchý a ostrý obraz. Umělé navození tohoto stavu lze docílit pomocí dvou tužek, které se svísele za sebou přidrží před očima. Vzdálenější tužka se tak po malé chvíli bude jevit dvojitě. Panumův areál je prostor v okolí sítnicového bodu, ve kterém je tolerovaná určitá míra disparace. Body, zobrazující se v oblasti Panumova areálu budou senzoricky zpracovány jako jednoduché. [22;24;28]

3 Heteroforie

Heteroforie je v rámci binokulárního vidění kompenzovaná motorickou fúzí. Při binokulární spolupráci očí by se tedy žádné zjevné změny v postavení očí neměly projevit. K této změně dochází po zrušení fúze nebo po energetickém vyčerpání okoohybných svalů. Pokud zrakový systém vykazuje větší vergenční námahu ve snaze o zachování určitého postavení očí a bude tento stav doprovázen astenopickými obtížemi, bude se jednat o dekompenzovanou heteroforii. Ta může být doprovázena také menšími fúzními rezervami, přítomností fixační disparity, pomalejšími reakcemi uchylujícího se oka, supresií či diplopií. Kompenzovaná heteroforie je plně korigovaná motorickou složkou zraku bez projevu astenopických příznaků a se zachováním plně funkčního binokulárního vidění se stereopsi a přítomností patřičné fúzní rezervy. Heteroforie různých druhů a hodnot se vyskytují u každého z nás. Podle Hamburgra (1960) je pro zachování přirozeného dívání nezbytné, aby fyziologické hodnoty heteroforie nepřesáhly v horizontálním směru 5° , ve vertikálním 1° a cykloforii 3° . [26;27;28]

3.1 Typy a směry heteroforie

Vergenční změny očí mohou být vyvolané nesprávnou centrací brýlových čoček s následně vzniklým prizmatickým účinkem. Tento stav se označuje jako arteficiální heteroforie. Optická heteroforie je vyvolána anizometrií. Anizoforie je typ heteroforie, která vzniká při změně velikosti úchyly při pohledu přes brýlovou čočku v různých směrech. Podle toho jakým směrem se po zrušení fúze oko stočí, rozděluje se heteroforie na vertikální a horizontální. Základní typy heteroforie jsou uvedeny v tabulce 7. Dojde-li k tomu, že je vertikální podobnost úchyly na pravém a levém oku přibližně totožná, ale má obrácený směr, jedná se o pozitivní či pravou hyperforii. V postavení očí se to projeví tak, že oko pravé směřuje nahoru, zatímco levé oko dolů. Negativní hyperforie se projevuje opačně. Cykloforie, kterou nelze korigovat brýlovými čočkami, označuje vzájemné stáčení očí v různém směru. Incykloforie značí směr stočení vertikální osy nasálně a excykloforie označuje směr sklonu temporálně. Pokud má heteroforie stejnou hodnotu do dálky i do blízka, označuje se jako základní. [22;26;27]

Tabulka 7 Základní typy heteroforie [27]

Vertikální heteroforie	Horizontální heteroforie	Smíšená heteroforie
Směr nahoru (hyperforie)	Směr nasálně (esoforie)	Vertikální a horizontální heteroforie
Směr dolů (hypoforie)	Směr temporálně (exoforie)	

3.2 Fixační disparita a heteroforie

U optimální binokulární korekce je důležité zohlednit pacientovy pracovní návyky, při kterých by mělo být docíleno plně vyvážených vergenčních poměrů. Z tohoto důvodu se využívají testy, které nabízejí různé fúzní podněty. Tato skutečnost by měla ve vyšetřovacích místnostech simulovat co nejreálnější podmínky přirozeného vidění. [22]

Vyšetřuje-li se binokulární vidění s těmito fúzními podněty, stanovuje se podle Rutrleho (2000) fixační disparita. Naopak korekce heteroforie spočívá ve vyšetření bez jakéhokoliv nadbytečného fúzního podnětu v pacientově zorném poli [22]. Fixační disparita byla podle Diepese (2006) poprvé popsána v roce 1900, kdy Hofmann a Bielschowsky k jejímu určení použili haploskop. Tento fakt se stal základem pro vznik vyšetřovací metodiky podle J. Haase, dnes označovaná jako MKH. [30]. Fixační disparita je podle německé normy DIN 5340:1996-04 (1986) definovaná jako malá fixační úchylka, kdy vizuální osy obou očí neprotínají pozorovaný předmět, avšak jejich střetnutí pořád spadá do Panumova prostoru. [29]

Fixační disparita je podle MKH metody rozdělena na fixační disparitu I. a II. stupně. Fixační disparita I. stupně se projevuje u heteroforie, která již není dostatečně motoricky kompenzovaná. Bicentrální korespondence je zachovaná na základě vyrovnávací složky, kterou tvoří senzorická fúze. Tímto dojde k projevení astenopických obtíží. Fixační disparitu II. stupně je možné označit za druhé stádium fixační disparity I. stupně. Jde o stav, kdy fovea jednoho oka začne pevně spolupracovat s disparátním místem oka druhého, s pseudofoveou. K tomu může dojít na základě protažení Panumových areálů. Vzniklá úchylka nemůže být kompenzovaná motoricky, proto dochází ke snížení zrakové ostrosti, narušení stereopse a vzniku útlumového skotomu na uchylujícím se oku. [22]

3.2.1 Řešení dekompenzované heteroforie

Korekce refrakční vady

Základním pilířem dobrého vidění je vyvážená a správně stanovená korekce refrakčního deficitu do dálky i do blízka včetně malých ametropií. Stěžejní jsou pacienti s nekorigovanou či nedostatečnou korekcí hypermetropie, jejichž subjektivní obtíže se mohou podobat znakům heteroforie. Dále je nutné zkontrolovat korekční pomůcku, její centraci a popřípadě ji upravit a informovat pacienta o jejím režimu nošení. [27]

Úprava sférické korekce

Princip úpravy sférické hodnoty korekce spočívá v překorigování nebo podkorigování. U esoforie, která může souviset s dlouhodobou zátěží zraku na blízkou a pracovní vzdálenost, se pacientovi předepisuje adice. Ta zabrání akomodaci a tím vyvolané konvergenci. Hodnotu adice je nutné prakticky vyzkoušet v astigmatické zkušební obrubě. U exoforie je možná sférická úprava pomocí přidání rozptylných čoček, které naopak akomodaci vyvolají. [27;28]

Prizmatická korekce

Brýlové čočky s prizmatickým účinkem umožňují korekci exoforie, esoforie i smíšené heteroforie. U dětí je prizmatická korekce často zvolena jako doplňující terapie, která je kombinovaná se zrakovým tréninkem. U dospělých pacientů, u kterých není zrakovým tréninkem docíleno dobrých výsledků, představuje prizmatická korekce rychlou a efektivní metodu jak příznaky heteroforie eliminovat. [22]

Zrakový trénink

Zrakový trénink spočívá v nácvikuvergence a s tím související akomodace. Cílem je udržení jednoduchého binokulárního vidění s menším vynaloženým úsilím. Zrakový trénink se doporučuje především dětem, jelikož účinnost takovéto terapie klesá s věkem pacienta. U dospělých lze zrakový trénink pojmut jako změnu pracovních návyků, např. úpravou vhodné čtecí vzdálenosti. Účinnost této terapie je podmíněná dlouhodobým opakováním. Nevýhodou zůstává nižší účinnost u vertikálních odchylek. Indikací k chirurgické léčbě je neúspěch výše zmíněných metod korekce heteroforie a také přechod forie do manifestního stavu. [27;28]

3.3 Jak poznat heteroforii?

Vyšetření binokulárního vidění předchází kompletní anamnéza a monokulární korekce s následným binokulárně-akomodačním vyvážením. Již při prvním setkání s pacientem by si měl vyšetřující všimnout jeho postavení očí, náklonu hlavy a pracovních návyků. Nezbytné je také zhodnocení dosavadní korekce a kontrola centrace optické pomůcky, pokud ji pacient používá. Pro rozklíčování heteroforie, či pro její případné řešení prizmatickou korekcí je zásadní anamnéza (lékařská, pracovní, osobní). Dále by měly být zaznamenány konkrétní potíže, jejich případné řešení pacientem a doba od kdy se objevují. Neméně důležitý je i vizuální komfort při řízení a sportech, či změny, které ve vidění během dne nastávají. Po podrobné anamnéze se provede subjektivní refrakce, u které se heteroforie může projevit tak, že dosažený binokulární visus bude horší než

monokulární. Následují testy na funkci oční motility, rozsah fúzních rezerv, hodnoty blízkého bodu konvergence a AC/A poměru. V poslední řadě se použijí testy, které jsou určené k potvrzení funkce binokulárního vidění a provede se měření heteroforie. Pokud by došlo k prizmatické korekci heteroforie, je nutné zkontrolovat binokulárně-akomodační vyvážení. [22;31;32]

3.3.1 Orientační test motility

Tento test slouží k posouzení motility očí, která by v rámci heteroforie měla být volná. Test se provádí monokulárně nebo binokulárně. Primárně se vyhodnocuje motilita a případná úchylka. Dále pak subjektivní diplopie, postavení hlavy a vzájemná symetrie rohovkového reflexu. Pacient fixuje výrazný předmět, který se předkládá do šesti pohledových směrů ve vzdálenosti 0,5 m před okem. Tento jednoduchý test se využívá také v kombinaci se zakrývacím testem, který se provádí ve směrech, kde je daná úchylka nalezena. [25;31]

3.3.2 Zakrývací test

Zakrývací test (Cover test) patří mezi nejčastěji prováděné testy k hodnocení binokulárního vidění. Provedením zakrývacího testu může optometrista potvrdit u pacienta heteroforii, heterotropii či ortoforii. Test poskytuje informace o směru a velikosti úchylky v horizontálním či vertikálním směru. Rozděluje se na alternativní (alternate-cover test) a intermitentní (cover-uncover test). U intermitentního testu se zakryje jedno oko na 1-2 sekundy, zatímco se sleduje pohyb oka druhého. To se může jevit stále uchýlené, avšak svým vyrovnávacím pohybem může po krátké době fixaci přebrat. Tímto testem se stanovuje heterotropie. U alternativního testu dochází k rychlému a střídavému zakrývání pravého a levého oka. Heteroforie se projeví tak, že původně zakryté oko se ihned po odkrytí vrátí do fixní polohy. Pohyb, který toto oko vykoná, se nazývá vyrovnávací (fúzní). Při nejisté, či dlouhotrvající fixaci je možná přítomnost amblyopie nebo amblyopie s excentrickou fixací. [24;28]

Oba typy testů se vždy provádí s pacientovou korekcí. Ten pozoruje fixační bod ve vzdálenosti 0,5 m nebo 5-6 m. Vyšetřující předkládá neprůhlednou okluzní destičku, za účelem zrušení fúze. U ortoforie nedojde po zrušení fúze k žádným zjevným změnám v postavení očí. U alternativního testu je potřeba předsazovat neprůhledný okluzor střídavě před každým okem minimálně 4x. Je možné, že úchylky do 3 ° nemusí být tímto druhem testu odhaleny. [24;28]

Existuje také modifikovaný zakrývací test, který využívá prizmatické čočky nejčastěji ve formě prizmatické lišty. Vyšetřovanému jsou předkládány prizmata proti směru úchylky až do chvíle, než kompenzační pohyb uchylujícího se oka vymizí. Výsledná prizmatická hodnota odpovídá velikosti úchylky oka. Hromádková (1995) udává, že tento test je možné považovat za přesný do 50 pdpt. [27;28]

3.3.3 Blízký bod konvergence (NPC)

NPC je nejbližší možný bod, na který dokážou obě oči konvergovat. NPC je dán vzdáleností mezi kořenem nosu a fixovaným bodem. Ten je k pacientovi postupně přibližován ze vzdálenosti 0,4 m až do bodu, kdy hlásí rozdvojené vidění. Dále se fixační bod oddaluje do okamžiku, než dojde ke vzniku opětovného jednoduchého vidění. Hodnoty takto změřeného NPC se udávají jako poměr vzdáleností, kdy došlo k rozdělení a ke spojení obrazu. Konvergence obou očí by měla být souměrná. Takto změřené hodnoty se považují za subjektivní. K objektivnímu měření se může přistoupit u osob s alternující supresií nebo supresií jednoho oka. Hodnota takto změřeného NPC je dána vzdáleností, při které došlo k počátečnímu uchýlení oka. Tento stav musí jednoznačně zhodnotit vyšetřující. Běžné hodnoty NPC se pohybují mezi 7 až 10 cm. NPC se s věkem nemění. [27;28;31]

3.3.4 Fúzní rezervy

Fúzní rezervy označují schopnost zrakového systému kompenzovat existující heteroforii. Testování se provádí za účelem zhodnocení funkce a stability motorické složky. To znamená, že pokud dojde k vyčerpání fúzních rezerv, dojde ke vzniku diplopie. Dále je šířka fúze potřebná k výpočtu prizmatické korekce podle Sheardova pravidla. K měření se nejčastěji využívají prizmatické lišty nebo foropter. Předsazované prizmatické čočky se během testování mohou vkládat pouze před jedno oko, nebo se souměrně rozložit před obě oči zároveň. Pacient sleduje řádek na optotypu ve vzdálenosti 0,5 m nebo 6 m s optimální korekcí. Při předkládání vyšších hodnot prizmatu se zaznamenávají ty hodnoty, kdy došlo k subjektivnímu vnímání rozmazání, rozdělení a opětovnému spojení obrazu. Fúzní rezervy se rozdělují na pozitivní a negativní. Pozitivní fúzní rezervy udávají maximální možnou konvergenci pomocí prizmat předkládaných s BO. Standartní hodnoty do dálky jsou 14/20/15 pdpt. Negativní fúzní rezervy navozují divergenci s prizmaty BI. Standartní hodnoty do dálky jsou -9/6 pdpt. Stanovení fúzních rezerv je významné i u hyperforie a hypoforie. Předsadí-li se prizma BU, navodí se infravergence. Naopak

předsazením prizmatu BD dojde k supravergenci. U měření vertikálních fúzních rezerv nedojde ke vzniku bodu rozmazání. Standardní hodnoty se pohybují mezi 1-4 pdpt. [27;28;31]

3.3.5 AC/A poměr

Tento vztah určuje, kolik pdpt pacient konverguje na 1 dpt akomodace. Ideální hodnota AC/A poměru je 4 pdpt /1 dpt. S přibývajícím věkem má tendence mírně klesat. U příliš vysokých hodnot AC/A poměru může být příčinou exces konvergence či divergence. Naopak nízké hodnoty mohou souviset s oslabenou konvergencí nebo divergencí. Pro zjištění AC/A poměru se využívá gradientní metoda a metoda výpočtu. Rovnice pro výpočet AC/A poměru má tvar:

$$AC/A = PD + FVB(Hb - Hd), \quad (25)$$

kde PD [cm] je vzdálenost zornic, FVB [m] označuje fixační vzdálenost do blízka, Hb [pdpt] a Hd [pdpt] jsou hodnoty fórie do blízka a do dálky. Metoda výpočtu se v dnešní době využívá velmi málo. Příčinou mohou být výrazně vyšší vypočítané hodnoty. Za více přesnou se považuje gradientní způsob. Ten se provádí s plným vykorigováním refrakčního deficitu na vzdálenost 0,4 m. K testování se používá Maddoxův test do blízka. Nejprve se zjistí fyziologický výskyt heteroforie a poté se předložením rozptylných čoček (=1dpt) před obě oči aktivuje akomodace. Takto navozená heteroforie se opět změní. Výsledkem je hodnota schopnosti vergenčního systému, která musí být překonána při příslušném předložení rozptylek. [21;27]

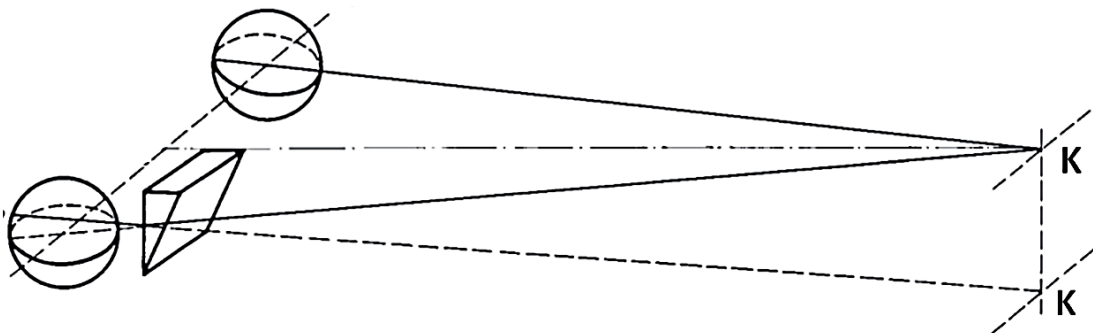
3.4 Vyšetření heteroforie

Testů k vyšetření heteroforie je mnoho a mezi odbornou veřejností panují různé názory a postoje k jednotlivým metodám a postupům. Následně budou popsány ty, se kterými je možné se setkat nejčastěji v české optometrii. Jednotlivé testy jsou založeny na oddělení zrakového vjemů pravého a levého oka pomocí polarizace, prizmatického účinku, anaglyfních filtrů a mechanického oddělení. V případě heteroforie dojde ke vzájemnému posunutí sledovaných znaků, jejichž poloha se upravuje předkládáním prizmatických čoček. Většina testů na vyšetření heteroforie existuje ve dvou variantách. Ty jsou určené na optické nekonečno a na vzdálenost 0,4 m. Provedení testů je totožné na všechny vzdálenosti. Každý test se provádí s brýlovou korekcí, která plně kompenzuje refrakční deficit. Je důležité, aby binokulární korekce do dálky odpovídala i zrakovému pohodlí při práci do blízka. [22]

3.4.1 Oddělení obrazu prizmatickým účinkem

Von Graefeho metoda

Tato metoda využívá k rozdělení zrakového vjemu uměle navozenou diplopii pomocí předsazovaných prizmat (obr. 14). Pacient sleduje znak na optotypu vždy z řádku vyššího než je jeho nejlepší zraková ostrost. Optimální je zobrazit pouze jeden znak, nikoliv celý řádek. Je to z důvodu lepší komunikace mezi vyšetřujícím a pacientem, který tak dokáže lépe rozpoznat posunutí sledovaného symbolu, na jejímž základě dochází k vyhodnocení testu. Pro zjištění horizontální úchyly se před oko předloží 6 pdpt BU. Pokud by nedošlo k subjektivní diplopii, je potřeba předložit větší prizmatickou hodnotu až do rozdvojení obrazu. Pacient by měl mít při předkládání prizmatu zavřené oči. Při stanovení vertikálních úchylek je postup stejný, ovšem vkládají se čočky s 12-15 pdpt BI. Zda se prizmata vloží před pravé nebo levé oko není podstatné. Důležité je si uvědomit, který znak je jakým okem vnímán. U ortoforie nedojde k žádnému posunutí a oba dva znaky budou vnímány vedle sebe nebo nad sebou. V případě heteroforie se oba dva znaky zarovnávají pomocí prizmatických čoček. Nevýhodou tohoto testu je uměle navozená diplopie, kterou pacienti vnímají jako velmi nepříjemnou. [23]



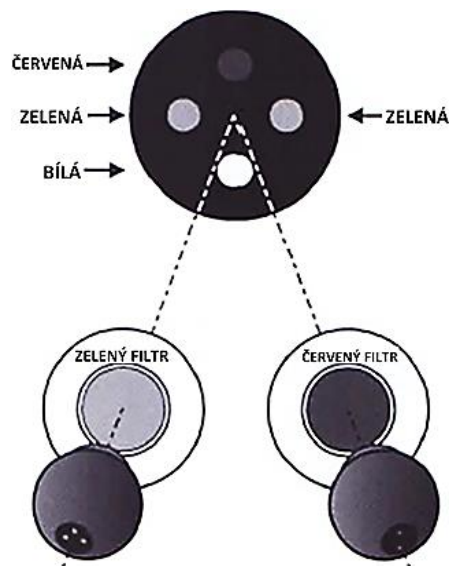
Obrázek 14 Von Graefeho test [23]

3.4.2 Anaglyfní testy

Anaglyfní testy disociují obraz na základě předložení barevných filtrů. Obvykle se předkládá před pravé oko červený a před levé oko filtr zelený. Tyto testy jsou založené na principu míchání barev. U aditivního míchání červené a zelené barvy dojde ke vzniku barvy bílé. U subtraktivního míchání je výslednou barvou černá. U všech anaglyfních testů je potřeba mít na paměti, že při předložení červeného filtru dochází k tomu, že se oko může stát mírně dalekozraké, zatímco předložením zeleného filtru krátkozraké. [1;2]

Worthova světla

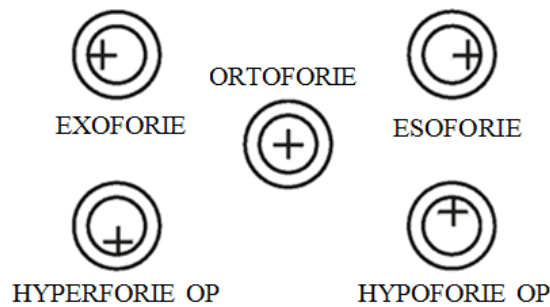
Tento velmi rozšířený test je tvořen čtyřmi znaky, z nichž spodní bílé kolečko, jakožto fúzní podnět, vnímá pacient jako jediný oběma očima (obr. 15). Dalšími znaky bývají nejčastěji dva zelené kříže v horizontální rovině a uprostřed nad nimi červený kosočtverec. V jiných testech se mohou vyskytovat všechny znaky stejné, většinou ve formě bílých terčů. Ovšem rozdílnost světelných znaků je výhodnější pro snadnější komunikaci s vyšetřovaným. V ideálním případě by měl pacient vidět dva zelené, jeden červený a jeden bílý znak bez vzájemného posunutí. Vlivem sensorické dominance může být spodní bílý znak vnímán více zeleně nebo červeně. Tento typ testu se využívá k vyšetření binokulárního vidění do dálky, jehož porucha se zjistí na základě posunutí pozorovaných znaků nebo jejich počtu. Test bývá součástí sady základních vyšetřovacích technik projekčního i LCD optotypu.[24]



Obrázek 15 Worthova světla [24]

Schoberův test

Schoberův test (obr. 16) je tvořen centrálním červeným křížem, který je obklopený jedním, případně dvěma soustřednými zelenými kruhy. Tento test se využívá především pro rozpoznání přítomnosti heteroforie, jejíž velikost se dá prakticky stanovit ze vzdálenosti posunutí sledovaných znaků. 1 pdpt je dána vzdáleností středu kříže k jeho konci ramene, mezi koncem kříže a vnitřní částí kruhu a dále mezi hranicemi jednotlivých kruhů. Schoberův test se využívá především ke zjištění heteroforie do dálky. [24]



Obrázek 16 Schoberův test [10]

3.4.3 Mechanický princip oddělení

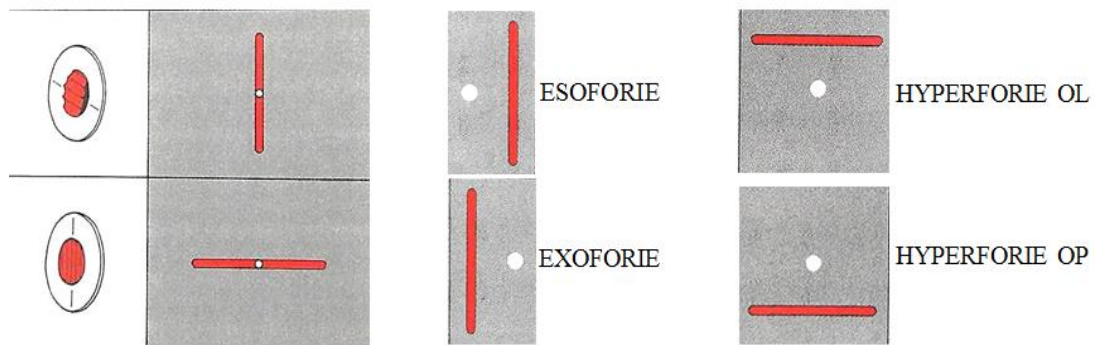
Bagoliniho test

Tento test využívá Bagoliniho čočky s nulovou vrcholovou lámavostí a s velmi jemnými paralelními drážkami. Jejich pozice musí v brýlové obrubě odpovídat úhlu rýhování 45° na oku pravém a 135° na oku levém. Takto nastavené vrypy změni vnímání světelného bodu do linie, která se bude jevit kolmo vůči pozici vrypů. Pacient by proto měl vnímat oběma očima kříž. K vyhodnocení dochází na základě posunutí, či chybění části kříže. Tímto testem se dá zjistit suprese, anomální retinální korespondence, cyklotropie či heteroforie. Provádí se jak na blízku, tak nekonečnou vzdálenost. Bagoliniho test se považuje za alternativu Worthových světel, jelikož zde dochází k menšímu vlivu disociace a tedy větší simulaci přirozených podmínek vidění. [24]

Maddoxův test

K provedení Maddoxova testu je potřeba Maddoxův cylindr a Maddoxův kříž. Maddoxův cylindr je tvořen barevným filtrem a systémem paralelních cylindrů. K podtrhnutí rozdílného vjemu pravého a levého oka se Maddoxův cylindr používá nejčastěji v barvě červené. Existují i varianty čiré nebo zelené. Pro měření horizontálních odchylek musí být Maddoxův cylindr předsazen do vertikální osy tak, aby vytvořil na Maddoxově kříži horizontální světlenou linii. Stanovují-li se vertikální úchyly, musí směr Maddoxova cylindru odpovídat ose horizontální. Maddoxův kříž je tvořen dvěma rameny, mezi nimiž se nachází bodový zdroj světla, tzv. Maddoxovo světlo. Na jednotlivých ramenech kříže je znázorněna stupnice ve stupních či pdpt. Maddoxův kříž se vyskytuje buď ve formě samostatného závěsného testu, nebo jako součást projekčních a LCD optotypů, na kterých je znázorněno pouze Maddoxovo světlo bez stupnice. Pro disociaci zrakového vjemu se Maddoxův cylindr předsadí před pravé oko, kterému se fixovaný bod světla protáhne v linii kolmo k předloženému směru cylindru, zatímco oko druhé fixuje stále bodový zdroj světla. K určení přesného směru vergenční

úchyly dochází vlivem posunutí čáry po Maddoxově stupnici (obr. 17). Dojde-li k tomu, že se vytvořená světelná linie bude nacházet uprostřed Maddoxova kříže, jedná se o ortoforii. Test se využívá výhradně ke stanovení horizontálních a vertikálních odchylek do dálky nebo blízka. Princip Maddoxova testu spočívá v úplném zrušení fúze. Toho je docíleno absencí fúzního podnětu. Na základě toho dochází k rozdílu tvaru, velikosti i barvy mezi zrakovým vjemem pravého a levého oka. [23;24;31]



Obrázek 17 Maddoxův cylindr a možnosti směru testované linie [24]

Herschelovov rotační dvojprizma

Herschelovo dvojprizma (diasporametru), označované v anglosaských zemích jako Risleyho prizma, je prizmatický kompenzátor sloužící ke korekci heteroforie a k diagnostice cykloforie. Toto prizma se s hodnotou 0 pdpt předsadí před libovolné oko společně s Maddoxovým cylindrem. Jako testové pole se používá opět Maddoxův kříž. Vzájemným otáčením Herschelovým prizmatem se mění hodnota pdpt. Cílem je opět protnutí světlené linie s fixačním světlem, které pacient pozoruje. Výsledná korekce heteroforie je dána rozdílem obou hodnot prizmatu. [27;30]

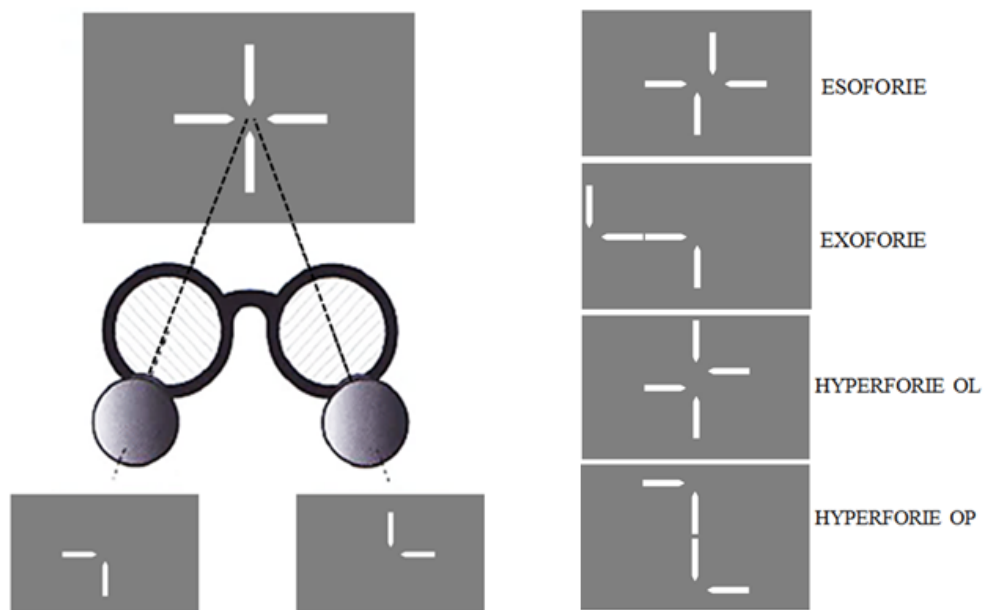
3.4.4 Polarizační testy

Polarizační testy se stále více stávají neodmyslitelným standardem každé optometristické praxe. Veliké oblibě se jim dostává kvůli přesnosti v měření. Nevýhodou zůstává vyšší pořizovací cena polarizačního optotypu. Princip polarizačních testů spočívá ve využití analyzátoru a polarizátoru. Polarizátorem se rozumí konkrétní polarizační znak na optotypu. Analyzátoři představují polarizační filtry, které jsou vloženy do zkušební obruby, nebo se k ní přichytí ve formě předsádek. Je třeba rozlišit, jaký typ polarizace daný optotyp využívá. U lineárně polarizačních fólií musí směr polarizace odpovídat „A“ nebo „V“ směru. Při „A“ polarizaci je směr analyzátoru na pravém oku 45° a na oku levém 135° . U „V“ polarizace je tomu naopak. Dalším typem je polarizace kruhová, která nevyžaduje konkrétní směr stočení analyzátorů. Polarizační analyzátoři způsobí rozdělení

zrakového vjemu tak, že vyšetřovaný bude vnímat část textu či znaku pravým a část levým okem. Polarizace se rozděluje na negativní a pozitivní. Princip negativní polarizace využívají projekční optotypy, kde vyšetřovaný pozoruje nepolarizovaný znak na polarizovaném pozadí. Nevýhodou těchto testů může být zhoršené vnímání kontrastu mezi znakem a jeho pozadím. U pozitivní polarizace je na rozdíl od pozadí polarizovaný daný znak. Tento typ polarizace využívají LCD optotypy. [10;23]

Křížový test

Křížový test bez fúzního podnětu (obr. 18) se používá pro měření motorické složky zraku. U ortoforie by mělo dojít ke vnímání stejně dlouhé a kontrastní horizontální i vertikální linie, bez vzájemného posunutí. Rozdíl v kontrastu ramen by mohl značit nesprávnou hodnotu sférocylické korekce. Polarizační kříž by se měl také jevit stabilně. Změny od základního postavení očí se projeví posunutím jednoho nebo více ramen v různých směrech. Může dojít také k chybění části nebo celého ramena. Tento stav by mohl značit supresi. Křížový test se vyskytuje v mnoha modifikacích v závislosti na zvoleném typu optotypu a polarizace. Často se vyskytují testy, kde oko pravé vnímá horizontální a oko levé vertikální linii. Pro experimentální účely této práce bude sloužit křížový test, kde oko pravé bude vnímat horní vertikální a pravou horizontální linii a oko levé levou horizontální a dolní vertikální linii. I když součástí testu není periferní ani centrální fúzní podnět, lze předpokládat, že nepolarizované předměty vyskytující se mimo oblast testované plochy a rám optotypu, mohou periferní podnět simulovat. Do měření se tak může zapojit část sensorické složky zraku. [23;24]



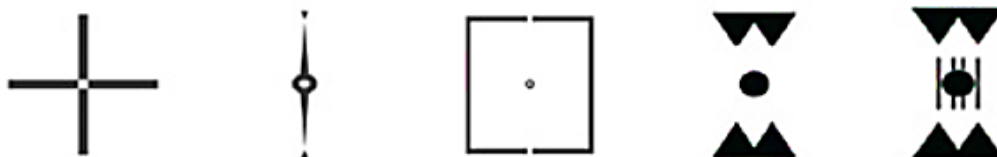
Obrázek 18 Křížový test bez fúzního podnětu

Schoberův polarizační test

Princip korekce heteroforie zůstává stejný jako u anaglyfního Schoberova testu. Na základě jiného principu oddělení zrakového vjemu může dojít k rozdílným výsledkům testu. Rozdíly od anaglyfního provedení testu spočívají v tom, že zde pacient do vyšetření nemůže zahrnout své subjektivní emoce vyvolané červenou nebo zelenou barvou. Polarizační varianta testu je tak označována jako objektivně přesnější. [23]

MKH (Mess und Korrektionsmethodik nach Haase)

Testování se provádí postupně pomocí pěti navazujících testů (obr. 19). Proto, aby se mohlo přistoupit vždy k testu dalšímu je potřebné, aby jednotlivé znaky byly vyšetřovaným zhodnocené jako jednoduché s vyváženým kontrastem, symetrií a pozicí neměnnou v čase. Předpokladem správného určení těchto kritérií je, že se daný znak zobrazí v centrálním, popřípadě paracentrálním prostoru fovey. Případná prizmatická korekce se v rámci měření MKH předkládá před obě oči zároveň. Kromě prvního křížového testu, obsahují další čtyři centrální fúzní podnět, který je nepolarizovaný a pozorovaný oběma očima zároveň. [23;22]



Obrázek 19 Soubor testů pro MKH [22]

Křížový test

Křížový test umožňuje korekci motoricky kompenzované úchylky a současně fixační disparity I. stupně. Je tvořen dvěma liniemi, které jsou ohraničeny šedým rámem, který slouží jako periferní fúzní podnět. Při nestejném postavení horizontálních a vertikálních ramen kříže se prizmatické čočky předkládají nejprve před tím okem, u kterého se nalezená úchylka jeví větší. Proto, aby mohl vyšetřovaný správně zhodnotit kvalitu a pozici kříže je důležité, aby mu byla poskytnuta dostatečně dlouhá doba, ve které postupně dojde k celkovému uvolnění fúzního napětí. K dosažení optimálních výsledků je možné tento test provést několikrát za sebou s časovými rezervami. Pro korekci horizontální úchylky se předkládá prizmatická korekce po 1 pdpt a vertikálně po 0,5 pdpt. [22;24]

Ručičkový test

V počáteční koncepci byl tento test navržen pro rozeznání cykloforie a aniseikonie. Na ručičkovém testu je možné prokázat také fixační disparitu I. stupně. Toho se ale nevyužívá. Dnes se ručičkovým testem stanovuje výhradně fixační disparita II. stupně.

Test obsahuje centrální fúzní podnět ve formě černého kroužku a stupnice. Vyšetřovaný porovnává směr šipky, která by v ideálním případě měla směřovat do středu stupnice. Pokud je přítomna úchylka, předkládá se prizmatická hodnota v horizontálním směru po 0,25 až 0,5 pdpt a ve vertikálním po 0,5 pdpt. [22;24]

Hákový test

Hákový test slouží v MKH nejen ke stanovení fixační disparity II. stupně, ale také pro zhodnocení aniseikonie. Před zavedením křížového testu, se využíval stejně jako ručičkový test pro určení fixační disparity I. stupně. Test je tvořen dvěma háky, mezi kterými se nachází fúzní podnět. Háky jsou od sebe odděleny mezerou, která zabraňuje fúzi obou konců a zajišťuje tak rozlišení každého znaku zvlášť. Vyšetřovaný sleduje každým okem jeden polarizovaný hák a porovnává jejich vzájemné postavení a velikost. Hákový test se vyskytuje ve variantě s horizontální i vertikální pozicí znaků. Horizontální pozice znaků se využívá pouze ke stanovení horizontální aniseikonie. Aplikace prizmatické korekce je totožná jako u předešlého ručičkového testu. [22;24]

Stereotest

V tomto typu testu se porovnává trojúhelník nad a pod centrálním fúzním podnětem. Při neporušeném binokulárním vidění, by měli být trojúhelníky vnímané jednoduše a prostorově. Stereoskopické vidění se určuje pomocí porovnání prostorového vnímání znaků s fixačním bodem v závislosti na čase. Testování spočívá v otáčení analyzátorů do „A“ a „V“ směru, pomocí kterých vyšetřovaný porovnává prodlevu prostorového vnímání trojúhelníků. Pokud se jeví trojúhelníky více vpředu, předloží se prizma BI a naopak. Je-li zpoždění stejné v obou směrech stočení analyzátorů, aplikuje se prizmatická korekce ve vertikálním směru. Subjektivní vnímání tohoto testu má velmi malý význam pro aplikaci konečné prizmatické korekce. Momentální kvalita obrazu vyšetřovaného je jakým si upozorněním či zhodnocením prostorového vnímání. Pro aplikaci prizmatických čoček se používají hodnoty od 0,25 pdpt.

[22;24]

Valenční test

Valenční test se využívá k odhalení nepatrných odchylek sítnicové korespondence. Vyšetřovaný porovnává prostorovou hloubku dvou trojúhelníků, mezi nimiž se opět nachází černá fúzní značka se stupnicí. Valence vyjadřuje vzájemnou spolupráci očí podílející se na hloubkovém vidění. Princip tohoto testu je velmi podobný stereotestu, ovšem s rozdílem, že je zde zohledněna prevalence (oční dominance). To znamená, že posunutí znaků je závislé na směru vedoucího oka. Každé posunutí trojúhelníku

po stupnici udává 20, 60 nebo 100% prevalenci. Pokud změny polohy analyzátoru způsobují nestejně stereoskopické vidění, je možno jej vylepšit předložením prizmat. Je-li prevalence větší u stočení analyzátorů do „A“ směru, předkládají se prizmata BO a naopak. Při stejné nebo velmi podobné prevalenci se aplikují prizmata ve vertikálním směru. Ke korekci se využívají hodnoty od 0,25 pdpt. [22;24]

3.5 Stanovení konečné prizmatické hodnoty

Podle MKH metody

Cílem MKH metody je maximální možná korekce senzorické složky oka. Z tohoto důvodu se veškerá prizmatická hodnota naměřená podle této metodiky aplikuje v plné míře do konečné brýlové korekce. Je ovšem nutné zohlednit fakt, kdy vlivem nepřesnosti této metody, může dojít k nechtěnému prizmatickému překorigování. [22]

Maddoxovo pravidlo

Hodnoty heteroforií zjištěné podle Maddoxova kříže s využitím Maddoxova cylindru neodpovídají konečným hodnotám použitých v brýlové korekci. Podle Rutrleho (2000), doporučuje Maddox korigovat až $2/3$ z celkové prizmatické hodnoty určené do dálky, ze které by měla brýlová korekce esoforie obsahovat $2/3$ této latentní úchytky. Do blízka by pak měla být využita celá naměřená prizmatická hodnota. U exoforie do dálky je doporučena korekce $1/2$ až $1/3$ a do blízka $1/4$ naměřené hodnoty. [22]

Sheardovo kritérium

Výsledná prizmatická korekce podle Sheardova kritéria je rovna rozdílu $2/3$ heteroforie a $1/3$ fúzní rezervy, která představuje hodnotu bodu rozmazání. V případě, že jsou fúzní rezervy rovny nebo dvakrát větší, než velikosti samotné heteroforie, nedojde pravděpodobně k žádnému projevu astenopických potíží. Sheardovo pravidlo se využívá především pro korekci exoforie. [31]

Percivalovo kritérium

Výsledné prizma se podle Percivalova kritéria vypočítá jako rozdíl $1/3$ větší fúzní šířky a $2/3$ menší fúzní šířky. Pokud vyjde výsledná prizmatická hodnota kladně, je možné tuto hodnotu aplikovat do brýlové korekce. Při výsledné záporné nebo nulové hodnotě, je na zvážení vyšetřujícího, zda prizmatickou korekci doporučí. Percivalovo pravidlo lze použít pod podmínkou, že velikost menší fúzní šířky dosahuje větších hodnot než $1/2$ větší fúzní šířky. Toto kritérium se využívá při korekci esoforie i exoforie. [10;31]

Grafická analýza heteroforie

Grafická analýza umožňuje zohlednění akomodačně-vergenční schopnosti zrakového systému. Výsledkem je křivka v grafu, na jejímž základě může dojít k vyhodnocení rozsahu jednoduchého binokulárního vidění. Na horizontální přímce grafu je znázorněna hodnotavergence [pdpt] a na vertikální je dána akomodační schopnost oka [dpt]. [10]

4 Experimentální srovnání Maddoxova a polarizačního křížového testu

4.1 Metodika

Vyšetřované osoby

Do výzkumu byli náhodně vybráni studenti FBMI ve věku 20 až 25 let. Od listopadu 2015 do března 2016 jsem změřila 58 osob. 6 osob jsem do výzkumu zařadit nemohla. U jedné z nich jsem neprokázala funkci binokulárního vidění a u zbylých pěti jsem nenaměřila žádné funkční odchylky. Do výzkumu bylo zařazeno tedy 8 mužů a 44 žen. Z nichž pouze 3 měli symptomy dekompenzované heteroforie. U 6 osob byla naměřena smíšená heteroforie. Z důvodu nízkého počtu zastoupení vertikálních odchylek, budou v dalším vyhodnocení zahrnuty pouze jejich horizontální složky.

Postup vyšetřování

Celé vyšetření trvalo 35 až 45 minut a probíhalo v optometristické laboratoři na FBMI. U všech osob jsem volila vždy stejný postup. Vyšetření jsem začala podrobnou anamnézou. Dále jsem určila sférocylickou korekci s dosažením nejlepší možné zrakové ostrosti. K určení astigmatismu jsem použila bodový test a Jacksonův zkřížený cylindr. K akomodačnímu vyvážení pak Humphrisovu metodu. I když ve výzkumné části nezohledňuji změny korekce do blízka, přesto jsem subjektivní refrakci vyzkoušela i na blízkou a pracovní vzdálenost. Následně jsem si ověřila přítomnost binokulárního vidění Worthovými světly a provedla zakrývací testy. V další fázi jsem přistoupila k samotnému měření heteroforie do dálky. Nejdříve jsem provedla měření na křížovém a následně na Maddoxově testu. Pokud jsem těmito testy prokázala heteroforii, upravila jsem optický střed prizmatické korekce a ptala se na subjektivní hodnocení vizuálního komfortu. U každé osoby jsem následně stanovila binokulární visus s naměřenou prizmatickou korekcí. Za dobře přečtený řádek jsem považovala ten, pokud byly správně přečteny 3 znaky z 5.

Přístrojové vybavení

K vyšetření subjektivní refrakce jsem použila projekční optotyp HUVITZ CCP 3100, který využívá princip negativní polarizace. Dále pak sadu zkušebních čoček, anaglyfní filtry, Jacksonův zkřížený cylindr a astigmatickou zkušební obruč OCULUS. K měření heteroforie jsem polarizačním křížovým testem použila lineární polarizační předsádky

OCULUS. Křížový test byl součástí sady testů projekčního optotypu. K měření Maddoxova testu jsem využila samostatně závěsný Maddoxův kříž o rozměrech 1,3x1,3 m společně s červeným Maddoxovým cylindrem. Dále pak prizmatické lišty a prizmatické čočky po 0,5 pdpt.

Statistické metody

Medián a aritmetický průměr

Medián je hodnota, která popisuje konkrétní soubor dat. Jde o prostřední číslo, kdy polovina čísel ve vzorku bude mít vyšší a polovina nižší hodnotu. Aritmetický průměr je dán sumou všech hodnot, vydělené jejich počtem. Na rozdíl od mediánu je vhodný pro soubor dat, jejichž hodnoty nemají velký rozptyl. Vzhledem k tomu, že se v experimentální části vyskytují hodnoty s většími i menšími odchylkami, budu uvádět aritmetický průměr i medián zároveň. [33]

Dvouvýběrový párový T- test na střední hodnotu

Tento test se používá pro statistické vyhodnocení jedné skupiny, u které se provádí měření stejného znaku. V této práci se jednotlivá měření liší typem prováděného testu. T-test statisticky vyhodnotí, zda se střední hodnoty obou testů rovnají. Shodnost porovnávaných dat a rovnost středních hodnot budou zastoupeny platností nulové hypotézy H_0 . Pro výzkumné účely této práce byla zvolena 5% hladina významnosti. Nulová hypotéza bude zamítnuta, bude-li hladina statistické významnosti p nižší než stanovená hladina významnosti 5 %. V takovém případě bude platit hypotéza alternativní H_A . To znamená, že střední hodnoty porovnávaných dat se budou statisticky lišit. [33]

4.2 Hypotézy

Cílem práce je porovnat dva testy, které slouží ke zjištění a korekci heteroforie do dálky. V české optometrii se používá mnoho testů a existují i různé přístupy ke každému z nich. V experimentální části bakalářské práce se tak pokusím porovnat polarizační křížový a Maddoxův test. Jde o testy, které jsou dostupné a mezi odbornou veřejností velmi známé. Hypotézy, které jsem si na začátku měření stanovila, vychází z teoretických znalostí získaných na FBMI v rámci odborných předmětů. Vyhodnocení hypotéz jsem se rozhodla provést na základě dvouvýběrového párového T-testu. Celkem jsem stanovila 7 hypotéz. U hypotéz 3,4,6 a 7 nejdříve potvrdím či vyvrátím platnost nulové hypotézy. To znamená, že prokážu, zda se naměřené hodnoty statisticky liší. Domnívám se, že při hodnocení binokulárního vidění je velmi důležitý individuální přístup

a řešení ze strany optometristy. Proto uvedu 3 kazuistiky osob s příznaky dekompenzované heteroforie.

Hypotéza 1:

Předpokládám, že zastoupení heteroforie ve zkoumané skupině bude větší než 80 %.

Hypotéza 2:

Předpokládám, že zastoupení esoforie ve zkoumané skupině bude větší než 50 %.

Hypotéza 3:

Předpokládám, že Maddoxovým testem budou naměřené prizmatické hodnoty vyšší.

Hypotéza 4:

Předpokládám, že k častějšímu zhoršení visu dojde hodnotami naměřenými Maddoxovým testem.

Hypotéza 5:

Předpokládám, že rozdíly prizmatických hodnot mezi oběma testy budou nejvíce zastoupené v rozmezí 2-4 pdpt.

Hypotéza 6:

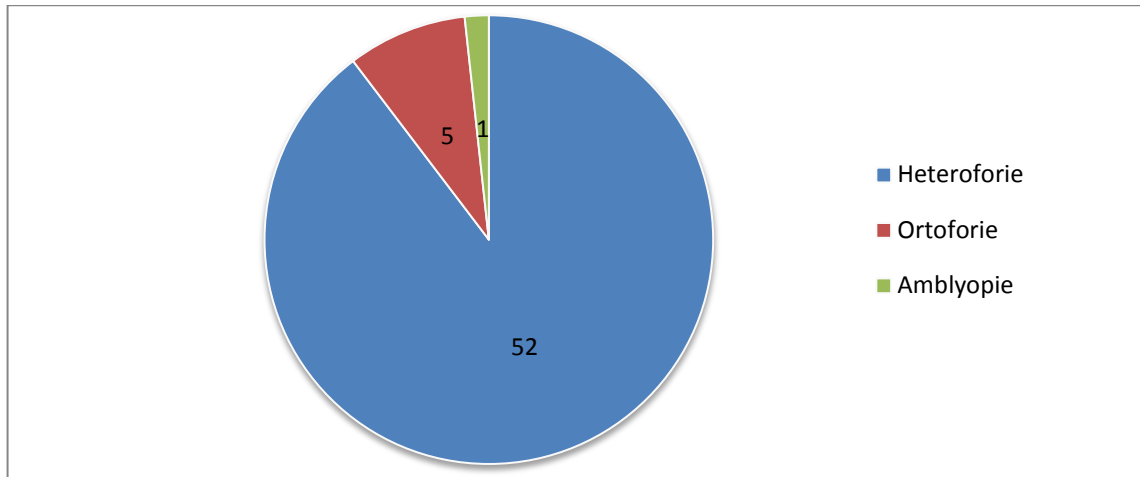
Předpokládám, že hodnoty naměřené Maddoxovým testem budou častěji subjektivně hodnocené jako nepohodlné a nepříjemné, než hodnoty naměřené polarizačním křížovým testem.

Hypotéza 7:

Předpokládám, že u osob bez příznaků dekompenzované heteroforie, budou hodnoty vyšší než 6 pdpt subjektivně hodnoceny jako nepříjemné.

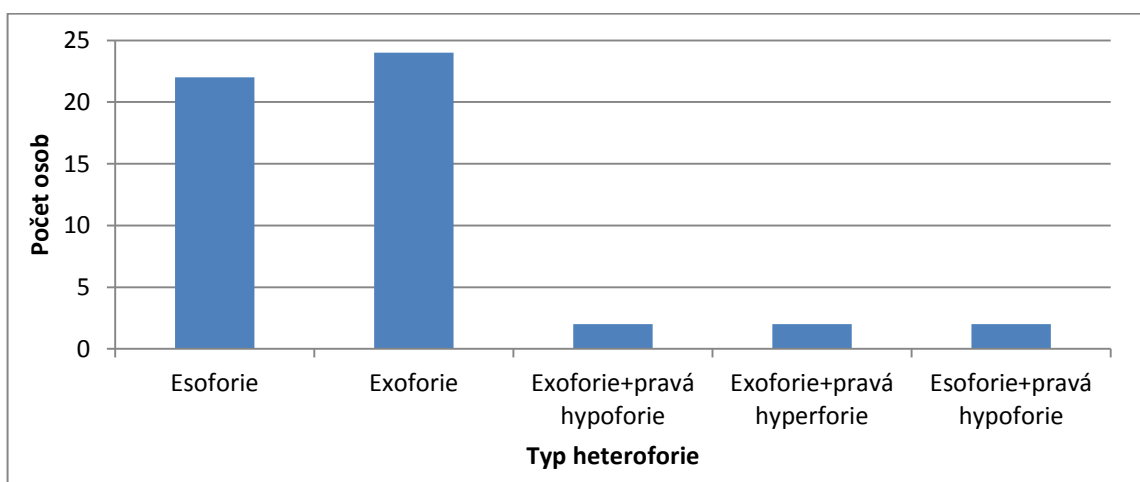
4.3 Výsledky

Do experimentální části jsem zařadila 8 mužů a 44 žen z původně změřených 58 osob. Na grafu v obrázku 20 je znázorněné rozložení původní zkoumané skupiny. Orotoforii jsem naměřila u 5 osob, heteroforii u 52 a u jedné osoby jsem zjistila amblyopii.



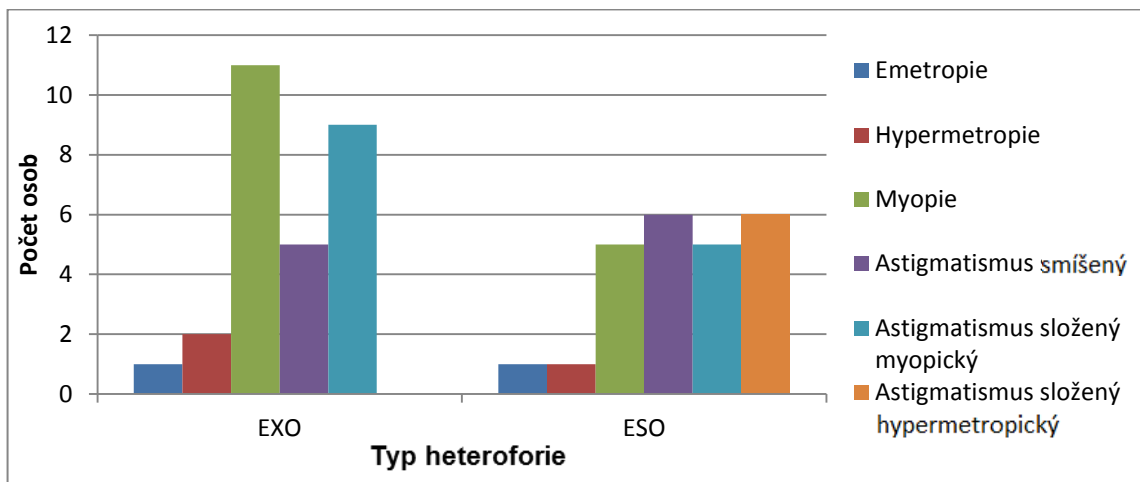
Obrázek 20 Výskyt heteroforie ve zkoumané skupině

Na grafu v obrázku 21 jsou uvedeny různé typy heteroforie. U 22 osob jsem zjistila esoforii, u 24 exoforii a u zbylých 6 smíšenou heteroforii. Jelikož je zastoupení vertikálních odchylek ve vzorku nízké a jejich hodnoty při měření nepřesáhly 1 pdpt, nebyly by takové výsledky statisticky významné. U těchto osob jsem do dalšího vyhodnocení zahrnula pouze horizontální složky. Zpracuji tak výsledky 24 osob s esoforií a 28 s exoforií. U 3 osob jsem v rámci anamnézy zaznamenala příznaky dekompenzované heteroforie.



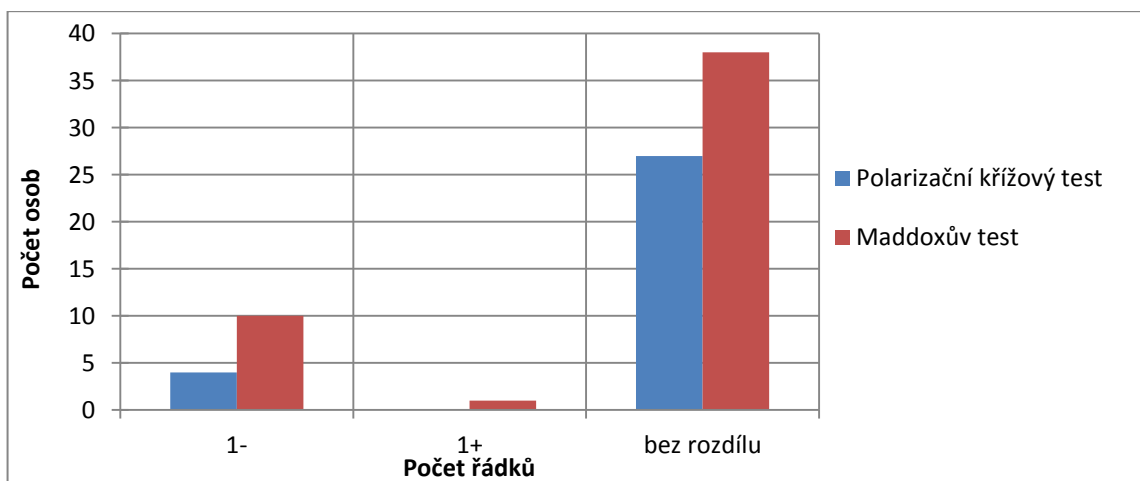
Obrázek 21 Zastoupení heteroforie ve zkoumané skupině.

Na grafu v obrázku 22 je uvedené zastoupení heteroforie u refrakčních vad. Ve zkoumané skupině se tak nacházel jeden emetrop s exoforií a jeden emetrop s esoforií, 2 hypermetropové s exoforií a jeden s esoforií, 11 myopů s exoforií a 5 s esoforií. U zbylých osob, u kterých jsem naměřila astigmatismus, byla zjištěna u 14 exoforie a u 17 z nich esoforie. Jednotlivé typy astigmatismu a úchyly u nich zjištěné, jsou podrobně zobrazeny v obrázku 22.



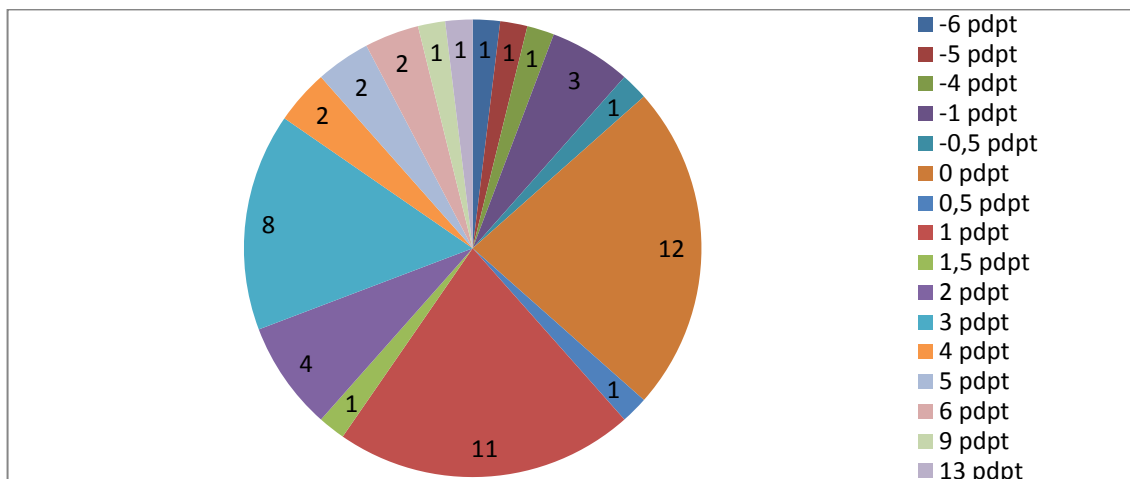
Obrázek 22 Zastoupení heteroforie u refrakčních vad

Na grafu v obrázku 23 jsou uvedené rozdíly řádků na optotypu mezi visem sférocylindrické korekce a korekce naměřené Maddoxovým a polarizačním křížovým testem. Na ose x jsou vyznačeny počty řádků. S žádnou prizmatickou hodnotou se mi nepodařilo visus zhoršit nebo zlepšit více jak o jeden řádek. Během měření došlo buď to ke zhoršení (1-), ke zlepšení (1+) nebo zůstal visus stejný. Z obrázku 23 vyplývá, že hodnotami naměřenými polarizačním křížovým testem se u 4 osob visus zhoršil a u 27 zůstal stejný. Hodnoty získané Maddoxovým testem u 10 osob visus zhoršily, u jedné zlepšily a u 38 nedošlo k žádné změně.



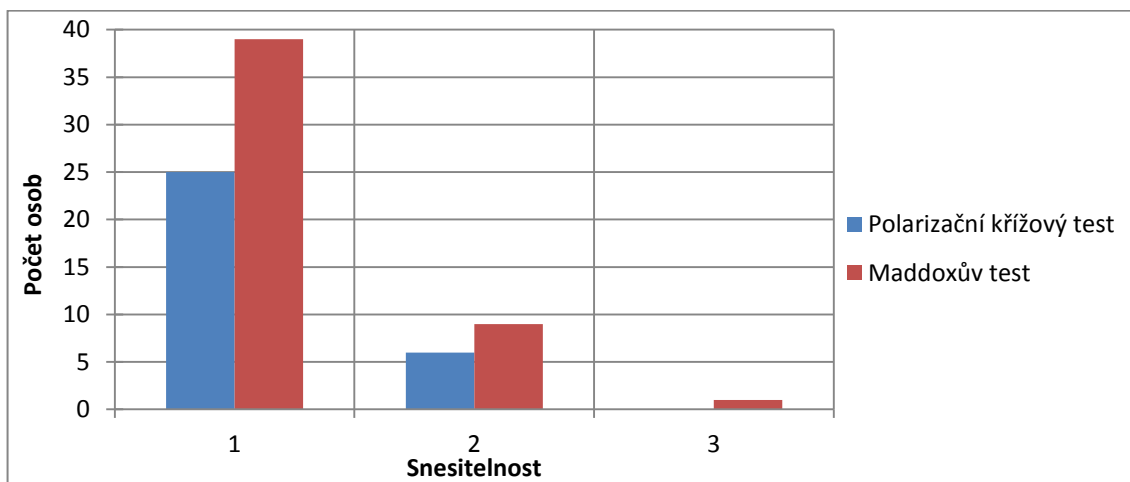
Obrázek 23 Rozdíly binokulárního visu

V legendě grafu v obrázku 24 jsou uvedené rozdíly pdpt a v jednotlivých výsečích jejich zastoupení ve zkoumané skupině. Rozdíly jsou dány rozdílem hodnot naměřených na Maddoxově a polarizačním křížovém testu. U 12 osob jsou naměřené hodnoty oběma testy stejné. Hodnoty naměřené Maddoxovým testem jsou u 33 osob vyšší a u 7 nižší než hodnoty naměřené polarizačním křížovým testem. Nejvíce zastoupené rozdíly se pohybují mezi 1 až 3 pdpt.



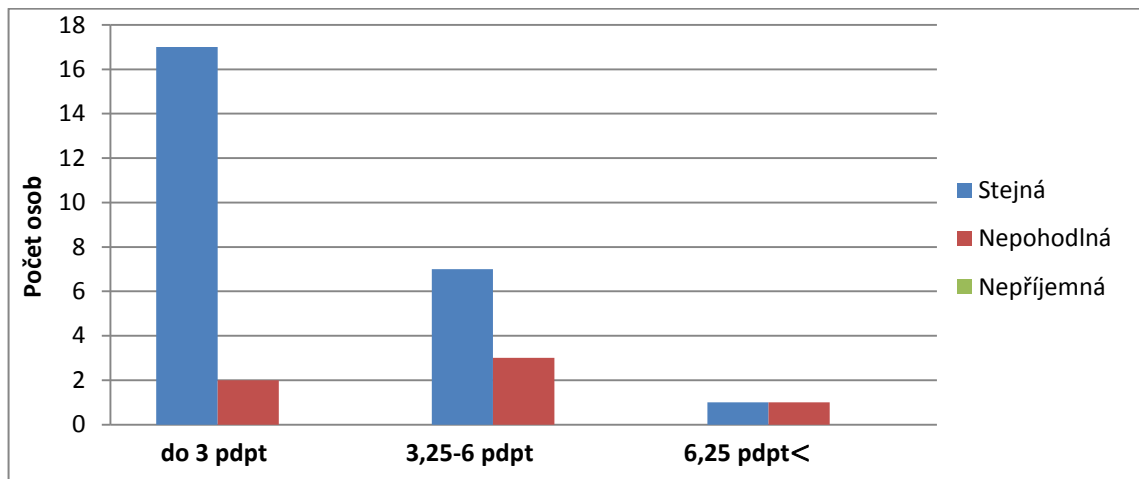
Obrázek 24 Rozdíly pdpt mezi Maddoxovým a křížovým polarizačním testem

Na grafu v obrázku 25 je znázorněné subjektivní hodnocení prizmatické korekce ihned po jejím naměření. Vyšetřované osoby mohly hodnotit známkou 1 (stejná), 2 (nepohodlná) a 3 (nepříjemná). U 25 osob bylo vnímání prizmatické hodnoty naměřené polarizačním křížovým testem hodnocené jako stejná a u 6 osob jako nepohodlné. Hodnoty naměřené Maddoxovým testem byly hodnocené u 39 osob jako stejná, u 9 nepohodlné a u jedné osoby jako nepříjemné.

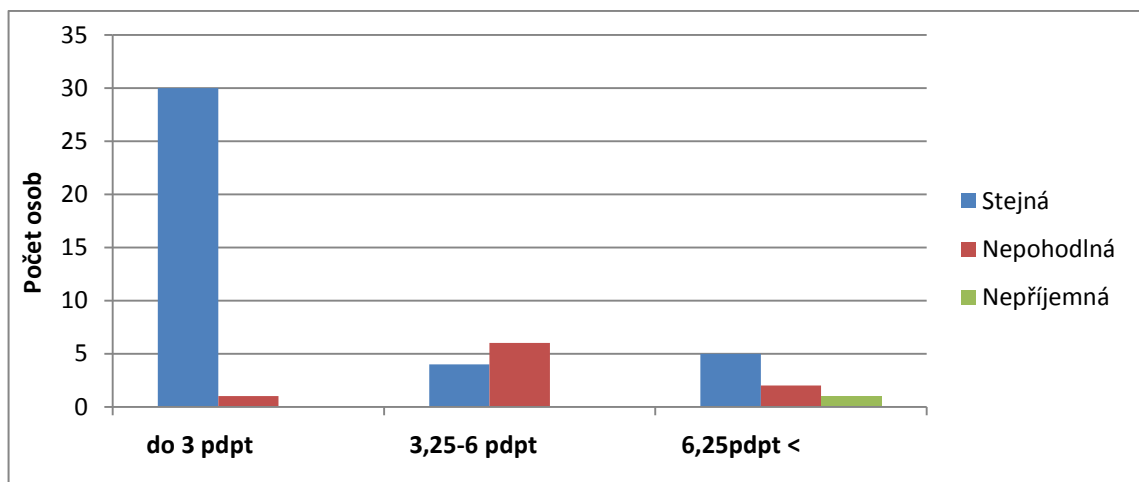


Obrázek 25 Snesitelnost pdpt

Na grafu v obrázku 26 a 27 je uvedené subjektivní hodnocení snesitelnosti prizmatické korekce naměřené oběma testy v závislosti na prizmatických hodnotách. Z grafů vyplývá, že hodnotami naměřenými polarizačním křížovým testem nedošlo u nikoho k nepříjemné subjektivní reakci. Hodnoty do 3 pdpt naměřené oběma testy výrazně nezměnily u vyšetřujících vizuální komfort. Proto byly nejčastěji hodnocené známkou 1. U Maddoxova testu hodnotila jedna osoba známkou 3, naměřená korekce byla nepříjemná.



Obrázek 26 Snesitelnost prizmatické korekce naměřené polarizačním křížovým testem



Obrázek 27 Snesitelnost prizmatické korekce naměřené Maddoxovým testem

4.4 Diskuse

Hypotéza 1: Předpokládám, že zastoupení heteroforie ve zkoumané skupině bude větší než 80 %.

Celkem jsem měla možnost proměřit 58 osob. Z experimentální části jsem musela vyřadit jednu osobu, která funkci binokulárního vidění neměla a 5 osob, u kterých jsem žádným testem heteroforii nepotvrdila. Výsledky jsem tak zpracovávala z hodnot

naměřených u 52 osob. Procentuální zastoupení heterofobie ve zkoumané skupině je 90 %. Hypotézu 1 nezamítám.

Hypotéza 2: Předpokládám, že zastoupení esoforie ve zkoumané skupině bude větší než 50 %.

U každé osoby jsem po subjektivní refrakci provedla zakrývací testy do dálky proto, abych případnou úchylku, kterou naměřím oběma porovnávacími testy potvrdila. U 6 osob, u kterých naměřená hodnota nepřesáhla 1 pdpt, byla úchylka zakrývacím testem neprůkazná. Přesto jsem z 52 osob potvrdila esoforii u 24 z nich. Zastoupení esoforie ve zkoumané skupině je 46 %. Hypotézu 2 zamítám.

Hypotéza 3: Předpokládám, že Maddoxovým testem budou naměřené prizmatické hodnoty vyšší.

U hodnot naměřených Maddoxovým (polarizačním křížovým) testem je medián 2 pdpt (2 pdpt) a aritmetický průměr 3,5 pdpt (3 pdpt). Hladina statistické významnosti mezi prizmatickými hodnotami naměřenými oběma testy je $p=27 \times 10^{-5}$. Nulovou hypotézu zamítám a přijímám hypotézu alternativní. Prizmatické hodnoty naměřené Maddoxovým a polarizačním křížovým testem se tedy statisticky liší.

Princip Maddoxova testu spočívá v oddělení zrakového vjemu pomocí Maddoxova cylindru. Dojde tak změně vnímání tvaru, velikosti a barvy mezi pravým a levým okem. Tím dojde k úplnému vyloučení fúze a aktivaci motorické složky zraku. Maddoxův test tak významně zasahuje do binokularity očního páru. Na základě toho si vysvětluji, proč hodnoty naměřené Maddoxovým testem byly u 33 osob vyšší než hodnoty naměřené polarizačním křížovým testem. Hypotézu 3 nezamítám.

Hypotéza 4: Předpokládám, že k častějšímu zhoršení visu dojde hodnotami naměřenými Maddoxovým testem.

Porovná-li binokulární visus sférocylické korekce a visus s korekcí prizmatickou naměřenou Maddoxovým (polarizačním křížovým) testem, bude hladina statistické významnosti $p=85 \times 10^{-4}$ ($p=15 \times 10^{-10}$). Hladina statistické významnosti je mezi visem prizmatické korekce naměřené na Maddoxově a polarizačním křížovém testu rovna $p=19 \times 10^{-5}$. Ve všech případech nulovou hypotézu zamítám a přijímám hypotézu alternativní. To znamená, že existuje statisticky významný rozdíl mezi visem naměřeným sférocylickou korekcí a visem s korekcí prizmatickou.

Z výsledků experimentální části práce plyne, že u 10 osob došlo hodnotami naměřenými Maddoxovým testem ke zhoršení visu o jeden řádek. U polarizačního

křížového testu došlo ke zhoršení u 4 osob. Vysvětluji si to na základě vyšších naměřených hodnot Maddoxovým testem. Hypotézu 4 nezamítám.

Hypotéza 5: Předpokládám, že rozdíly prizmatických hodnot mezi oběma testy budou nejvíce zastoupené v rozmezí 2-4 pdpt.

U 12 osob byly prizmatické hodnoty naměřené oběma testy stejné. Je nutné podotknout, že tyto hodnoty nepřesáhly u 10 osob víc jak 3 pdpt. U zbylých 2 osob byl rozdíl 3 pdpt a 4 pdpt. Medián rozdílů prizmatických hodnot u zbylých osob je 1 pdpt a aritmetický průměr je 1,5 pdpt. Hypotézu 5 zamítám.

Hypotéza 6: Předpokládám, že hodnoty naměřené Maddoxovým testem budou častěji subjektivně hodnocené jako nepohodlné a nepříjemné, než hodnoty naměřené polarizačním křížovým testem.

Každé osoby s předloženou prizmatickou korekcí naměřenou polarizačním křížovým nebo Maddoxovým testem, jsem se ptala na subjektivní hodnocení vizuálního komfortu. Ten měli možnost hodnotit čísly 1 (stejný), 2 (nepohodlný) a 3 (nepříjemný). Hladina statistické významnosti v rámci hodnocení snášenlivosti prizmatické korekce je $p=45 \times 10^{-5}$. Nulovou hypotézu zamítám a přijímám hypotézu alternativní. Existuje statisticky významný rozdíl hodnocení prizmatické korekce naměřené mezi oběma testy.

Prizmatické hodnoty naměřené Maddoxovým testem byly u 39 osob hodnocené známkou 1. U zbylých 10 osob, které hodnotily známkami 2 a 3, došlo vždy ke zhoršení visu o 1 řádek. Z toho vyplývá, že je velice důležité vzít v potaz pacientovo subjektivní vnímání, které v tomto případě vždy odpovídalo objektivně zhoršenému visu. Hodnoty naměřené polarizačním křížovým testem byly u 25 osob hodnoceny známkou 1 a u 6 osob známkou 2. Z těchto 6 osob nedošlo u 2 z nich ke zhoršení visu, ale u 4 se visus o jeden řádek zhoršil. Hypotézu 6 nezamítám.

Hypotéza 7: Předpokládám, že u osob bez příznaků dekompenzované heteroforie, budou hodnoty vyšší než 6 pdpt subjektivně hodnocené jako nepříjemné.

Z celkových 52 osob nemělo příznaky dekompenzované heteroforie 49 z nich. Průběh vyšetření zbylých osob bude podrobněji popsán v kazuistikách. Z vyhodnocení hypotézy 6 lze předpokládat statisticky významný rozdíl v subjektivním hodnocení prizmatické korekce mezi oběma testy. Hodnoty vyšší než 6 pdpt jsem polarizačním křížovým testem naměřila u 2 osob. Prizmatická snesitelnost zde byla hodnocena známkou 1 a 2. Maddoxovým testem jsem více jak 6 pdpt naměřila u 5 osob, z nichž 3 hodnotily prizmatickou korekci známkou 1 a zbylé známkami 2 a 3. Z výsledků experimentální části práce nelze jednoznačně říct, že veškeré hodnoty převyšující 6 pdpt u osob bez příznaků

dekompenzované heteroforie působí na vizuální vjem nepohodlně či rušivě. Hypotézu 7 zamítám.

Hodnocení polarizačního křížového testu bylo často vlivem nepřesné komunikace mezi mnou a vyšetřovaným obtížné. Komunikaci jsem se během vyšetřování snažila postupně vylepšovat a došla jsem k závěru, že nejlepší způsob jak docílit správného vyhodnocení je vyšetřované osobě ukázat a vysvětlit princip rozdílného vnímání částí kříže. Na základě toho, že tímto testem byly naměřené pouze horizontální úchyly, doporučila jsem vyšetřovanému, aby se zaměřil pouze na jedno nejvíce uchýlené rameno, jehož polohu jsem prizmatickými čočkami upravovala. Nevýhodou bylo také to, že vyšetřovaní nevěděli, jaké výsledné pozice kříže jsem chtěla docílit. Projekční optotyp, který byl součástí vyšetřovací jednotky, způsobil při každém pohybu vyšetřovaného v křesle pohyb kříže na optotypu. Po vysvětlení průběhu a cíle Maddoxova testu, došlo ze strany vyšetřovaných k okamžitému pochopení testu. Pro zlepšení viditelnosti světelné linie jsem použila červený Maddoxův cylindr a vyšetřovací místnost jsem zatemnila. Vyšetřovaní velmi rychle reagovali na posun linie po Maddoxově kříži.

4.4.1 Shrnutí výsledků

Tabulka 8 Shrnutí výsledků

Hypotéza 1	Nezamítnuta	-	-
Hypotéza 2	Zamítnuta	-	-
Hypotéza 3	Nezamítnuta	Nulová hypotéza H_{03}	Zamítnuta
Hypotéza 4	Nezamítnuta	Nulová hypotéza H_{04}	Zamítnuta
Hypotéza 5	Zamítnuta	-	-
Hypotéza 6	Nezamítnuta	Nulová hypotéza H_{06}	Zamítnuta
Hypotéza 7	Zamítnuta	Nulová hypotéza H_{07}	Zamítnuta

4.4.2 Kazuistiky

V této kapitole jsou uvedeny tři kazuistiky osob s příznaky dekompenzované heteroforie. Kazuistiky nejsou primárně zaměřené na porovnání Maddoxova a polarizačního křížového testu. Jejich účelem je zjistit příčiny příznaků dekompenzované heteroforie. V záznamu každého pacienta je uvedená anamnéza, vyhodnocení zrakové ostrosti a stav heteroforie.

Tabulka 9 Záznam z vyšetření pacienta č. 1

Ročník 1995								
Anamnéza	-Brýlové korekce od 7-8 let -Od září 2015 brýle-pocit tahání očí -Vizuální nepohodlí, bolesti hlavy -KČ- žádné symptomy							
Visus naturalis	OP:	<0,1	OL:	<0,1	BINO:	<0,1		
		Sph	Cyl	Osa	Δ	Basis	Visus mono	Visus bino
Vlastní korekce	OP:	=6,00					1,2	1,2
	OL:	=6,00					1,2(2ch)	
Subjektivní refrakce	OP:	=6,25	=0,50	180 °			1,2	1,5
	OL:	=6,50	=0,25	10 °			1,5	
Křížový test	OP:	Horizontální			2,5	0 °		1,5
	OL:				2,5	180 °		
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce 1								
Maddoxův test	OP:	Horizontální			9,0	0 °		1,2
	OL:				9,0	180 °		
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce 2								
Cover test s korekcí	Tropie		Forie - EXO					
Doporučená korekce	OP:	=6,25	=0,50	180 °				
	OL:	=6,50	=0,25	10 °				

U pacienta č. 1 jsem se nejprve rozhodla řešit subjektivní příznaky proto, abych mohla vyloučit ty, které s heteroforií nesouvisí. Došla jsem k závěru, že bolesti hlavy a nekomfortní vidění jsou zapříčiněné nesprávnou centrací brýlových čoček v používaných brýlích. Pacient nebyl nositelem prizmatické korekce, a přesto měl optické středy obou brýlových čoček decentrované o 4 mm temporálně a 3 mm na pravé čočce směrem nahoru. I když v záznamu z měření u Maddoxova testu není vypsána vertikální úchylka, přesto byla vnímána. Ovšem žádnou hodnotou pdpt se nedosáhlo zlepšení. Z výsledků také vyplývá, že naměřená prizmatická korekce zrakovou ostrost nezlepšila. Zde bych prizmatickou korekci nedoporučila. Zaměřila bych se na správnou centraci brýlových čoček a vyčkala, zda subjektivní příznaky odezní.

Tabulka 10 Záznam z vyšetření pacienta č. 2

Ročník 1991								
Anamnéza	-Brýle od 3 let, okluze OP -Brýle 1 rok-bolest hlavy, únava očí -Vizuální nepohodlí s brýlemi -Při řízení pocit zhoršeného vidění							
Visus naturalis	OP:	1,2	OL:	0,7	BINO:	1,2		
		Sph	Cyl	Osa	Δ	Basis	Visus mono	Visus bino
Vlastní korekce	OP:	=2,00					1,2	1,2
	OL:	=1,50					0,7	
Subjektivní refrakce	OP:	+1,75	=0,25	160 °			1,5	1,5
	OL:	+2,50	=0,25	30 °			1,0	
Křížový test	OP:	Horizontální			2,5	180 °		1,5
	OL:				2,5	0 °		
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce 1								
Maddoxův test	OP:	Horizontální			4,0	180 °		2,0
	OL:				4,0	0 °		
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce 1								
Cover test s korekcí	Tropie		Forie - ESO					
Doporučená korekce	OP:	+1,25	=0,25	160 °				
	OL:	+2,00	=0,25	30 °				

Pacient č. 2 přišel v nasazených brýlích. Vyšetření jsem tak opět začala kontrolou centrace brýlových čoček. Při měření visu s brýlemi pacient neustále opakoval, že musí zaostřovat. Na základě toho jsem nabrala podezření, že by mohlo jít o překorigovaného myopa nebo nedokorigovaného hypemetropa. Po subjektivní refrakci bylo ihned zřejmé, že došlo ke zlepšení vidění. Přesto jsem pacienta, na základě testu na optické nekonečno podkorigovala o 0,5 dpt. Tato výsledná korekce, která je zaznamenaná v tabulce 10, byla subjektivně lépe snášená, než ta, která vykorigovala plný refrakční deficit. Na základě toho jsme se s pacientem rozhodli vyměnit dosavadní chybnou korekci za nově změřenou. Po jejím měsíci nošení mě pacient kontaktoval, že nepříjemné pocity zmíněné v anamnéze ustaly, ale že má pocit opětovné schopnosti zaostřování do dálky. Na základě toho bych tedy doporučila přidat +0,25 dpt nebo +0,50 dpt, které jsem původně ubrala. Bylo by tak docíleno pravidla, při kterém je hypermetropie korigována nejsilnější možnou spojkou, která nezhorší vidění.

Tabulka 11 Záznam z vyšetření pacienta č. 3

Ročník 1995								
Anamnéza	-Dvojité vidění do dálky, bolest hlavy, námaha očí -Bez korekce- rozmazané vidění do dálky -S brýlemi rozmazané vidění neustalo, bolesti hlavy, diplopie (únava)-od 11/2015 prizmatická korekce, symptomy ustaly							
Visus naturalis	OP:	1,2	OL:	0,4	BINO:	1,2(1ch)		
		Sph	Cyl	Osa	Δ	Basis	Visus mono	Visus bino
Vlastní korekce	OP:	=0,50			1,5	180 °	1,2	1,5
	OL:	=0,50			1,5	0 °	1,2(2ch)	
Subjektivní refrakce	OP:	=0,25	=0,25	180 °			1,5	1,5
	OL:	=0,25	=0,25	155 °			1,2(1ch)	
Křížový test	OP:	Horizontální			3,0	180 °		1,5
	OL:				3,0	0 °		
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce 1								
Maddoxův test	OP:	Horizontální			3,75	180 °		1,5
	OL:				3,75	0 °		
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce 1								
Cover test s korekcí	Tropie		Forie - ESO					
Doporučená korekce	OP:	=0,50	1,5	180 °				
	OL:	=0,50	1,5	0 °				

Pacient č. 3 si začátkem roku 2015 nechal u optometristy zkontrolovat zrak. Důvodem jeho návštěvy nebyla primárně snížená zraková ostrost, ale nepříjemné subjektivní příznaky zmíněné v anamnéze. Naměřená korekce však dané příznaky nezmírnila. U dalšího optometristy byla opět naměřena nová sférocylindrická korekce. Opět nedošlo k žádnému zlepšení. Až koncem roku 2015 bylo u tohoto pacienta zkontrolováno binokulární vidění a na základě toho předepsaná prizmatická korekce. Došlo tak k úplnému odstranění subjektivních potíží. Naměřený rozdíl mezi oběma testy se u této osoby významně neliší. Pokud bych se rozhodla předepsat prizmatickou brýlovou korekci, a k jejímu určení bych měla k dispozici pouze Maddoxův a polarizační křížový test, vycházela bych právě z hodnot naměřených polarizačním křížovým testem a pro prizmatickou brýlovou korekci bych použila Maddoxovo pravidlo. Za zvážení by určitě stálo provést měření sensorické složky zraku na křížovém testu s fúzním podnětem. Mnou doporučená korekce je zaznamenaná v tabulce 11.

5 Závěr

Bakalářskou práci jsem rozdělila do dvou částí, na teoretickou a praktickou. Hlavní kapitoly teoretické části byly zaměřeny na popis prizmatického účinku brýlových čoček a binokulárního vidění s důrazem na heteroforii. Popsala jsem způsoby, jak heteroforii poznat a různé typy testů, které pro její korekci využít. Tyto testy jsem rozdělila podle způsobu oddělení zrakového vjemu.

V experimentální části práce jsem se zaměřila na porovnání Maddoxova a polarizačního křížového testu, které se v české optometrii ke korekci heteroforie využívají nejčastěji. Hypotézy, které jsem si na začátku měření stanovila, vychází z teoretických znalostí, získaných na FBMI v rámci odborných předmětů. Při měření heteroforie jsem jako první test v řadě zvolila záměrně polarizační křížový. Domnívám se, že kdybych jako první provedla měření na Maddoxově kříži, mohlo by dojít vlivem většího zásahu do oční binokularity k vyšším naměřeným hodnotám u druhého provedeného testu.

Pro zpracování experimentální části práce jsem od listopadu 2015 do března 2016 změřila 58 osob. U jedné z nich, jsem neprokázala funkci binokulárního vidění a u zbylých pěti jsem nenaměřila žádné funkční odchylky. Zkoumanou skupinu tak tvořilo 52 osob, z nichž 3 měly příznaky dekompenzované heteroforie. Při vyšetření binokulárního vidění je velmi důležitý individuální přístup. Proto jsem analyzovala vyšetření těchto tří osob podrobněji v kazuistikách. U dvou z nich jsem zjistila, že subjektivní astenopické potíže nesouvisely s heteroforií, ale se špatnou centrací brýlových čoček a nevhodnou brýlovou korekcí. Třetí osoba byla nositelem prizmatické korekce. Měla jsem tedy možnost, vyzkoušet si také měření heteroforie s následným doporučením prizmatické korekce.

Z výsledků experimentální části práce plyne, že existuje statisticky významný rozdíl mezi prizmatickými hodnotami, subjektivně hodnoceným vnímáním prizmatické korekce a změřeného visu mezi polarizačním křížovým a Maddoxovým testem. Ze 7 stanovených hypotéz jsem 3 zamítla. Došla jsem k závěru, že subjektivní hodnocení prizmatické korekce může být přímo úměrné změřenému visu. Hodnoty naměřené Maddoxovým testem, které byly hodnoceny známkami 2 a 3 vždy zhoršily visus o jeden řádek. Dále jsem si ověřila, že ne všechny předpisové příznaky dekompenzované heteroforie mohou přímo s heteroforií souviset. Domnívám se, že rozdíly prizmatických hodnot, které jsem mezi oběma testy naměřila, vychází z principu oddělení zrakového vjemu. Polarizačním křížovým testem dojde vlivem polarizace k rozdílnému vnímání tvaru pozorovaného kříže. Předměty, vyskytující se v okolí optotypu jsou nepolarizované

a mohou tak působit jako periferní fúzní podnět. Tím se polarizací narušená fúze stává ne zcela vyloučenou. V případě Maddoxova testu dochází mezi pravým a levým okem ke změně vnímání barvy, tvaru a velikosti pozorovaného předmětu. Dojde tedy k úplnému rozdělení zrakového vjemu a nemožnosti binokulární fúze. Částečné výsledky experimentální části bakalářské práce byly prezentovány na veletrhu OPTA 2016 (viz. příložený poster v příloze).

6 Seznam použité literatury

- [1] POLÁŠEK, J. (ed.), J. BALÍK a J. BOBEK. *Technický sborník oční optiky*. 2.vyd. Praha: Oční optika, 1975
- [2] FUKA, J. *Optika a atomová fyzika: Optika: fyzikální kompendium pro vysoké školy*. 1.vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961
- [3] MEISTER, D. *Understanding Prism in lenses* [Online] 2014, [cit. 2015-11-07]. Dostupné na http://experiencevelocity.com/static_exentriqdotcom/documents/Zeiss_83466/825b9e6c-ca80-490f-9c2b-e87b3ecc2612.pdf
- [4] MEISTER, D. a J. E. SHEEDY. *Introduction to Ophthalmic Optics*. San Diego: Carl Zeiss Vision, 2010. ISBN 358-8258
- [5] STEPHENS, G. L. *Introduction to lensometry*. College of Optometry, University of Houston [online] 2010, [cit. 2015-12-02]. Dostupné na <http://texas.aoa.org/documents/tx/217%20%20STEPHENS%20%2020Introduction%20to%20Lensometry.pdf>
- [6] LONG, W. F. *Toric lenses* [online] 1992, [cit. 2015-12-02]. Dostupné na http://www.drdrbill.com/downloads/optics/opth-optics/Toric_Lenses.pdf
- [7] NAJMAN, L. *Prizmatická korekce*. Česká oční optika [online] 2012, [cit. 2015-12-02]. Dostupné na http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2012_04.pdf
- [8] WALSH, G. *Prismatic Effects on Lenses*, Part 4, Optometry today, [Online] 2001, [cit. 2015-11-07]. Dostupné na: http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/1c6e60988a45a23009de038c76304fe4_walsh20011102.pdf
- [9] MOODLEY, V. R. *Induced prismatic effects due to poorly fitting spectacle frames*. The South African Optometrist [online] 2011, [cit. 2015-12-02]. ISSN 0378-9411. Dostupné na <http://avehjournal.org/index.php/aveh/article/viewFile/115/83>
- [10] RUTRLE, M. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000, ISBN 80-701-3301-5
- [11] MEISTER, Darryl. *Understanding the Position of wear: Carl Zeiss Vision* [online] 2013. [cit. 2015-10-28]. Dostupné na: http://www.opticampus.com/files/memo_on_understanding_the_position_of_wear.pdf
- [12] WALSH, G. *The products we rely on – Part 4 Prismatic effects on lenses*. Optometry Today [online] 2001, [cit. 2015-11-08]. Dostupné na <https://www.aop.org.uk/ot>

- [13] FANNIN, T. E. a GROSVENOR, T. *Clinical Optics*. 1. Boston: Butterworth-Heinemann, 1987. ISBN 978-1483176789
- [14] FLORES, J.R. *Prismatic Effect in Axially Symmetric Spectacle Lenses*. Optometry and Vision Science, [online] 2009, [cit. 2015-10-28]. Dostupné na http://www.researchgate.net/publication/26677015_Prismatic_effect_in_axially_symmetric_spectacle_lenses
- [15] REMOLE, A. *New Equations for determining Ocular Deviations Produced by Spectacle Correction*. Optometry and Vision Science [online] 2000, [cit. 2015-10-28]. Dostupné na http://www.researchgate.net/publication/12226900_New_equations_for_determining_ocular_deviations_produced_by_spectacle_corrections
- [16] REMOLE, A. *Determining Exact Prismatic Deviations in Spectacle Correction*. Optometry and Vision Science [online] 1999, [cit. 2015-20-29]. Dostupné na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10566863>
- [17] WHITNEY, D. B. *Prentice's rule-Its Applications and Limitations*. American Optical [online] 1982, [cit. 2015-10-29]. Dostupné na <http://www.dicoptic.izispot.com/Files/prentice.pdf>
- [18] FLOM, M. C. a A.J. ADAMS. *Fresnel Optics* [online]. [cit. 2015-11-07]. Dostupné na <http://80.36.73.149/almacen/medicina/ofthalmologia/enciclopedias/duane/pages/v1/v1c052.html>
- [19] NAJMAN, L. *Požadavky na centrování jednoohniskových brýlových čoček*. Česká oční optika [online] 2005, [cit. 2015-12-02]. Dostupné na http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2005_01.pdf
- [20] JALIE, M. *The Principles of Ophthalmic Lenses*. 4th.ed. London: Hyperion Books, 1972. ISBN 0900099208
- [21] MADGE, S. N. *Clinical Techniques in Ophthalmology*. 1th.ed. Churchill Livingstone, 2006. ISBN 978-0-443-10304-9
- [22] RUTRLE, M. *Binokulární korekce na polatestu*. 1. vyd. Brno: NCO NZO, 1. vyd., 2000. ISBN 80-7013-302-3
- [23] METHLING, D. *Bestimmen von Sehhilfen*. 3.Aufl. Stuttgart: Thieme, 2012. ISBN 978-313-1639-431
- [24] DIEPES, H. *Refraktionsbestimmung*. 3.Aufl.: DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung, 2004. ISBN 978-3-922269-50-2.
- [25] KUČHYNKA, P. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha:Grada, 2007, ISBN 978-80-247-1163-8

- [26] AUTRATA, R. *Nauka o zraku*. 1.vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002, ISBN 80-701-3362-7
- [27] DIVIŠOVÁ, G. *Strabismus*. 2.vyd. Praha: Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0037-7.
- [28] HROMÁDKOVÁ, L. *Šilhání*. Brno: NCONZO, 3. vyd., 2011. ISBN 978-80-7013-530-3
- [29] DIN 5340:1996-04. *Begriffe der physiologischen Optik*. Berlin: Beuth - Verlag, 1986
- [30] DIEPES, H. a BLENDOWSKE, R.. *Optik und Technik der Brille: mit 40 Tabellen*. 2. Aufl. Heidelberg: Optische Fachveröff, 2005. ISBN 978-392-2269-618
- [31] PLUHÁČEK, F. *Forie* [online] 2009, [cit. 2015-11-07]. Dostupné na <http://www.optometry.cz/obsah/materialy/forie.pdf>
- [32] PLUHÁČEK, F. *Heteroforie a fixační disparita* [online] [cit. 2015-11-10]. Dostupné na http://www.optometry.cz/obsah/materialy/HTF_a_FD.pdf
- [33] GIBILISCO, S. *Statistika bez předchozích znalostí*. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2465-9

7 Seznam zkratek

BI	Báze nasálně
BO	Báze temporálně
BU	Báze nahoru
BD	Báze dolů
dpt	Dioptrie
pdpt	Prizmatická dioptrie
Sph	Sféra
Cyl	Cylindr
Add	Adice
NPC	Blízký bod konvergence
MKH	Mess und Korrektionsmethodik nach H. J. Haase
AC/A	Poměr akomodační konvergence a akomodace

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Lom světla při průchodu prizmatem [3].....	2
Obrázek 2 Schéma značení prizmatického účinku [5].....	3
Obrázek 3 Složky prizmatu [4].....	5
Obrázek 4 Tloušťka prizmatu [4]	5
Obrázek 5 a) Směry změřených hodnot prizmatu, b) Rozložení výsledného prizmatického účinku [7].....	6
Obrázek 6 Pantoskopický náklon [11].....	7
Obrázek 7 Úhel prohnutí brýlového středu [11].....	8
Obrázek 8 Skok obrazu na bifokální brýlové čočce [4].....	8
Obrázek 9 Rozdíly tvaru mezi Fresnelovou čočkou a prizmatem o stejné pdpt [13].....	13
Obrázek 10 Složky decentrace u sférocylindrické čočky [6]	15
Obrázek 11 Kritické směry decentrace a) spojných, b)rozptylných brýlových čoček [19].	17
Obrázek 12 Zobrazení prizmatického účinku ve fokometru [5].....	19
Obrázek 13 Schéma diasporometru a) minimální hodnota, b) maximální hodnota [10].....	20
Obrázek 14 Von Graefeho test [23].....	31
Obrázek 15 Worthova světla [24].....	32
Obrázek 16 Schoberův test [10].....	33
Obrázek 17 Maddoxův cylindr a možnosti směru testované linie [24]	34
Obrázek 18 Křížový test bez fúzního podnětu.....	35
Obrázek 19 Soubor testů pro MKH [22]	36
Obrázek 20 Výskyt heteroforie ve zkoumané skupině	43
Obrázek 21 Zastoupení heteroforie ve zkoumané skupině.	43
Obrázek 22 Zastoupení heteroforie u refrakčních vad.....	44
Obrázek 23 Rozdíly binokulárního visu	44
Obrázek 24 Rozdíly pdpt mezi Maddoxovým a křížovým polarizačním testem	45
Obrázek 25 Snesitelnost pdpt	45
Obrázek 26 Snesitelnost prizmatické korekce naměřené polarizačním křížovým testem.....	46
Obrázek 27 Snesitelnost prizmatické korekce naměřené Maddoxovým testem.....	46

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Obecný zápis naměřených hodnot [4]	3
Tabulka 2 Přepočítaná orientace báze prizmatu [4].....	4
Tabulka 3 Změny tloušťky prizmatu v závislosti na průměru a pdpt [4]	6
Tabulka 4 Parametry brýlové čočky [14]	12
Tabulka 5 Porovnání různých metod výpočtu prizmatického účinku [14].....	12
Tabulka 6 Povolené odchylky při binokulárním centrování v pdpt podle ČSN EN ISO 14889 [19].....	17
Tabulka 7 Základní typy heteroforie [27].....	25
Tabulka 8 Shrnutí výsledků	49
Tabulka 9 Záznam z vyšetření pacienta č. 1	50
Tabulka 10 Záznam z vyšetření pacienta č. 2	51
Tabulka 11 Záznam z vyšetření pacienta č. 3	52

10 Seznam příloh

Příloha 1 Naměřená data experimentální části práce

Příloha 2 Protokol z vyšetření

Příloha 3 Poster- OPTA 2016

Příloha 1 Naměřená data experimentální části práce

Počet	Bino visus sféro cylindrick á korekce	HTF	pdpt Polarizační křížový test	Bino visus Polarizační křížový test	Pdpt Maddoxů v test	Bino visus Maddoxův test	Rozdí l pdpt	Anamnéza HTF	Hodnocení Polarizační křížový test	Hodnocení Maddoxův test
1/Ž	1,5	eso	7	1,5	10	1,5	3	NE	1	1
2/M	2	exo	1	2	1	2	0	NE	1	1
3/Ž	1,5	exo+ hyper	5	1,5	18	1,2	13	ANO	1	2
4/Ž	2	eso	0	0	2	2	2	NE	0	1
5/Ž	2	eso	0	0	2	2	2	NE	0	1
6/M	2	eso	1	2	2	2	1	NE	1	1
7/Ž	2	exo	0	0	3	1,5	3	NE	0	2
8/Ž	1,5	exo+ hypo	4	1,5	9	1,5	5	NE	1	1
9/Ž	1,5	eso	2	1,5	2	1,5	0	NE	1	1
10/Ž	1,5	eso	1	1,5	4	1,2	3	NE	1	2
11/Ž	1,2	exo	0	0	1	1,2	1	NE	0	1
12/Ž	1,2	eso	3	1,2	9	1,2	6	NE	1	1
13/Ž	1,5	exo	0	0	1	1,5	1	NE	0	1
14/M	1,5	eso	5	1,5	8	2	3	ANO	1	1
15/Ž	1,2	eso	1	1,2	1	1,2	0	NE	1	1
16/Ž	1,5	exo	0	0	9	1,2	9	NE	0	3
17/Ž	1,2	exo	0	0	4	1,2	4	NE	0	1
18/Ž	1,5	exo	0	0	3	1,5	3	NE	0	1
19/Ž	1,5	exo	0	0	1	1,5	1	NE	0	1
20/Ž	1,5	exo+ hyper	2	1,2	8	1,2	6	NE	2	2
21/Ž	2	eso+ hypo	0	0	1	2	1	NE	0	1
22/Ž	1,2	eso	0	0	1	1,2	1	NE	0	1
23/Ž	1,2	exo	1	1,2	1	1,2	0	NE	1	1
24/Ž	1,2	exo	10	1,2	4	1,2	-6	NE	2	1
25/Ž	2	eso	0	0	4	2	4	NE	0	1
26/Ž	1,5	eso	1	1,5	1	1,5	0	NE	1	1
27/Ž	1,2	exo	2	1,2	2	1,2	0	NE	1	1
28/Ž	1,5	exo	1	1,5	0	0	-1	NE	1	0
29/Ž	1,5	eso	0	0	1	1,5	1	NE	0	1
30/Ž	1,5	eso	5	1,5	5	1,5	0	NE	1	1
31/Ž	1,2	eso	0	0	3	1,2	3	NE	0	1
32/Ž	1,5	eso	2	1,5	2	1,5	0	NE	1	1
33/Ž	1,5	eso	2	1,5	5	1,2	3	NE	1	2
34/Ž	1,5	exo	1	1,5	2	1,5	1	NE	1	1
35/M	1,2	exo	1	1,2	1,5	1,2	0,5	NE	1	1
36/Ž	1,5	eso	1	1,5	0	0	-1	NE	1	0
37/Ž	1,5	eso+ hypo	6	1,2	1	1,5	-5	NE	2	1
38/Ž	1,5	exo	4	1,2	4	1,2	0	NE	2	2
39/Ž	1,5	eso	6	1,5	7,5	1,5	1,5	ANO	1	1
40/Ž	1,5	exo	0	0	3	1,5	3	NE	0	1
41/Ž	1,5	exo	3	1,2	3	1,2	0	NE	2	2
42/Ž	1,5	exo	0	0	1	1,5	1	NE	0	1
43/Ž	1,5	exo	1	1,5	0,5	1,5	-0,5	NE	1	1
44/M	1,5	eso	2	1,5	2	1,5	0	NE	1	1
45/M	2	exo+ hypo	2	2	1	2	-1	NE	1	1
46/Ž	1,5	exo	0	0	2	1,5	2	NE	0	1
47/Ž	1,5	exo	4	1,5	0	0	-4	NE	2	0
48/Ž	1,5	exo	0	0	1	1,5	1	NE	0	1
49/M	2	exo	0	0	1	2	1	NE	0	1
50/Ž	1,5	exo	0	0	2	1,5	2	NE	0	1
51/Ž	2	eso	5	2	5	1,5	0	NE	1	2
52/M	1,5	eso	0	0	5	1,2	5	NE	0	2

Příloha 2 Protokol z vyšetření

Jméno a příjmení				Ročník				
Anamnéza:								
Visus naturalis	OP:							
	OL:							
		Sph	Cyl	Axis	Δ	Basis	Visus mono	Visus bino
Vlastní korekce:	OP:							
	OL:							
Subjektivní refrakce:	OP:							
	OL:							
Polarizační křížový test	OP:	Horizontální						
	OL:							
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce								
Maddoxův test	OP:	Horizontální						
	OL:							
	OP:	Vertikální						
	OL:							
Okamžitá snesitelnost prizmatické korekce								
Cover test s korekcí	Tropie		Forie		Poznámky:			
Doporučená korekce	OP:							
	OL:							

Příloha 3 Poster- OPTA 2016



Srovnání vyšetření heteroforie pomocí Maddoxova a křížového polarizovaného testu

Lucie Vasilečková¹

¹ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, Česká republika

Úvod a cíle práce

Cílem práce je porovnat Maddoxův a křížový polarizovaný test sloužící ke stanovení heteroforie do dálky. Prizmatické dioptrie (Pdpt), naměřené těmito testy, může optometrista využít jako výchozí hodnoty pro korekci heteroforie. Provedený výzkum umožní porovnat metodiky a naměřené hodnoty mezi oběma testy.

Křížový polarizovaný test: Křížový polarizovaný test je tvořen čtyřmi rameny. Při postavení polarizačních analyzátorů ve V-směru, fixuje pravé oko horní vertikální a pravou horizontální linii. Oko levé fixuje levou horizontální a dolní vertikální linii. Test se vyhodnocuje na základě vzájemného posunutí ramen kříže. Součástí testu není centrální ani periferní fúzní podnět. [1]



Maddoxův test: Maddoxův cylindr je systém velkého množství paralelních cylindrů. Maddoxův kříž je tvořen dvěma rameny se stupnicemi, mezi nimiž se nachází bodový zdroj světla (Maddoxovo světlo). Pro disociaci zrakového vjemu se Maddoxův cylindr předsadí před libovolné oko. Tomuto oku se fixovaný zdroj světla protáhne v linii, která se zobrazí kolmo k předloženému směru cylindru. Test se vyhodnocuje podle posunutí světelné linie po Maddoxově kříži. [1]

Experimentální část

Popis základního a výběrového souboru: Od listopadu 2015 do února 2016 bylo proměřeno 35 osob. Do výzkumné části bylo zahrnuto 31 osob, z toho 28 žen a 3 muži. Průměrný věk vyšetřovaných byl 23 let.

Metodologie: U všech osob byl zvolen stejný postup vyšetření. K určení subjektivní refrakce byl použit projekční optotyp HUVITZ CCP 3100 s využitím negativní polarizace, sada zkušebních čoček, Jacksonův zkřížený cylindr a astigmatická zkušební obruba OCULUS. K určení heteroforie pak polarizační předsádky OCULUS a Maddoxův kříž ve formě samostatného závěsného testu o rozměrech 1,3x1,3 m. Dále pak prizmatické lístý a prizmatické čočky po 0,5 Pdpt. U každé osoby byl následně stanoven binokulární visus s naměřenou prizmatickou korekcí.

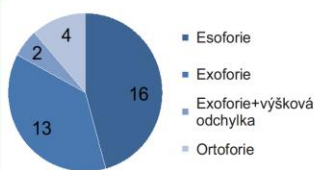
Průběh vyšetření:



Výsledky a diskuze

Zastoupení heteroforie ve zkoumané skupině

Ve zkoumané skupině se nacházelo 16 osob s esoforií, 13 osob s exoforií a 2 osoby s kombinovanými odchylkami. Z důvodu nízkého zastoupení kombinovaných odchylek, budou v dalším vyhodnocování zahrnuté pouze jejich horizontální složky. Z celkově změřených 31 osob, byla heteroforie prokázána na Maddoxově testu u 30 osob a na křížovém polarizovaném testu u 17 osob.



Rozdíly binokulárního visu

V grafu jsou uvedené rozdíly řádků na optotypu mezi visem sféro-cylindrické korekce a korekce naměřené Maddoxovým a křížovým polarizovaným testem. Hodnotami naměřenými křížovým polarizovaným testem došlo u jedné osoby ke zhoršení a u jedné osoby ke zlepšení visu. U 15 osob nedošlo k žádné změně. U Maddoxova testu se u 6 osob visus zhoršil a u jedné zlepšil. U 23 osob nedošlo k žádné změně. Rozsah naměřených hodnot se u Maddoxova testu pohyboval od 1 do 18 Pdpt a u křížového polarizovaného testu od 1 do 10 Pdpt. Z grafu vyplývá, že je větší pravděpodobnost snížení visu hodnotami naměřenými Maddoxovým testem.

Rozdíly Pdpt mezi Maddoxovým a křížovým polarizovaným testem

V legendě grafu jsou uvedené rozdíly pdpt a v jednotlivých výsečích jejich zastoupení ve zkoumané skupině. U 22 osob byly naměřené hodnoty Maddoxovým testem vyšší, u 7 osob byly stejné a u 2 osob byly nižší než hodnoty naměřené křížovým polarizovaným testem. Nejvíce zastoupené rozdíly byly mezi 1 až 3 Pdpt.



Diskuze: Rozdíly mezi oběma testy mohou spočívat v různém principu oddělení zrakového vjemu. V případě Maddoxova testu dochází k výraznější změně mezi pravým a levým okem. Vzniklé rozdíly spočívají ve změně tvaru, velikosti a barvy. Na základě toho dojde k úplnému vyloučení fúze. U křížového polarizovaného testu dochází mezi pravým a levým okem ke změně tvaru, tím se částečně vyloučí fúze, avšak ne zcela zruší.

Závěr

Z výsledků výzkumné části je patrné, že hodnoty naměřené Maddoxovým testem byly u 29 osob vyšší než hodnoty naměřené křížovým polarizovaným testem. Z tohoto důvodu, lze vysvětlit i větší podíl zhoršení visu u hodnot naměřených Maddoxovým testem. Nejvíce zastoupené rozdíly mezi oběma testy byly v rozmezí 1 až 3 Pdpt. Stanovení heteroforie křížovým polarizovaným testem bylo často vlivem nesprávné komunikace vyšetřovaného obtížné. Vyšetřovaní nedokázali přesně popsat polohy jednotlivých ramen sledovaného kříže. U Maddoxova testu vždy došlo k jednoznačnému určení polohy světelné linie a rychlé reakci na změny způsobené prizmatickou korekcí.

[1] METHLING, D. Bestimmen von Sehhilfen. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2012. ISBN 978-313-1639-431