

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2020

**KATEŘINA
ŠKACHOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Snížení zrakové ostrosti při využití prizmatické korekce

Reducing visual acuity using prismatic correction

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Kateřina Škachová

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král

Konzultantka bakalářské práce: Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

Kladno 2020



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škachová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **474334**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Snížení zrakové ostrosti při využití prizmatické korekce

Název bakalářské práce anglicky:

Reducing visual acuity using prismatic correction

Pokyny pro vypracování:

Studentka zpracuje problematiku heteroforie. Zaměří se na snížení zrakové ostrosti z důvodu disperze při použití vyšších prizmat. V úvodních kapitolách popíše binokulární vidění, rozdělí a klasifikuje různé stupně heteroforie, dále navrhne možnosti korekce heteroforie pomocí prizmatické korekce, zrakového tréninku či operativního řešení. V praktické části studentka porovná snížení zrakové ostrosti při aplikaci různých hodnot prizmatické korekce a zjistí závislost ovlivnění velikosti disperze na zrakovou ostrost oka.

Seznam doporučené literatury:

- [1] EVANS, B.J.W., Pickwell's Binocular Vision Anomalies , ed. 5, Elsevier, Butterworth Heinemann, 2007, 464 s., ISBN 978-0-7506-8897-0
- [2] STIDWILL, D., FLETCHER, R., Normal binocular vision: theory, investigation and practical aspects, ed. 1 st, Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2011, ISBN 9781405192507
- [3] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jakub Král

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **10.02.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

Název bakalářské práce: Snížení zrakové ostrosti při využití prizmatické korekce

Abstrakt:

Předmětem bakalářské práce je problematika využití prizmat při možnostech řešení šilhání či jiných binokulárních anomálií. Úvodní kapitoly jsou věnovány podstatě binokulárního vidění, jeho teorie, podmínkám a vývoje. V této práci je i stručně popsána okulomotorika, neboť okoohybné svaly se podílí na vzniku zrakového vjemu. Dále jsou vysvětleny binokulární anomálie související s korekcí pomocí prizmat a jejich vyšetřování prostřednictvím různých testů v klinické praxi. Poté je uveden princip prizmatického klínu, jeho zápis a využití, jaké jsou výhody či nevýhody při jeho používání očním specialistou, a především podstatu disperze světla či jinými nechtěně navozenými jevy způsobené prizmatickou korekcí. Na závěr jsou zmíněné jiné alternativní možnosti řešení strabismu, i velmi individuální zrakový trénink. Praktická část se zabývá snížením zrakové ostrosti vlivem nechtěně navozených jevů při využití prizmatické korekce.

Klíčová slova:

Binokulární vidění, heteroforie, prizmatická korekce, disperze

Bachelor's Thesis title: Reducing visual acuity using prismatic correction

Abstract:

The subject of the bachelor's thesis is the issue of using prismatic correction as the possibilities of solving squinting or any another binocular anomalies. The introductory chapters are devoted to the essence of binocular vision, its theory, conditions and evolution. This paper also briefly describes oculomotorics since the oculomotor muscles participate in the formation of visual perception. Furthermore, the binocular anomalies related to using prismatic correction and its testing in clinical practice are explained. The principle of a prisma, its notation and use, what are the advantages and disadvantages, and mainly the essence of dispersion or other unintentionally induced phenomena cause by prisma are indicated. In conclusion, other alternative solutions of sqint are described, as well as a individual eye training. The practical part discusses degradation of vision using prismatic correction.

Key words:

Binocular vision, heteroforia, prisma correction, dispersion

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala Mgr. Jakubu Královi za vedení mé bakalářské práce, za předání cenných rad a postřehů k dané problematice. Dále bych chtěla poděkovat paní doktorce Mgr. Janě Urzové, Ph.D. za poskytnutí odborných konzultací a materiálů s ohledem na fyzikální stránku práce.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Snížení zrakové ostrosti při využití prizmatické korekce*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Binokulární vidění.....	2
2.1	Teorie binokulárního vidění	2
2.1.1	Tyčinky a čípky	2
2.2	Jednoduché binokulární vidění.....	3
2.2.1	Zraková ostrost	4
2.2.2	Stereopse.....	4
2.3	Podmínky binokulárního vidění	4
2.4	Korespondující body sítnic, horopter a Panumův prostor	5
2.5	Vývoj binokulárního vidění.....	6
3	Okulomotorika	8
3.1	Základní pohledové mechanismy	9
3.1.1	Vergenční pohyby.....	9
3.1.2	Verzní pohyby	10
3.1.3	Reflexní pohyby.....	10
4	Vztah akomodace a konvergence.....	11
5	Anomálie binokulárního vidění	12
5.1	Heterotropie.....	12
5.1.1	Konkomitantní (dynamický) strabismus.....	12
5.1.2	Inkomitantní (paralytický) strabismus.....	12
5.2	Heteroforie.....	13
5.2.1	Klasifikace heteroforie.....	14
5.2.2	Symptomy dekompenzované heteroforie	14
5.3	Fixační disparita	14
5.4	Anomální retinální korespondence.....	15
5.5	Suprese	15
5.6	Amblyopie	15
5.7	Anizeikonie.....	16
6	Vyšetřování binokulárních funkcí.....	17
6.1	Anamnéza	17
6.2	Zakrývací testy	17
6.2.1	Intermitentní zakrývací test (Cover/uncover).....	17
6.2.2	Alternující zakrývací test (Alternate cover)	18
6.3	Testy pro kvantifikaci heteroforie	18
6.3.1	Worthův test.....	18
6.3.2	Schoberův test.....	19

6.3.3 Maddoxův test	20
6.3.4 Von Graefeho prizma	21
6.3.5 Polarizační testy	22
7 Prizmatická korekce	23
7.1 Zápis prizmatu	23
7.2 Stanovení hodnoty prizmatické korekce a její využití v praxi	24
7.2.1 Prizmatické lišty	24
7.2.2 Prizmatický test rohovkových reflexů	25
7.3 Výhody a nevýhody prizmatické korekce	25
7.4 Decentrace brýlových čoček	25
7.5 Nechtěně navozené jevy vlivem prizmatické korekce	26
7.5.1 Zkreslení	26
7.5.2 Astigmatismus šikmých paprsků	26
7.5.3 Disperze	26
8 Jiné možnosti řešení strabismu	30
8.1 Sférocylická změna korekce	30
8.2 Zrakový trénink	30
8.3 Operativní řešení	31
9 Experimentální část	32
9.1 Úvod	32
9.2 Metodika výzkumu	33
9.2.1 Vyšetřované osoby	33
9.2.2 Průběh vyšetření	33
9.3 Výsledky	35
9.3.1 Snížení zrakové ostrosti dle jednotlivých hodnot pD	35
9.3.2 Porovnání výsledků u dominantního oka a nedominantního oka	37
9.3.3 Hranice disperze světla	40
9.3.4 Rozdílná citlivost barev u žen a mužů	40
9.3.5 Časová odezva	41
10 Diskuse	43
11 Závěr	44
Seznam použité literatury	45
Seznam zkratek	49
Seznam obrázků a tabulek	50
Příloha: DOTAZNÍK	51

1 Úvod

Zrak je jedním z nejdůležitějších smyslů pro člověka. Správná detekce a diagnostika jakékoliv oční vady může jedinci zlepšit kvalitu vnímání a tím i život. Vlivem doby ve které žijeme, se zvyšujícími nároky na lepší vidění, stoupají i požadavky pro očního specialistu na komplexní vyšetření, včetně binokulárního vidění. Heteroforie, aneb skryté šilhání, je jedna z obtížně korigovatelných binokulárních anomálií, zejména kvůli své individualitě a variabilitě v možnostech řešení. Jedná se pro očního specialistu o složitější téma, i vlivem míry a způsobu korekce prizmatickými skly, proto se tomu mnoho odborníků vyhýbá. Detekce a diagnostika závisí na individuálních problémech a potřebách jedince. Je nutnost vědět a zjistit o vyšetřovaném opravdu mnoho informací, od osobní, pracovní, rodinné anamnézy po potřeby, potíže a problémy.

Znalost a pochopení vzniku zrakového vjemu je nezbytné vědět pro řešení a základ binokulárního vidění, proto je v práci zmíněna teorie zrakové dráhy, funkce motorického a sensorického systému a základní princip vzniku vidění. Nelze opomenout ani faktu akomodačně konvergenčního vztahu a zásadní funkci okulomotorických svalů. Dále je rozváděna podstata nejrozšířenějších binokulárních anomálií a jejich vyšetřování pomocí různých testů v klinické praxi. Prizmatickou korekci lze označit jako jednu z neúčinnějších metod při řešení binokulárních anomálií, či může i negativně ovlivnit zrakové vnímání jedince? V této práci je vysvětlen princip a zápis prizmatického klínu, jeho využití, ale také jeho výhody či nevýhody. V neposlední řadě jsou popisovány nechtěně navozené jevy vlivem prizmatického klínu, především disperze světla ovlivňující zrakovou ostrost, což souvisí s praktickou částí práce.

S tématem mé bakalářské práce jsem bohužel velmi úzce spjata, proto hlavní motivací pro mě bylo zjistit o daném problematickém tématu, který můj život velmi ovlivňuje, co nejvíce. Od puberty jsem nosila nesprávnou brýlovou korekci, která mé nesnesitelné potíže ještě stupňovala, až díky tomuto studiu jsem pochopila sama, kde se stala chyba a čemu by měl každý kvalitní oční specialista předcházet. Již skoro rok nosím prizmatickou korekci a jsem typickým příkladem dekompenzované heteroforie.

Cílem mé bakalářské práce je rozšířit znalosti očním specialistům o využívání prizmatické korekce v dostatečné míře jako běžnou součást jejich praxe, a naopak pomoci a ukázat problémovým jedincům, že vždy existuje alespoň nějaké řešení k vymizení zrakových obtíží.

2 Binokulární vidění

Binokulární vidění je definováno jako koordinace a spojení obrazu obou dvou očí za vzniku výsledného jednoduchého zrakového vjemu. Jde o přenos monokulární sensorické a motorické informace. Zrakový vjem je zprostředkován oběma očima cestou zrakové dráhy a zrakového centra pomocí centrální nervové soustavy. [1,2,4]

Výsledný obraz není dvojitý, ale jednoduchý, je tvořen překrytím obou dvou obrazů separátně z každého oka a jeho následným spojením, ideálně za vzniku hloubkového prostorového vjemu. [1,2]

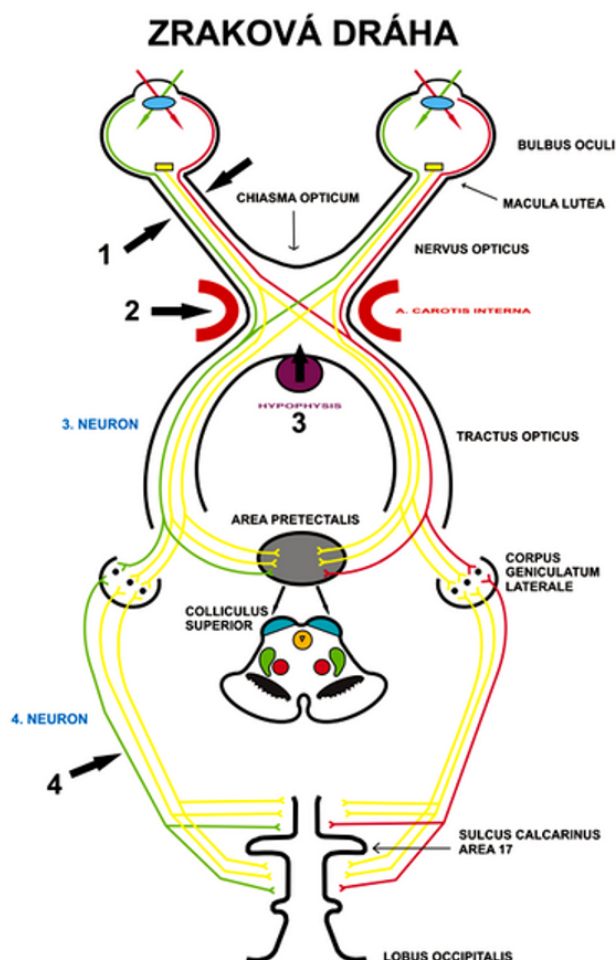
2.1 Teorie binokulárního vidění

Zraková dráha je čtyřneuronová sensitivní dráha, která začíná v oční sítnici, propojující oči s mozkem. Světelné podněty jsou přenášeny ze sítnice až do primární zrakové oblasti v týlním laloku. První neuron zrakové dráhy tvoří speciální světločivé buňky, nazývané fotoreceptory (tyčinky a čípky), které jsou rozmístěny v nejvnitřnější vrstvě sítnice. Fotoreceptory jsou přeměněné neurony, jejichž jeden dendrit se chová jako světločivý výběžek, který dokáže přeměnit světelné podněty na nervový vzruch. Jejich axiální části tyto nervové vzruchy předávají dál na druhé neurony sítnice, které tvoří bipolární buňky. Soubor těchto bipolárních buněk se označuje jako ganglion retinae. Třetí buňky sítnice ležící nejbližší jejímu nitroočnímu povrchu se obecně označují jako gangliové buňky, soubor pak ganglion opticum. Jsou umístěny po vnitřním obvodu bulbu a tyto neurony se sbíhají ve zrakovém nervu. Chiasma opticum je místem křížení se vláken sítnice vybíhající z nervi optici před předním okrajem těla kosti klínové, kde dochází ke sjednocení vláken jednostranných míst sítnic pravého a levého oka. Od Chiasma opticum pokračují dále vlákna ve zrakových svazcích dle tractus opticus až ke zrakovému centru, kde se nachází čtvrté neurony zrakové dráhy v corpus geniculatum laterale. Buňky těchto axonů tvoří zrakovou radiaci. Ke spojení obrazu a vzniku zrakového vjemu dochází až v týlním laloku, kde příslušné nervy zrakové dráhy končí. [5]

2.1.1 Tyčinky a čípky

Sítnice obsahuje speciální světločivé elementy rozlišující se na dva typy. Tyčinky jsou světločivé buňky bez schopnosti rozeznávat barvy zajišťující skotopické vidění. Čípky jsou naopak prvními neurony sítnice zajišťující fotopické vidění a tím nesou odpovědnost za zrakovou ostrost. Obsahují zrakové barvivo iodopsin, které je maximálně citlivé na červené

světlo. Zatímco tyčinky reagují již při malém množství osvětlení, naopak čípky reagují až na světlo vyšší intenzity. Na sítnici se celkově nachází 6 miliónů čípků a 120 miliónů tyčinek. [5]



Obrázek 1: schéma zrakové dráhy [30]

2.2 Jednoduché binokulární vidění

U jednoduchého binokulárního vidění se rozlišují tři kvalitativní úrovně. První úroveň je simultánní percepce se superpozicí. Je to jeden z nejzákladnějších stupňů binokularity a od něho se odvíjí celkově další vývoj binokulárního vidění. Jde o schopnost současně vnímat a překrýt obraz oběma očima. Druhou úroveň se nazývá úroveň fúze, tedy spojení obrazu pravého a levého oka za pomoci motorických a senzorických procesů. Motorický proces funguje na principu šesti okoohybných svalů, které spolu kooperují. Senzorická část fúze pracuje na bázi centrální nervové soustavy a její zrakové dráhy. Fúze se dělí dle místa fixace na centrální (foveolární), paracentrální (makulární) a periferní. Třetí a zároveň poslední úroveň binokulárního vidění je stereopse, vznik prostorového vidění, schopnost vnímat trojrozměrný obraz a jeho hloubku ostrosti. Důležitou podmínkou stereopse je fúze. [2,3,4,28]

2.2.1 Zraková ostrost

Zraková ostrost je kvalita a schopnost lidského oka rozlišovat detaily v prostoru. Jedná se o nejmenší vzdálenost dvou bodů v prostoru, kterou lze ještě od sebe rozeznat a nevnímat jako jeden bod, tzv. minimum separabile. Předpokladem musí být obraz na sítnici, který je oddělen alespoň jedním čípkem jako mezera mezi předměty. Jestliže má být dvojice bodů vnímána odděleně, musí dojít k podráždění dvou samostatných světločivných elementů tak, aby mezi nimi zůstal alespoň jeden čípek nepodrážděný. Základní jednotkou rozlišovací schopnosti oka byla ustanovena jedna úhlová minuta (1'). [19,20,27,29]

2.2.2 Stereopse

Stereopse výrazně zvyšuje schopnost rozlišovat rozdíly v hloubce ostrosti. Při nejlepších podmínkách lze detekovat disparitu mezi objektem, který je fixován a okolním prostředím. Rozdíl těchto vzdáleností, kdy jsou okolní objekty rozostřeny a utlumeny, nám navozuje hloubkovou ostrost obrazu. [1,2]

Lidské oči vlivem jejich postavení vnímají okolní svět každý z jiného úhlu, tudíž obrazy vytvořené na sítnici nebývají stejné, proto obvykle nastává menší disparita obrazů či objektů. Tyto disparity umožňují hloubkově vnímat prostor a prostorové uspořádání. Stereopse navozuje trojrozměrnou strukturu světa, vnímání perspektivy a hloubky ostrosti obrazu. [2]

Pro zajímavost například zvířatům stereopse umožňuje zlepšovat prostorové vidění při lovu nebo naopak vnímat jakákoliv ohrožení. Lze si povšimnout značného rozdílu v zorném poli binokulárního vidění zvířat typu lovce a lovenou zvěří. Obecně vzato všechna zvířata se dvěma očima mají binokulární vidění. I ta zvířata, která mají oči umístěné postranně jsou schopni integrovat informaci a spojit vjemy z obou očí dohromady. [2,3,4]

2.3 Podmínky binokulárního vidění

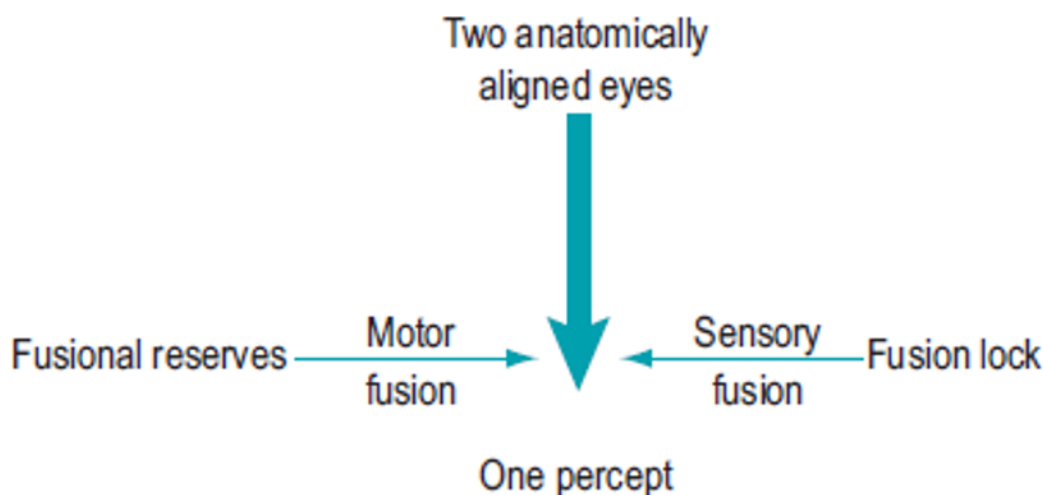
Správná funkce binokulárního vidění je vázána na řadu ovlivňujících faktorů, které lze rozdělit do 3 hlavních okruhů. [1]

- 1) Anatomie vizuálního aparátu
- 2) Motorický systém – koordinace pohybu očí
 - Volná pohyblivost bulbů ve všech směrech
 - Paralelní postavení očí při pohledu do dálky
 - Funkční motorické a senzorycké dráhy
 - Souhra akomodace a konvergence

3) Smyslový/senzorický systém

- Centrální fixace obou očí
- Podobná velikost retinálních obrazů
- Normální retinální korespondence [1]

Anomálie v kterémkoliv ze 3 okruhů může způsobovat obtíže nebo dokonce může vyřadit binokulární vidění, proto je velice důležité u pacientů s binokulárními obtížemi pečlivě vyšetřit všechny ze 3 hlavních okruhů. [1]



Obrázek 2: Schéma ukazující interakci oční motorické funkce se senzoricím systémem [1]

2.4 Korespondující body sítnic, horopter a Panumův prostor

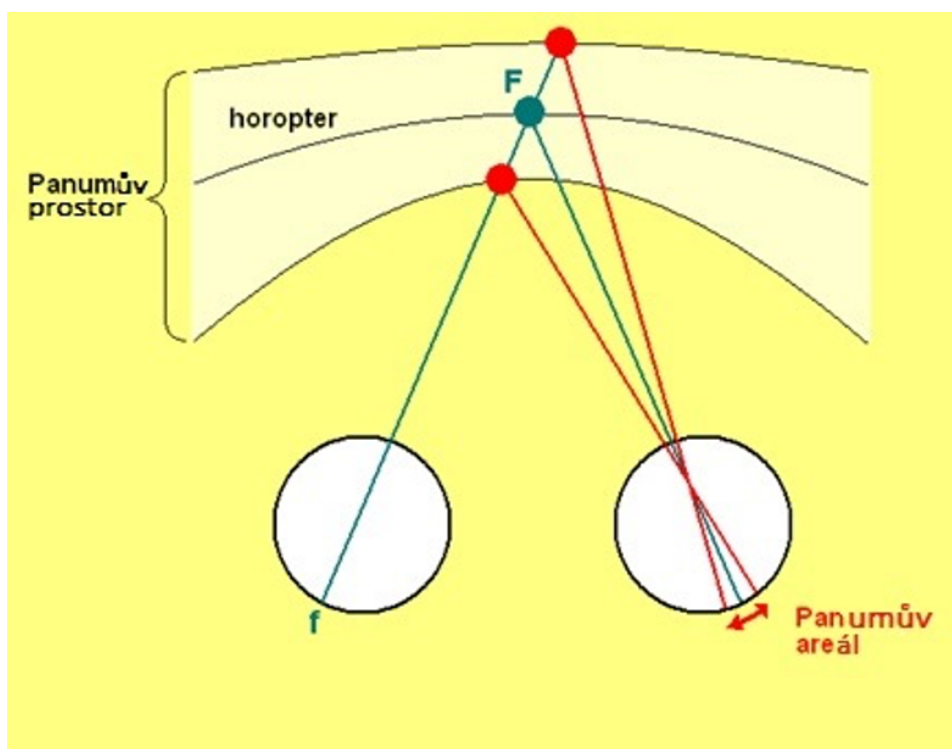
Každý sítnicový bod jednoho oka odpovídá stejnému umístění v prostoru s konkrétním bodem sítnice oka druhého. To znamená, že fovea (místo nejostřejšího vidění na sítnici) má stejné vlastnosti s foveou oka druhého, tzv. normální retinální korespondence. Kvůli této schopnosti lze pozorovat objekt viděn dvěma očima jako jeden jednoduchý vjem. Všechny ostatní nekorespondující body sítnice se nazývají disparátními. [3,6]

Horopter je definován jako souhrn všech bodů v ploše, které stimulují korespondující body sítnice. Jedná se o trojrozměrnou křivku spojující korespondující místa na sítnici pravého a levého oka za vzniku jednoduchého obrazu (fúze). Body mají horizontálně pravidelnou vzdálenost od sítnice. Tento prostor je pomyslně označován do tvaru paraboly. Linie horopteru je obecně nazývána Vieth-Müllerův kruh (geometrický horizontální horopter). S navozující konvergencí se tento kruh zmenšuje. [3,6]

Panumův prostor je oblast v prostoru před okem, kde lze je ještě možný vznik jednoduchého vjemu a jeho prostorového zobrazení z disparátních nekorespondujících bodů

sítnice. Jedná se o pomyslnou ochrannou zónu před vznikem dvojitého vidění. Body ležící před i za Panumovým prostorem jsou vnímány dvojitě, tedy je vyvolána fyziologická diplopie. Člověk tuto diplopii nemusí ani pocítit, protože se ji naučil nevnímat. Panumův prostor obklopuje horopter. [3,6]

Panumův areál je oblast v okolí jednoho bodu sítnice, kdy již za přítomnosti disparity nevznikne diplopie, ale dochází ke vzájemnému spojení obrazů a člověk tím dokáže vnímat objekty prostorově. Panumovu areálu odpovídá v prostoru Panumův prostor. (obr. 3) [3,6]



Obrázek 3: schéma horopteru a Panumova prostoru [6]

2.5 Vývoj binokulárního vidění

Binokulární vidění je získaná schopnost, která se začíná vyvíjet ihned po narození s vývojem a dozráváním sítnice a její žluté skvrny, resp. foveoly. Vývoj zrakových funkcí trvá několik let. Je důležité z hlediska diagnostiky jakékoliv odchylky od normálního binokulárního vidění sledovat vývoj již od narození dítěte. [4,5]

Novorozenec má jen základní pupilární reflex, rozpozná světlo a tmu a jeho úroveň sítnice by se dala připodobnit k zvířeti krtku. Již během prvního měsíce se vyvíjí monokulární reflex, v druhém měsíci se postupně zařazují i vzájemně konjugované pohyby, kdy novorozenec je schopen využít obě oči a vnímat pohybující se objekt, v následujících měsících se přidávají i vergenčně disjungované pohyby pro zaostření objektů v různých vzdálenostech. Do jednoho

roku dítěte je plně vyvinut reflex konvergence a akomodace, schopnost zaostřování předmětů a začíná se projevovat pomalu i stereoskopické vidění. První kritický věk pro detekci a diagnostiku jakéhokoliv strabismu je 6. měsíců, v tu dobu by již měla být plně vyvinuta koordinace bulbů. Proces zdokonalení, upevnění a stabilizace probíhá do 6. roku života. Do 6.let věku dítěte se upevňuje binokulární vidění a zraková ostrost by měla být rovna jedné. Porucha ve vývoji binokulárních funkcí vede k amblyopii či narušení centrální retinální fixace. [4,5,12,28]

3 Okulomotorika

Pohyblivost očí zajišťují okoohybné svaly, jejich úkolem je dosáhnout kooperací všech šesti okoohybných svalů jednoduchého binokulárního vjemu. Na každém oku se nachází čtyři přímé, dva šikmé svaly a zvedač očního víčka. Mezi přímé svaly řadíme horní, dolní, vnitřní a zevní (rectus superior, inferior, medialis a lateralis), zatímco šikmé svaly jsou jen horní šikmý (obliquus superior) a dolní šikmý (obliquus inferior). Horizontální svaly, tedy vnitřní přímý a zevní přímý, mají jen jednu primární funkci, umí vykonávat pohyb oka jen v jednom směru. Zbylé čtyři okoohybné svaly mají kromě primární i sekundární funkci, dokáží ovlivnit pohyb oka i v jiných směrech. [3,4,5]

Na inervaci šesti okoohybných svalů se podílí tři hlavové nervy. Nervus oculomotorius III., nervus trochlearis IV. a nervus abducens VI. [3,4,5]

Nervus oculomotorius inervuje horní, dolní a vnitřní přímý sval, dolní šikmý sval a zvedač horního víčka. Nervus trochlearis inervuje horní šikmý sval. Nervus abducens inervuje zevní přímý sval. [3,4,5,9]

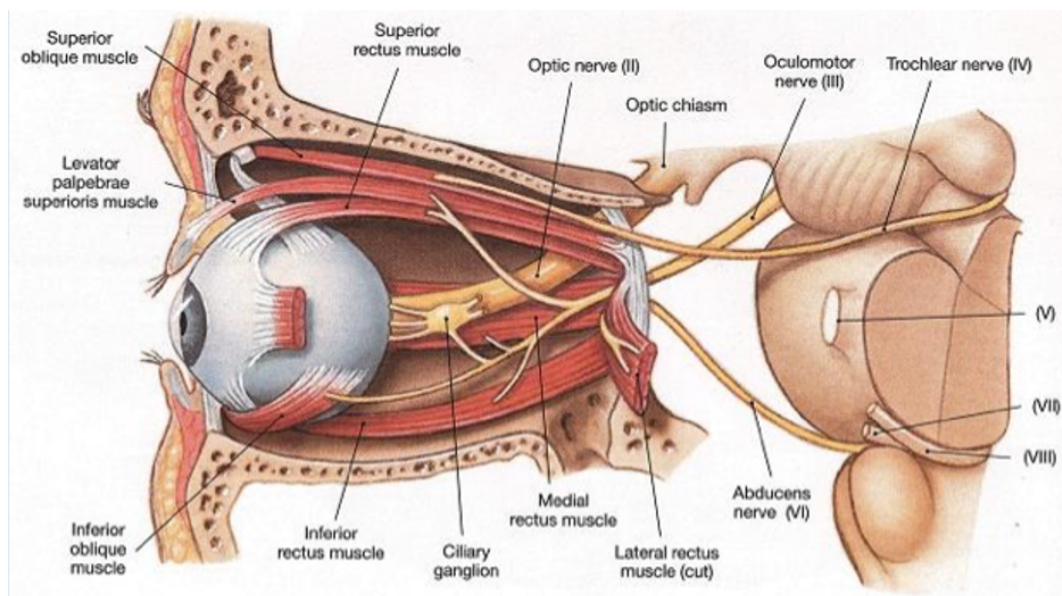
Oko nikdy není v klidu, i při soustředění se na primárně pozorovaný předmět vykonávají oči tzv. sakadické pohyby, rychlé, trhavé, drobné, nepozorovatelné pohyby bulbu, jimiž oko chce, co nejvíce a nejpodobněji očima prozkoumat pozorovaný objekt a tím rozšířit místo nejostřejšího vidění v makule. Horní a dolní přímé svaly dokáží i rotační otáčení bulbu. Binokulární pohyby jsou koordinované vzájemné pohyby obou dvou očí. [3,4,5]

Dukce je druh očního pohybu kolem vertikální, horizontální a předozadní osy. Pohyb bulbu dovnitř, tedy k nosu se nazývá addukce, naopak zevně abdukce. Elevace je pohyb vertikální směrem nahoru, naopak vertikálně dolů se nazývá deprese. [4,5,10]

Na pohybu očního bulbu určitým směrem se podílí najednou několik svalů dohromady, proto existují jisté zákony o motorické spolupráci obou očí. Okulomotorické svaly se dělí na agonisty a antagonisty. Již z názvu lze odhadnout, že se jedná o kooperaci dvojici svalů. Každý agonista musí mít svého antagonistu. Agonista je hlavní sval, má svou primární funkci, vykonávající pohyb daným směrem, zatímco antagonist ho vykonává v opačném směru. Mohou se objevit i svaly synergistické, které pomáhají a spolupracují na daném očním pohybu. Při pohledu doprava, kooperuje zevní přímý sval pravého oka s vnitřním přímým svalem oka levého. Právě při tomto směru očních bulbů je utlumena funkce antagonistů, při našem příkladu

vnitřního přímého svalu vpravo a zevního přímého svalu vlevo, tomu lze nazývat simultánní relaxace antagonistů. [4,7,10]

Harmonická kooperace a činnost párových okulomotorických svalů je ovlivňována dvěma zákony. První je zákon o reciproké inervaci antagonistů (Sherringtonův), který popisuje, že jakmile je zvýšena inervace pro určitý okulomotorický sval, je zároveň při stejné míře utlumena funkce inervace pro jeho daného antagonistu. Symetrická inervace agonistů udává druhý zákon, tedy zákon o motorické korespondenci (Heringův). Stejný nervový impulz o stejné intenzitě je posílán do dvojice druhostranných agonistů. [4,7,10]



Obrázek 4: schéma zobrazující umístění šesti okohybných svalů a jejich inervaci [9]

3.1 Základní pohledové mechanismy

Základní pohledové mechanismy, aneb pohyby očního bulbu, jsou nedílnou součástí vlivu na binokulární vidění.

3.1.1 Vergenční pohyby

Vergenční pohyby jsou koordinované ale protisměrné pohyby obou dvou očí, při nichž se osy očí stáčí buď k sobě, odborněji nazývané konvergentním pohybem, nebo se osy stáčí od sebe, divergentním pohybem. [3,4]

Vergenční pohyby zajišťují senzoryckou fúzi. Tyto pohyby umožňují sledovat objekt, který se například rychleji oddaluje či přibližuje a také rychlou změnu fixace pozorovaného objektu. Tento jev závisí na konvergenčních a divergenčních pohybech obou dvou očí. Konvergenční pohyb očí je nezbytný při pozorování do blízka a fixace přibližovaného objektu,

zatímco divergentní pohyb bulbů vrací oči do jejich paralelního postavení. Jedná se o pomyslné uvolnění okulomotorických svalů po konvergenci. [3,7,8]

3.1.2 Verzní pohyby

Verzní pohyby jsou koordinované stejnosměrné pohyby obou dvou očí, jejichž osy jsou stále paralelní. V klinické praxi lze vyšetřovat šest základních pohledových směrů. Verzní pohyby mají jako hlavní funkci zvětšení zorného pole a monokulární foveální fixaci. [3,4,7]

Kvůli rychlosti sakadických pohybů očních bulbů, dochází k přenesení vjemu objektu z periferie až na makulu (foveolu). Sakadické pohyby dokážou dosáhnout rychlosti až 700 stupňů za sekundu a tím se řadí mezi nejrychlejší oční pohyby bulbu. [3,4,7]

Sledovací oční pohyby umožňují neustále zaměřovat pohybující se objekt tak, aby došlo k hladkému přesunu vjemu až na foveolu, a obraz se neustále promítal na místo nejostřejšího vidění na sítnici. [7,8]

Sakadické a sledovací oční pohyby spolu musí i v některých situacích kooperovat. Tyto pohyby mohou být volní i mimovolní. Korové motorické centrum v týlním laloku řídí pohyby volní, a naopak v čelním laloku řídí reflexní, zrakově podmíněné pohyby. Člověk může měnit pohledové směry dle vůle, ale při automatických zrakově podmíněných pohybech, udává se například fixační reflex, je tento jev podmíněn sluchovým či hmatovým stimulem. Právě tyto pohyby nazýváme mimovolní. [3,7,8]

3.1.3 Reflexní pohyby

Mezi reflexní pohyby se řadí vestibulo-okulární reflex a optokinetický nystagmus. Oči vyrovnávají pohyby hlavy právě vlivem vestibulo-okulárnímu aparátu. [3,5,7]

Vestibulo-okulární reflex je velmi důležitý pro celkovou koordinaci očí, hlava a tělo, bez něj by naše pohyby očí a hlavy spolu nekooperovaly. Tento reflex ovlivňuje primární zrakovou osu. Při jakémkoliv pohybu hlavy, by pohyb očí měl být v opačném směru, tím se stabilizuje pohledová osa. Anomálie dráhy vestibulo-okulárního aparátu může skončit až nystagmem. [3,5,7]

4 Vztah akomodace a konvergence

Akomodace a konvergence spolu velmi úzce souvisí. Akomodace navozuje konvergenci, a naopak konvergence navozuje akomodaci. Akomodace a konvergence mají společný přívodný neuron zrakové dráhy, a proto akomodace s konvergencí probíhá vždy společně. Při pohledu na pravé nekonečno pohledové osy bulbů jsou paralelně postaveny, tím vnímaný obraz dopadá na místo nejostřejšího vidění na sítnici. Ovšem při pohledu do blízka se zvyšuje konvergentní pohyb, pohledové osy očí se sbíhají k sobě, dochází k zúžení a stahu zornic, aby byla stále přítomna maximální ostrost vidění. [1,3,5,7]

Pro klinickou praxi je velmi důležitý akomodačně konvergenční poměr, ve zkratce AC/A poměr. Udává míru, kterou ovlivňuje akomodace konvergenci, jinak řečeno, jak silná konvergence je způsobená danou akomodací, udávána v jednotkách prizmatické dioptrie [pD]. Průměrná hodnota naměřena v běžné populaci je 3 pD při změně o 1 pD. Tento poměr se používá pro zjištění anomálií, měření kvality binokulárního vidění a diagnostice fórií do blízka a její následné korekce. K zjištění AC/A poměru jsou známy dvě metody: výpočetní a gradientní metoda. V odborné veřejnosti se nejčastěji využívá početní metoda pomocí vzorce Scheimana a Wicka:

$$= IPD(cm) + NFD(m) \times (Hn - Hf)$$

Pupilární distanci udávanou v centimetrech se označuje IPD, zkratka NFD značí vzdálenost blízkého bodu fixace v metrech, Hn znamená forie na blízko a Hf forie naměřena do dálky. [1,3,5,7]

Druhá gradientní metoda se stanoví naměřením forie do blízka, poté se předloží klientovi čočky s dioptrickou hodnotou -1,0 a znovu se změří forie do blízka na tom stejném testu. Velikost změny forie odpovídá hodnotě akomodačně konvergenčního poměru. [1,7,11].

AC/A poměr klesá s věkem, což je logické, protože s věkem je podmíněn úbytek akomodačních schopností. Při zjištění vysokého AC/A poměru může jít o konvergenční excés, jedná se o esofozii do blízka nebo excés divergence, tedy exofozii do dálky. Když naopak je zjištěn nízký AC/A poměr, jde o nedostatečnou konvergenci, exofozii do blízka, nebo též o nedostatečnou divergenci, myšleno tím esofozii do dálky. [1,3,5,7]

5 Anomálie binokulárního vidění

Binokulární vidění se vyvíjí již od narození. Při vývoji může dojít k poruše či různým odchylkám. Pokud je narušena jakákoliv spolupráce očí, nedojde k binokulárnímu vidění, tedy ke vzniku jednoduchého zrakového vjemu, dochází tím ke změně vnímání pozorovaného objektu, snížení zrakové ostroty, poruchy v zorném poli či nevnímání trojrozměrného prostoru. Následkem může být buď v motorické části úchylka oka či očí, nebo v senzorické části nedopadající zrakový vjem na příslušné místo nejostřejšího vidění na sítnici. Naše tělo může zareagovat na podněty z těchto odchylek různými adaptačními procesy, jako je například suprese oka (viz kap. 5.5). Strabismus se dělí na zjevné (heterotropie) a skryté (heteroforie). U dětí se jedná o jednu z nejčastějších zrakových vad. [3,10,11,29]

5.1 Heterotropie

Porucha vzájemné kooperace očí je nazývána manifestním strabismem, jinak řečeno heterotropií. Postavení očí je viditelně asymetrické, osy bulbů nejdou stejným směrem do jednoho bodu, ale uchylují se. Postavení vedoucího oka je přímo naměřeno do bodu fixace, naopak druhé uchylující oko šilhá. Úchylkou šilhání lze nazývat osy obou očí svírající určitý úhel. Přítomna je porucha jednoduchého binokulárního vidění. Existuje několik typů tropií zařazených dle směru úchylky: exotropie (šilhání dovnitř), esotropie (šilhání ven), hypertropie (šilhání nahoru) a hypotropie (šilhání dolů). Dle úhlu úchylky se dělí strabismus na konkomitantní (dynamický) a inkomitantní (paralytický). [3,10,11]

5.1.1 Konkomitantní (dynamický) strabismus

Konkomitantní strabismus má stejně veliký úhel šilhání ve všech možných pohledových směrech. Vzniká především v předškolním věku, vývojovou odchylkou senzomotorické koordinace očí. Nejvíce je tento druh strabismu zastoupen u dětí. Většinou postižený nemá subjektivní potíže, nemusí být přítomna diplopie a není ani narušena motilita očí. Jedná se o vrozenou vadu, která může skončit až amblyopií (tupožrakostí). Nejčastější kompenzace je konzervativní léčba, tedy správná brýlová korekce, okluze při amblyopii či ortoptická cvičení. [3,10,11]

5.1.2 Inkomitantní (paralytický) strabismus

Paralytický strabismus může vzniknout kdykoliv během života, nejčastěji u dospělých jako následek úrazu, tumorů, zánětů či degenerativních chorob, ale může se objevit i vrozený

paralytický strabismus. Příčinou je nejčastěji paréza okohybného svalu v důsledku léze jeho příslušného nervu. Oproti konkomitantnímu strabismu není tolik rozšířen, postihuje asi jen 1% populace. Lidé trpící tímto strabismem mají narušenou hybnost očí ve směru maximální funkce svalu, proměnlivý úhel šilhání v různých možných pohledových směrech a potýkají se s problémem dvojitého vidění. Kompenzace u paralytického strabismu může být natočení nebo nesprávné držení hlavy sloužící k vyloučení diplopie. [3,10,11]

5.2 Heteroforie

Heteroforie je popisována jako skryté šilhání, vyskytující se při nerovnováze okulomotorických svalů, dysfunkcí či insuficiencí konvergence nebo akomodace. Skryté šilhání lze rozpoznat při zrušení fúze, to lze docílit zakrytím a vyřazením jednoho oka. Oči ve správném postavení během binokulárního vidění udržuje právě fúze. Po překrytí jednoho oka, oko pod okluzí se uchýlí vlivem převahy jednoho z okulomotorických svalů a po odkrytí se prosadí fúzní mechanismus a tím se vrátí oko zpět do paralelního postavení. [10,11,12]

V populaci je heteroforie celkem běžná věc, někdo o ní ani nemusí vědět, protože si ji jeho motorický a senzorický systém dokáže sám vykompenzovat bez jakýchkoliv symptomů, obvykle bez diplopie a bez suprese. Tato forie se nazývá kompenzovaná a nevyžaduje řešení. Problém ovšem nastává v případě, že náš mozek již nedokáže tuto forii přemoci. Při dekompenzované heteroforii se objevují symptomy, které v běžném životě přidělávají starosti. Tyto symptomy lze obecně nazvat muskulární astenopií. Po disociaci obrazu dochází k pomalejšímu spojení vjemu a nepříjemnému dvojitému vidění. Vyskytuje se i při dekompenzované heteroforii slabší suprese a slabá stereopse. Vlivem únavy, nemoci, ale i alkoholu může dojít k dočasnému zeslabení fúze a úchylnka přejde v intermitentní manifestní šilhání. [10,11,12]

Jak velikou forii lze označit jako „přirozenou“? V různých publikacích se dle jednotlivých autorů vyskytují mírně odlišné hodnoty, ovšem průměrně očekávaná hodnota s vyšetřující vzdáleností na 6 m by se měla pohybovat okolo 1pD BO. Do blízka na přibližně 40 cm je očekávanou hodnotou 3pD BO. [10,11,12]

Při měření forií se musí dbát zvýšené opatrnosti. Je totiž možnost, že hodnoty forií budou během dne ale i během vyšetření kolísat, např. vlivem únavy, ale i vlivem metodiky vyšetření. Refrakční vady mohou ovlivňovat i velikost heteroforie. Hypermetropické oči mají spíše sklony ke konvergenci, tedy osy očí se stáčí k nosu, naopak myopické oči ven, tedy k divergenci. [10,11,12]

5.2.1 Klasifikace heteroforie

Heteroforii lze rozdělit dle směru úchytky na horizontální, vertikální, rotační a smíšenou. [10,11,12]

Horizontální úchytky se nazývají esofovie a exofovie. Při esofovi dochází ke sbíhání či konvergenci pohledových os očí, naopak u exofovie pohledové osy divergují, tedy se stáčí ven. Vertikální deviace mohou být hypoforické, kdy jedna z vizuálních os je níže než ta druhá, nebo hyperforické, kdy pohledová osa jednoho oka je výš než oka druhého. Rotační deviace se zpravidla nekompensují a ani nijak neléčí, jsou velmi vzácné. Existují excyklofovie znamenající stáčení oka temporálně nebo incyklofovie, kde se stáčí oko nasálně. [10,11,12]

5.2.2 Symptomy dekompenzované heteroforie

Symptomů dekompenzované heteroforie existuje opravdu mnoho, jde spíše o individuální potíže. Bolest hlavy je velice častým symptomem, ale je otázkou, jestli za to opravdu může jakákoliv binokulární anomálie. Bolest by měla být cítit na čele, ve frontální části, okolo očí, nejčastěji tupá a dlouhotrvající, progresující při únavě a ke konci dne, kdy jsou oči, respektive okulomotorické svaly, již vyčerpány. Problém může nastat i při dlouhém pozorování jedné a té samé vzdálenosti a tím nucení očí konvergovat či divergovat delší dobu. Občasná diplopie je jeden z nejspecifičtějších symptomů forií. Zakrytím či přivřením jednoho oka se pomůže uvolnit stah a napětí okulomotorických svalů, vidění tím na jednu danou vzdálenost bývá komfortnější, ale prostorově zaostává. Vyskytuje se i abnormální postavení hlavy, při kterém si člověk kompenzuje dvojitě vidění, nos v tu chvíli slouží jako okluze. Další symptomy souvisejí s orientací v prostoru, špatný odhad vzdálenosti nebo dokonce absence trojrozměrného vnímání. [1,11]

5.3 Fixační disparita

Malá odchylka zrakové dráhy jednoho nebo obou očí, při fixování bodu v prostoru bez přítomnosti diplopie, nazýváme fixační disparitou. Odchytky se pohybují mimo horopter, ale stále ještě v mezích Panumova prostoru, proto je přítomno jednoduché binokulární vidění. Fixační disparita je ale v mezích normy běžná u fúzního mechanismu, ovšem když se objeví vyšší deviace, může jít o chybu v ovládní fúze a je doprovázena symptomy dekompenzované heteroforie. V klinické praxi rozeznáváme dva stupně fixační disparity. První stupeň se pohybuje na hranicích Panumova areálu, není schopno motoricky kompenzovat, ale senzorycky kompenzováno je. Pro výskyt druhého stupně fixační disparity musí být delší dobu přítomen

již první stupeň. U druhého stupně se Panumův areál protáhne. Může docházet až k supresi očí, snížení visu i obtíže se soustředěním. [3,29]

5.4 Anomální retinální korespondence

Anomální retinální korespondenci lze vysvětlit jako binokulární senzoricou adaptaci očí na motorickou úchylku (šilhání). Korespondence vznikne mezi dvěma dříve disparátními body a rozšíří se po sítnici. Jde o nezávažnou poruchu binokulárního vidění, pokud je anomální retinální korespondence v rámci blízkého prostoru žluté skvrny. [1,3]

5.5 Suprese

Suprese je definována jako potlačení vjemu v zorném poli za binokulárních podmínek, tedy při odkrytém pravém i levém oku. Nedochozí k přenosu informací z oka šilhajícího do zrakového centra, tedy nastává kortikální útlum a zabraňuje tak uvědomování si přicházejících informací z konkrétních míst sítnice. Při zakrytí neutlumovaného oka mozek aktivuje oko supresované. Supresi lze vysvětlit i jako adaptační jev na úchylky oka a jeho nežádoucí jevy. Důležitá je míra suprese, protože ji nelze nijak léčit ani kompenzovat. Existují dva typy suprese, fyziologická a patologická. Za přítomnosti normálního binokulárního vidění, bez vzniku diplopie je přítomna fyziologická suprese. Patologická suprese se projevuje u binokulárních anomálií, zobrazovaný vjem na jednom oku je odlišný než vjem na oku druhém. Alternující vidění, aneb střídává suprese pravého a levého oka, se dá využít v dnešní době při korekci tzv. monovision, kdy jedno oko je vykorigované na blízko, a to druhé na dálku. [1,11]

5.6 Amblyopie

Amblyopie je českým termínem nazývána tupozrakostí, jedná se nejčastěji o jednostranné snížení visu, bez nálezu jakékoliv patologie. Oboustranná amblyopie se vyskytuje jen vzácně. Amblyopie vzniká v dětství, v období zrakového vývoje, tedy přibližně do 6 let věku dítěte, kde dochází k nesprávné zrakové stimulaci, která způsobí neobvyklé odchylky ve zrakovém centru, kdy je cíleně utlumena informace z oka tupozrakého. Důležité u amblyopie je včasná léčba, začíná se předpisem plné korekce refrakční vady zjištěné v cykloplegii, poté se aktivuje tupozraké oko pomocí okluze či penalizace právě oka vedoucího a s přidáním pleoptickým cvičením lze dosáhnout zlepšení visu. [10,12]

5.7 Anizeikonie

Anizeikonie je definována jako rozdílná velikost nebo tvar pozorovaných obrazů na sítnici pravého a levého oka. Rozhodující není velikost obrazů na sítnici, ale rozdílnost zrakových vjemů. Obtíže nastávají při rozdílu velikostí obrazů větší než 5 %. Anizeikonie je spjata s anizometrií (rozdílná refrakce pravého a levého oka) a často i vlivem ní vzniká. [3,38]

Anizeikonii lze rozdělit na statickou a dynamickou. Prvním statickým typem je klasická anizeikonie lišící se vnímanými rozdíly ve velikosti obrazů při statickém fixovaném směru pohledu. Druhým dynamickým typem se rozumí opticky indukovaná anizeikonie tzv. vyvolaná anizoforie, která označuje rozdíl ve velikosti obrazů způsobený nepřekonaným prizmatickým efektem při pohledu přes různé části anizotropických brýlových čoček. [1,38]

Příčiny anizeikonie mohou být optické či neoptické. Optické příčiny způsobují nestejnou velikost obrazů na sítnici pravého a levého oka, a lze je dělit na přirozené, například vlivem odlišné stavby optických prostředí a uměle vytvořené, vlivem brýlových skel. V případě neoptických příčin jsou obrazy na sítnicích stejně velké, ale subjektivně jsou vnímány s odlišnostmi, například kvůli nesouměrné hustotě a rozdělení čípků na sítnici. [1,38]

6 Vyšetřování binokulárních funkcí

Jedno z nejkomplicovanějších témat v optometrii jsou metody pro vyšetřování stavu binokularity. V současné době existuje opravdu mnoho testů pro zjištění binokulárních funkcí. Vzhledem k jednotlivému principu různých testů, lze očekávat, že každá metoda bude udávat jedincův jiný stav binokulárních funkcí, proto je nebytné při vyšetření používat a vyzkoušet vícero testů pro potvrzení úchylny oka. Anaglyfní a polarizační testy jsou v České republice jedny z nejpoužívanějších. Základem jakékoliv léčby je důkladné vyšetření, zjištění oční, rodinné či pracovní anamnézy a správný postup.

6.1 Anamnéza

Nejdůležitějším procesem při vyšetřování klienta je anamnéza. Každý kvalitní oční specialista by na ní měl brát veliký zřetel. Správná diagnostika korekce závisí především na zjištěné anamnéze od klienta. Pozoruje se postavení hlavy, postavení očí, stav víček či rychlé pohyby bulbů. Rodinná anamnéza ukazuje výskyt refrakčních vad, strabismu či různých anomálií očí jedince s ohledem na dědičnost. Osobní oční anamnéza popisuje klientův aktuální stav, dosavadní korekci, ale i všechny prodělané choroby během života, například glaukom, katarakta či jakékoliv záněty očí. Do celkové anamnézy klienta se řadí celkové onemocnění jedince, například diabetes mellitus, který je pro obor optometrie jedno z nejdůležitějších celkových onemocnění jedince, protože hladina cukru v krvi může ovlivňovat refrakční stav očí. Pracovní anamnéza poukazuje na potřeby klienta, jaká je jeho náplň dne a jaké má potřeby a přednosti perfektního vidění. [3,10,13]

6.2 Zakrývací testy

Zakrývacím testem se rozumí takový test, při kterém se dokáže diferencovat, zda se jedná o zjevnou úchylnu oka (heteroforie) nebo skrytou úchylnu oka (heteroforie). Při vyšetřování se sledují klientovi oční pohyby. Je nutnost rozlišovat vyšetřování do blízka a do dálky, oko může mít při změně jeho pozice jinou nebo daleko větší úchylnu. Vhodný fúzní podnět je pro tyto testy nezbytný. [1,3]

6.2.1 Intermitentní zakrývací test (Cover/uncover)

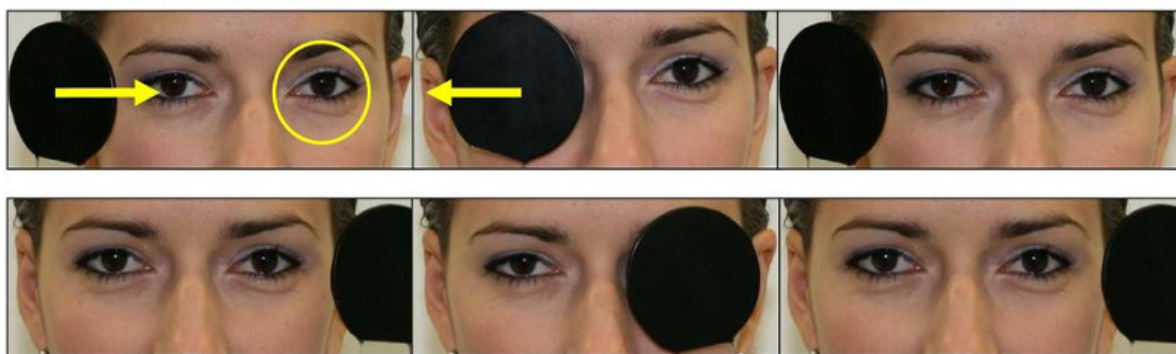
U těchto intermitentních zakrývacích testů se zakrývá či odkrývá jen jedno oko a až poté se provádí to stejné na oku druhém. Délka zakrytí jednoho oka bývá obvykle 1 až 2 sekund, ale pro plné potvrzení úchylny může být až 10 sekund oko zakryté. Intermitentní testy zjišťují

zjevnou úchylku oka, tedy při okluzi oka nestrabujícího, oko strabující musí převzít fixaci a tím vznikne tzv. fixační pohyb oka. [1,3,14]

6.2.2 Alternující zakrývací test (Alternate cover)

Tento typ alternujícího zakrývacího testu zjišťuje skrytou úchylku oka (heteroforii). Střídavě opakované zakrývání levého a pravého oka odhalí deviaci oka skrytě šilhajícího vzhledem k jeho zpětnému fixačnímu pohybu. V případě heteroforie se oči udržují fúzi, tu lze vyřadit právě tímto střídavě zakrývacím testem. [1,3,14]

• intermitentní test



• alternující test



Obrázek 5: zakrývací testy v praxi [31]

6.3 Testy pro kvantifikaci heteroforie

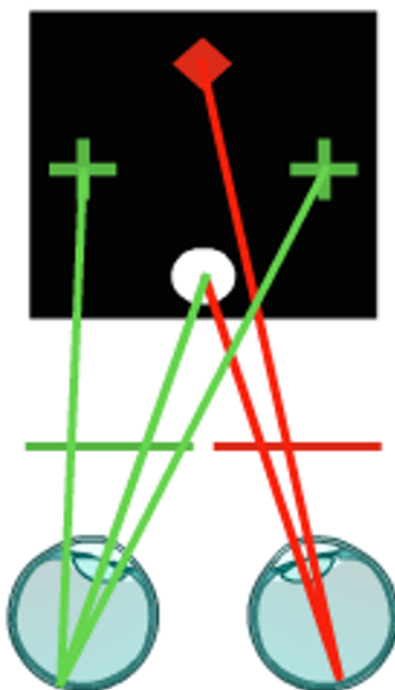
V rutinní praxi optometristy je důležité zařadit i binokulární screening. V současné době existuje opravdu mnoho testů, tato kapitola popisuje jedny z běžných a nejvyužívanějších metod pro měření přítomnosti odchyly.

6.3.1 Worthův test

Worthův test se skládá z černého pozadí a čtyř znaků sestaveného do kosočtverce. Červené káro a bílé kolečko jsou umístěny ve vertikále pod sebou. Dva zelené kříže leží v horizontále. Při vyšetření se používá červený filtr před oko pravé a zelený filtr před levé oko. Při okluzi oka levého je vnímáno červené káro a červené kolečko ve vertikále. Naopak při

zakrytí pravého oka jsou vnímány dva zelené kříže v horizontále a zelené kolečko ve vertikále. [12,17]

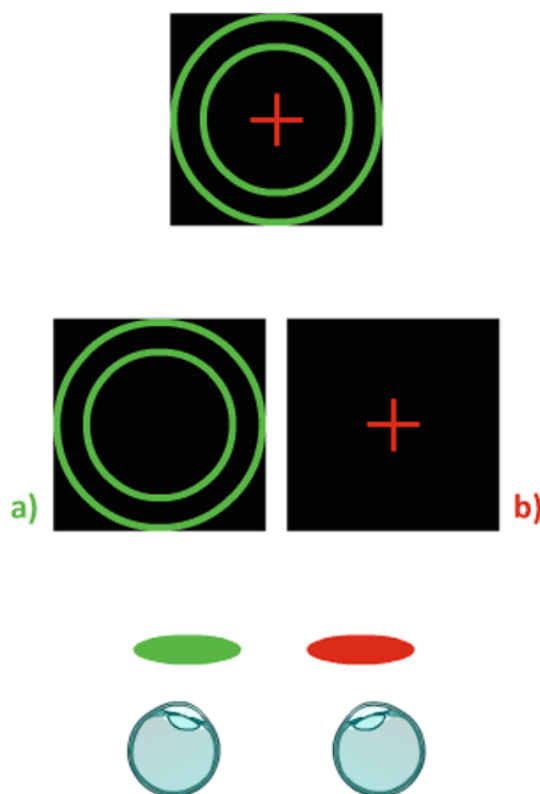
Za přítomnosti normálního jednoduchého binokulárního vidění by měl vyšetřovaný vidět standardně 4 znaky tvořící souměrný kříž. Pokud nastane jakákoliv změna, jedná se o binokulární anomálii. Jestliže je vnímán obraz o 3 zelených znacích, jedná se o supresi pravého oka, naopak tomu je v případě 2 červených znaků, kdy se jedná o potlačení vjemu oka levého. [17]



Obrázek 6: Worthův test [17]

6.3.2 Schoberův test

Schoberův test pro kvantifikaci heteroforie je díky jeho jednoduchosti velice populární. Stejně jako Worthův test má černý podklad, na kterém jsou umístěny dva soustředné zelené kruhy a uprostřed nich červený kříž. Opět se používá červený a zelený filtr. Pravé oko s červeným filtrem vidí červený kříž, naopak levé oko se zeleným filtrem vidí dva soustředné kruhy. V případě jakékoliv binokulární anomálie jsou znaky posunuty vůči sobě jakýmkoliv směrem dle úchyly oka. Velikost 1pD udává vzdálenost od konce kříže k první kružnici, ale také vzdálenost mezi kružnicemi. [17]



Obrázek 7: Schoberův test [17]

6.3.3 Maddoxův test

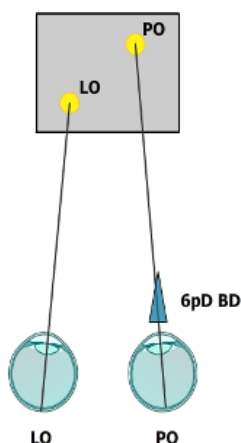
Základem Maddoxova testu je disociace obrazů levého a pravého oka, přitom dochází k potlačení fúze jednoho oka pomocí Maddoxova cylindru. Maddoxův cylindr sestává z mnoha plancylindrů, které dokážou rozmazat světelný bod pomocí jejich vysoké lámavosti. Při vyšetření používáme Maddoxův cylindr, který je předložen před jedním okem a Maddoxův kříž, který vysílá světelný bod. Dle pozice Maddoxova cylindru lze kvantifikovat jak horizontální, tak vertikální odchylku. V případě ortoforie prochází světelná linie středem Maddoxova kříže. Velikost deviace odpovídá číslům na Maddoxově kříži. [1,3,17]



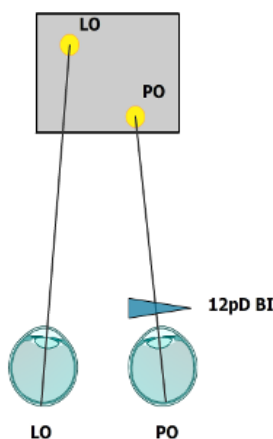
Obrázek 8: Maddoxův test a přítomnost exoforie či esoforie [17]

6.3.4 Von Graefeho prizma

Von Graefeho metoda používá jednoduchou disociaci navozenou pomocí prizmat, při které dochází k zrušení fúze. Jedná se tedy o arteficiální diplopii, která vznikne při předložení 6 pD bází nahoru či dolů pro detekci horizontální heteroforie nebo 12 pD bází nasálně pro zjištění vertikální forie. Vyšetřování hodnotí posunutí řádků vůči sobě, dvojitě vidění či změnu velikosti písmen. Na závěr se pomocí prizmatické korekce v opačném směru srovnají zdvojené obrazy. [1,15,16]



Obrázek 9: využití Von Graefeho prizma při vyšetření vertikálních úchylek [17]



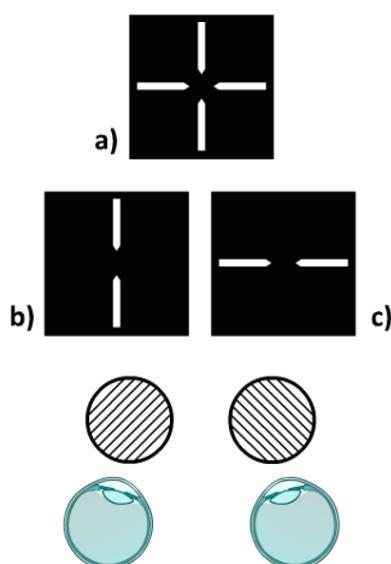
Obrázek 10: využití Von Graefeho prizma při vyšetření horizontálních úchylek [17]

6.3.5 Polarizační testy

Polarizační testy fungují na principu vyřazení fúze. Vlivem patřičných polarizačních filtrů vnímá každé oko jiný obraz. Disociace vjemů vzniká na základě polarizovaného světla a vztahem polarizátoru a analyzátoru. Existují dva typy polarizace, pozitivní a negativní. Hlavní rozdíl je v postavení černé a bílé barvy. U pozitivní polarizace je černý text na bílém pozadí, u negativní je tomu přesně naopak. U této metody se využívá fakt, že lineárně polarizované světlo vychází z polarizačního testu, které je jeveno pod určitým úhlem. Při stejné úhlové orientaci pozorovaného znaku a příslušného filtru je daný znak viditelný. [17]

6.3.5.1 Křížový test

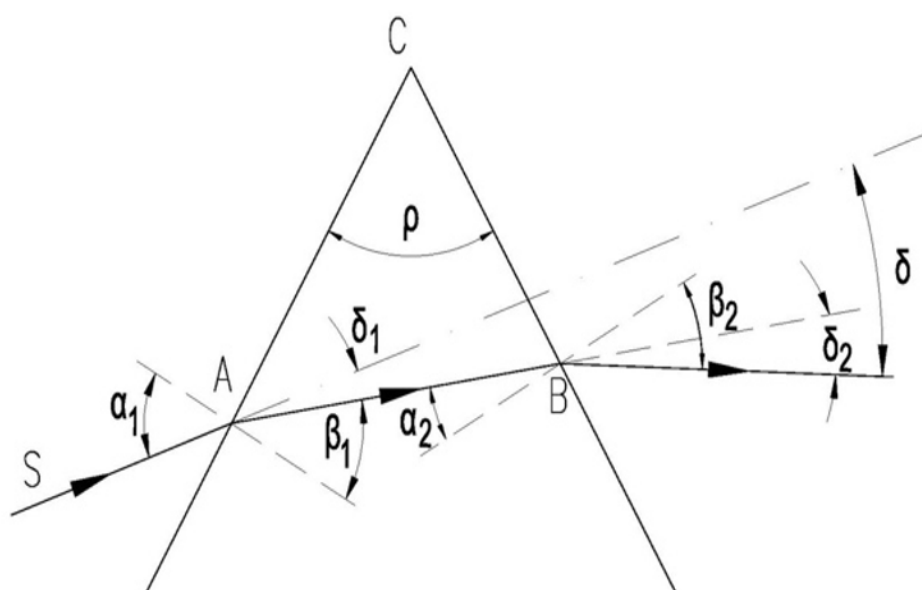
Jedná se o test diagnostiky okohybných odchylek s využitím polarizačních filtrů. [17]



Obrázek 11: Křížový test s negativní polarizací bez fúzního podnětu v případě ortoforie (a), vjem levého oka (b), vjem pravého oka (c) [17]

7 Prizmatická korekce

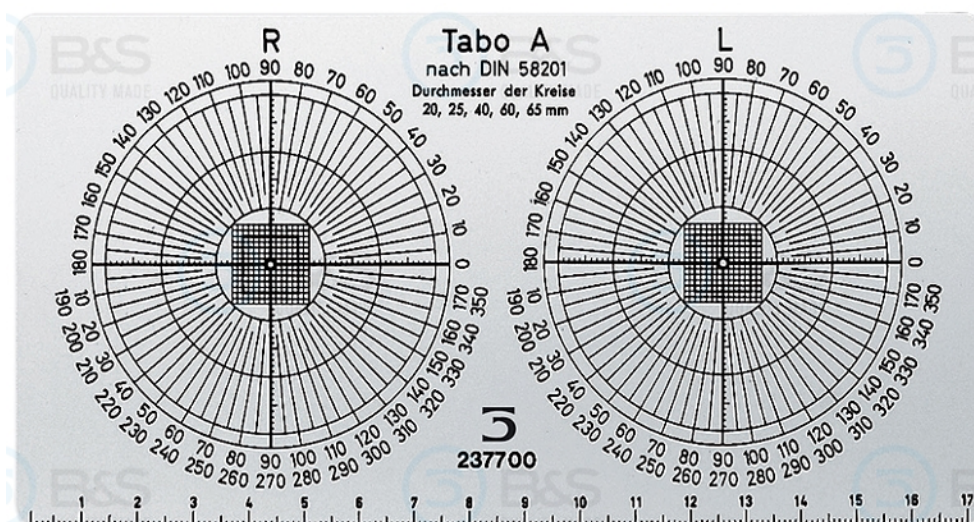
Prizma lze nazývat optickým hranolem či klínem, který láme paprsky ke směru jeho báze. Jedná se o trojboké těleso z průhledného materiálu. Sestavuje se z báze, vrcholu a dvou lomivých ploch. Uchýlí se paprsek ve vzdálenosti 1 m od druhé lámavé plochy hranolu o 1 cm nastává tzv. prizmatický účinek vyjadřovaný v jednotce jedné prizmatické dioptrie, ve zkratce 1pD. U prizmatického klínu se určuje účinek, jeho síla a směr. Prizmata nezmenšují ani nezvětšují daný vjem. [12,18]



Obrázek 12: schéma prizmatu lámající paprsek [32]

7.1 Zápis prizmatu

U prizmatické korekce se určují dva základní údaje, velikost prizmatického účinku a směr báze. Zápis se určuje buď pomocí TABO schématu, od 0° - 360° , nebo podle tělesného či stranového směru. Základní orientace prizmatické korekce závisí na směru báze. Orientace báze se odvíjí dle typu oční vady, může být směrem nasálně nebo temporálně či nahoru nebo dolů. [12,18,21]



Obrázek 13: Tabo schéma [33]

7.2 Stanovení hodnoty prizmatické korekce a její využití v praxi

Ke korekci šilhání a stanovení hodnoty prizmatické korekce musí předcházet přesný sled optometristického vyšetření, kde musí být přesně dodržena jeho posloupnost. Od anamnézy, naturální zrakové ostrosti přes subjektivní refrakci až po testy na binokulární anomálie. Při zjištění jakékoliv odchylky při vyšetřování na binokulárním testu se předkládají prizmata zásadně jen na jedno oko od nejmenší hodnoty směrem dle typu šilhání. Cílem je pomocí prizmatických skel navodit jednoduché binokulární vidění. Po aplikaci prizmat by měla následovat klientova alespoň chvilková adaptace. Jestliže se dospěje k závěru, že je nutnost korekce prizmatické, tak se následně prizmatická korekce rozdělí vždy mezi obě oči. [12]

Prizmatická korekce se nejčastěji používá v ortoptice, tvoří nedílnou součást detekce a v diagnostice měření různých typů šilhání a při terapeutických účelech. Pomocí prizmat lze zjistit třeba i fúzi či sítnicovou korespondenci. Nejčastěji je využívána pro odstranění astenopických potíží u heteroforií a k získání jednoduchého binokulárního vjemu při menších odchylkách. Prizma se může použít i pro disociaci obrazu při vyšetřování binokulárních funkcí, tzv. Von Graefeho metodou (viz kap. 6.3.4). Tento klín nachází využití i u kontaktních čoček jako tzv. „prizmatický balast“, jde o neoptické použití pro správné sezení kontaktní čočky na oku. [12,18,21]

7.2.1 Prizmatické lišty

Prizmatické lišty jsou prizmata uspořádaná za sebou se stoupající hodnotou v jedné liště. Podle směru a orientace báze se rozlišují lišty pro detekci horizontální či vertikální úchylky. Velikou výhodou těchto lišt je rychlé a snadné používání s plynulým přechodem mezi

zvyšujícími se hodnotami prizmat při posouvání lišty před okem vyšetřovaného. Využití nachází tyto lišty při ortoptické terapii. [21]

7.2.2 Prizmatický test rohovkových reflexů

Vyšetřovaný fixuje bodové světlo na jakoukoliv vzdálenost, s ohledem na detekci šilhání do blízka či do dálky. Vyšetřující umístí prizma před uchýlené oko a pozoruje rohovkové reflexy. Síla prizmatu se postupně zvyšuje až do momentu, kdy jsou reflexy na obou očích symetrické. [12,18]

7.3 Výhody a nevýhody prizmatické korekce

Jedna z hlavních výhod prizmatické korekce je její funkce při řešení problémů jednoduchého binokulárního vidění. Nejenomže navozuje při binokulárních anomáliích jednoduchý binokulární zrakový vjem, ale zabraňuje vzniku dvojitého vidění, a především ulevuje jedinci od nesnesitelných astenopických potíží a zlepšuje tím kvalitu jeho života. [1,10,12]

Dražší a individuální výroba prizmatických čoček je jedna z nevýhod této korekce. Větší hodnoty prizmatických skel mají velmi silnou okrajovou tloušťku a jsou tím těžké. Zásadní problém se nachází u nechtěně navozených jevů vlivem této korekce a tím její snížení zrakové ostrosti, s tím souvisí mnohdy velmi špatná adaptace a stálé nepohodlí klienta. [12,21,22,23]

7.4 Decentrace brýlových čoček

Prizmatického účinku lze také docílit u brýlové korekce decentrací optického středu dané brýlové čočky. Brýlovou čočku lze rozdělit na dva klíny. Konkávní čočka se považuje jako dvě prizmata spojená vrcholy lámavých ploch, báze klínů jsou na okraji dané čočky, naopak u čočky konvexní jsou báze klínu uprostřed dané čočky. [21,22,23]

Výhodou této metody navození prizmatického efektu pomocí decentrace brýlových čoček oproti speciálním prizmatickým čočkám je nižší cena a dřívější termín zhotovení brýlí, avšak decentrováním lze dosáhnout prizmatického účinku jen omezeně. Tento efekt závisí na hodnotě vrcholové lámavosti čočky a možnosti posunutí optického středu s ohledem na výrobní průměr dané brýlové čočky. Tento účinek pomocí decentrace nelze navodit u některých brýlových čoček, jako je např. bifokální, asférická či progresivní čočka. [21,22,23]

7.5 Nechtěně navozené jevy vlivem prizmatické korekce

U prizmatické korekce lze pozorovat její nepřírozené jevy, způsobeny zvláštnostmi zobrazení těchto prizmatických skel. Klient by měl být vždy zřetelně upozorněn na tyto možné jevy, kterým nejde předcházet.

7.5.1 Zkreslení

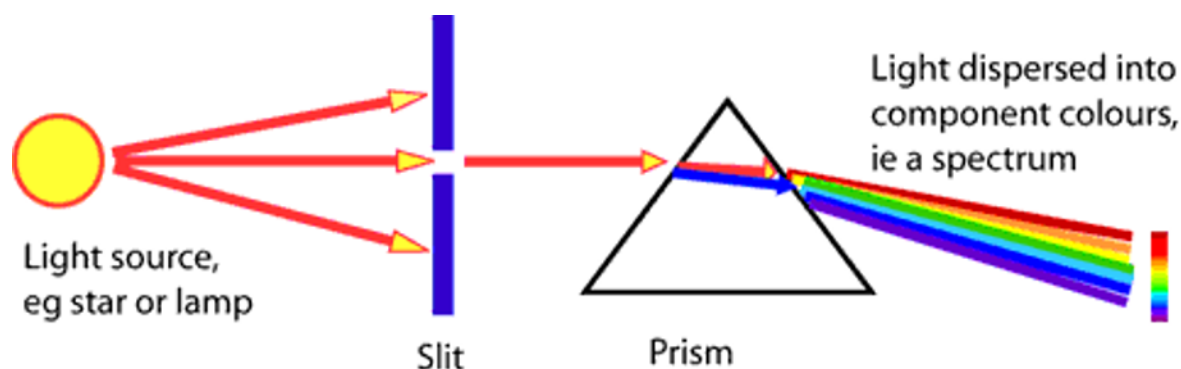
Obrysy a linie se zobrazují protažené ve směru báze prizmatu. Při předložení báze horizontálně, se zkreslení projeví ve svislém směru, naopak u báze vertikálním směrem se protahují vodorovné linie. Zkreslení lze ovlivnit rozdělením prizmat na obě oči, ale i tak stále má tento jev vliv na zřetelnost oka, což může být pro prvnositele prizmatické korekce jedním z neakceptovatelných faktorů. [21,22,23]

7.5.2 Astigmatismus šikmých paprsků

Optická osa prizmatické čočky neprochází skutečným středem otáčení oka. Neležící body se na optické ose jeví rozmazaně. Se stoupajícím prizmatickým účinkem zesiluje tento nechtěně navozený jev. [21,22,23]

7.5.3 Disperze

Bílé světlo dopadá na optický hranol a při průchodu přes rozhraní prostředí se láme. Při lomu se bílé světlo rozloží na soustavu barevných pruhů. Světlo se láme, protože prochází do prostředí, v němž se šíří jinou rychlostí. Žádná spektrální barva se dalším průchodem přes optický hranol již nerozkládá. Disperze je závislost fázové rychlosti světla na frekvenci světla v daném prostředí. Tento jev při nošení prizmatické korekce se zobrazí jako barevné lemy na pozorovaných předmětech v periferní části vidění. [24,25]



Obrázek 14: schéma vzniku disperze skrz prizma [34]

7.5.3.1 Abbeovo číslo

Jedná se o bezrozměrné číslo udávající disperzní mohutnost daného průhledného materiálu v daném prostředí. Hodnota Abbeova čísla popisuje závislost indexu lomu daného materiálu na vlnové délce světla, jinak řečeno, jak moc dokáže určitý materiál rozložit světlo. Platí, čím vyšší hodnota Abbeova čísla, tím klesá schopnost rozkládat světlo daného materiálu. [24]

7.5.3.2 Hranice disperze

Při teoretickém rozboru této dané problematiky se vychází z obecného vztahu pro odchylku paprsku na klínu, tj. deviaci. Vzhledem k řešené problematice se stačí zabývat situací pouze pro malé úhly, kdy pro deviaci δ platí vztah:

$$\delta = (n - 1) \cdot \omega$$

Kde δ je deviace, n je index lomu a ω je vrcholový úhel klínu. [24]

Indexy lomu se vlivem disperze pro různé vlnové délky, tedy barvy paprsku, liší. Potřebuje se tedy vypočítat, o kolik se navzájem odchýlí například fialový paprsek od červeného, to lze jako rozdíl jejich jednotlivých deviací:

$$\Delta\delta = \delta_F - \delta_C = (n_F - 1) \cdot \omega - (n_C - 1) \cdot \omega = \omega \cdot [(n_F - 1) - (n_C - 1)] = \omega \cdot (n_F - n_C)$$

Ze vztahu vyplývá, že vzájemná odchylka dvou různých vlnových délek je přímo úměrná rozdílu indexů lomu pro tyto barvy. [24]

Pokud neznáme přesnou disperzní závislost, může se tento rozdíl indexů lomu přibližně určit z Abbeova čísla V , pro naše účely je tento způsob dostačující:

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \rightarrow n_F - n_C = \frac{n_D - 1}{V}$$

$$\lambda_D = 589,2 \text{ nm}$$

$$\lambda_F = 486,1 \text{ nm}$$

$$\lambda_C = 656,3 \text{ nm (rozdíl } \lambda_F - \lambda_C \text{ je přibližně 170 nm) [24]}$$

Pro tuto problematiku se potřebuje zjistit spíše než odchylka krajních paprsků rozdíl mezi indexem lomu zeleného a červeného světla, s ohledem na spektrální citlivost čípků lidského oka, tj. pro vlnové délky 530 nm a 650 nm. Rozdíl uvedených vlnových délek je 120 nm. Předpokládá se, že disperzní závislost je přibližně lineární, takže zkoumaná odchylka paprsků $\Delta\delta'$ bude:

$$\Delta\delta' = \delta_Z - \delta_C = \omega \cdot (n_Z - n_C) = \omega \cdot (n_F - n_C) \cdot \frac{120}{170} = \omega \cdot \frac{n_D - 1}{V} \cdot \frac{12}{17}$$

Za n_D se může dosadit index lomu skla udávaný výrobcem, celkově tedy vyjde:

$$\Delta\delta' = \omega \cdot \frac{n - 1}{V} \cdot \frac{12}{17}$$

Vrcholový úhel ω lze určit z požadovaného prizmatického účinku, kde pro 1 pD se odkloní paprsek o 1 cm na vzdálenost 1 m. Nejdříve se musí vypočítat požadovaná úhlová odchylka δ :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{0,01}{1} \rightarrow \delta = \operatorname{arctg} \frac{0,01}{1} = 0,573^\circ = 34,2'$$

Podle vzorce pro odchylku paprsku na klínu, určíme ω pro používané indexy lomu čoček (pro 1 pD).

$$34,2' = (n - 1) \cdot \omega \rightarrow \omega = \frac{34,2'}{n - 1}$$

Tabulka 1: vypočtené hodnoty vrcholového úhlu klínu pro jednotlivé indexy lomu

n (index lomu)	ω (vrcholový úhel klínu)
1,5	68,4'
1,6	57'
1,74	46,2'

Nyní se může dopočítat úhlová odchylka zeleného a červeného paprsku (530 nm a 650 nm) pro různé typy skel s použitím vzorce:

$$\Delta\delta' = \omega \cdot \frac{n - 1}{V} \cdot \frac{12}{17}$$

za ω dosadíme a vyjde zjednodušený vzorec:

$$\Delta\delta' = \frac{34,2'}{n - 1} \cdot \frac{n - 1}{V} \cdot \frac{12}{17} = \frac{34,2'}{V} \cdot \frac{12}{17}$$

Po dosazení parametrů skel určíme $\Delta\delta$.

Tabulka 2: vypočtená úhlová odchylka paprsků pro jednotlivé indexy lomu

n (index lomu)	V (Abbeovo číslo)	$\Delta\delta'$
1,5	58	0,42'
1,6	42	0,57'
1,74	33	0,73'

Všechny předchozí výpočty byly ukázkově provedeny pro 1 pD. [24]

Změna vizu o 0,1 nastává při 0,55', což je hodnota srovnatelná se zde vypočtenými. Určí se tedy počet prizmatických dioptrií odpovídající úhlové odchylce 0,5', 1' a 5' a odvozením obecného vzorce pro pD se zadanou úhlovou odchylkou:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{pD}{100} \rightarrow \delta = \operatorname{arctg} \frac{pD}{100}$$

Pro úhlovou odchylku platí:

$$\Delta\delta' = \frac{\operatorname{arctg} \frac{pD}{100}}{V} \cdot \frac{12}{17}$$

Odtud:

$$\operatorname{arctg} \frac{pD}{100} = \frac{17}{12} V \cdot \Delta\delta' \rightarrow pD = 100 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{17}{12} V \cdot \Delta\delta' \right)$$

Tabulka 3: hodnoty prizmatických skel za vzniku disperze světla dle jednotlivých indexů lomu

n (index lomu)	V (Abbeovo číslo)	0,5'	1'	5'
1,5	58	1,2 pD	2,4 pD	12 pD
1,6	42	0,9 pD	1,7 pD	8,7 pD
1,74	33	0,7 pD	1,3 pD	6,8 pD

Ve výše uvedené tabulce jsou vypočteny hodnoty prizmatických skel disperze dle jednotlivých indexů lomu v závislosti na Abbeově číslu pro různé odchylky. Rozhodující hodnota disperze pro podmínky experimentu v praktické části je vypočtena na 12 pD. Se zvyšujícím se indexem lomu, tedy vlivem ztenčení prizmatického klínu, dojde ke snížení prizmatické hodnoty, při kterém disperze světla vzniká. [24]

8 Jiné možnosti řešení strabismu

Navržení správné korekce, zrakového tréninku či operativního řešení vedoucí k vymezení problémů při výskytu jakéhokoliv druhu strabismu, je cílem každého očního specialisty, záleží ale na individuálních potřebách a problémech vyšetřovaného.

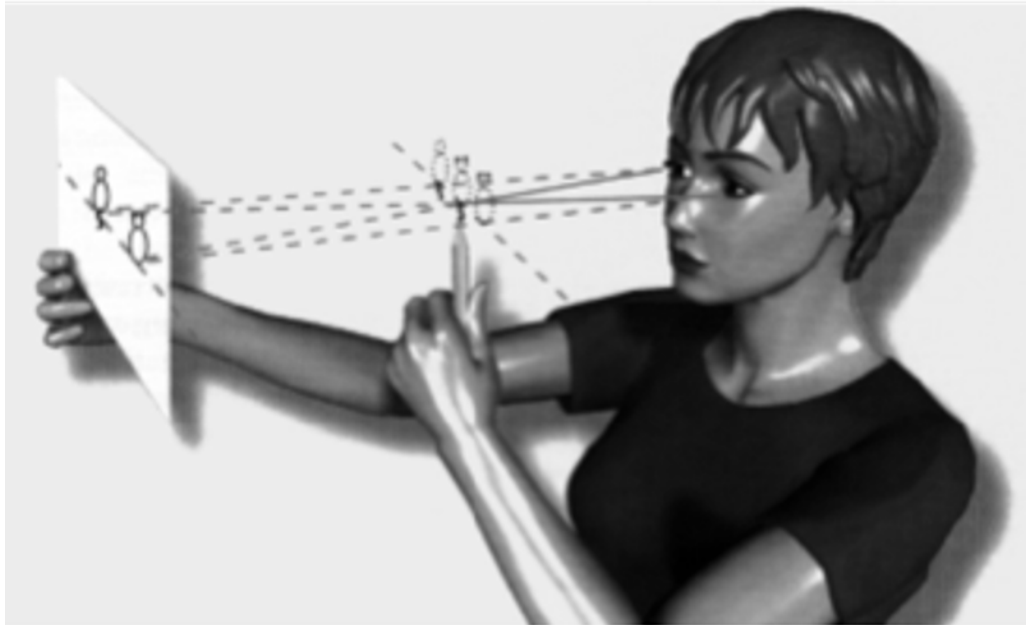
8.1 Sférocylická změna korekce

V některých případech lze problémovým jedincům pomoci jen změnou sférocylické korekce a tím nemusí docházet k předpisu korekce prizmatické. Exoforii je možno v některých případech korigovat pomocí rozptylek, rozptylné čočky navozují akomodaci, naopak u esoforie se předkládají spojky, které akomodaci uvolňují. Tato metoda je faktem vztahu akomodace a konvergence, který popisuje AC/A poměr (viz kap. 4). Touto změnou lze předejít někdy náročné prizmatické adaptaci nebo progresi heteroforie. Opět jde o velmi individuální záležitost, u které musíme dbát na požadavky a pocity vyšetřovaného. [1]

8.2 Zrakový trénink

Zrakový trénink funguje na principu terapie očí a mozku, přesněji okulomotoriky a senzorických funkcí. Jedná se o sled cvičení navržen očním specialistou. Cílem zrakového tréninku je zlepšit nebo až odstranit základní binokulární problémy bez aplikace jakékoliv korekce či chirurgických zákroků. Zrakový trénink lze začít kdykoliv během života, důležitá je přesnost a pečlivost dodržování postupu tréninku a motivace klienta. Existuje několik typů a kategorií zrakového tréninku, které závisí na dané problematice jedince. [1]

Jedno z nejjednodušších zrakových cvičení se nazývá „Tři kočky“, který funguje na principu fyziologické diplopie. Tužka se používá jako pomocný fixační předmět pro navození vhodné konvergence. Toto zrakové cvičení může být využito jak na esoforii, tak i exoforii. Je potřeba karty či papíru, na kterém jsou namalovány obrázky dvou koček. Kočky se nachází uprostřed karty a jsou neúplné. Kompletní vjem je možný jen při sledování obou koček bez přítomnosti suprese. Pro cvičení exoforie se využívá neprůhledný obrázek ve vzdálenosti 40 cm s pohybující se tužkou, naopak u esoforie se aplikuje průhledná fólie ve vzdálenosti 30 cm, se kterou se pohybuje. [1,12]



Obrázek 15: zrakový trénink „Tři kočky“ [1]

8.3 Operativní řešení

Chirurgická léčba strabismu se primárně provádí u větších odchylek nebo u neúčinné jiné terapie. Operace by měla být provedena u dlouhotrvajících problémů, kdy konzervativní léčba není dostačující. Cílem chirurgické léčby je vznik jednoduchého binokulárního vidění při primárním postavení očí. Primárně se operuje do stabilizace zrakových funkcí, tedy do 6 let věku dítěte, ale operace strabismu není výjimkou ani u dospělé populace. Principem chirurgické léčby je oslabení či posílení jednoho z okulomotorických svalů. [26,27]

9 Experimentální část

Problematikou, kterou se budu zabývat je vliv nechtěně navozených jevů na zrakovou ostrost při využití prizmatické korekce na jakékoliv anomálie binokulárního vidění. Jak moc daná prizmatická hodnota ovlivní danou zrakovou ostrost oka? Existují i jiné vlivy nesouvisející s prizmatickou korekcí, které dokáží ovlivnit jedincovu zrakovou ostrost oka, jako je například větší citlivost barev u žen či únava očí po čase aplikace? Objeví se při nějaké hodnotě pomyslná hranice, kdy klesne zraková ostrost natolik, že nechtěně navozené jevy budou v tu chvíli neakceptovatelné? V optometristické praxi se prizmatická korekce nejčastěji využívá pro šilhající děti, ale co když při vyšších hodnotách to má pro ně spíše negativní účinek než ten pozitivní?

9.1 Úvod

Cílem praktické části této bakalářské práce je vyhodnotit a porovnat snížení zrakové ostrosti při využívání prizmatické korekce v klinické praxi vlivem nechtěně navozených jevů, především disperze světla. Budou mít tyto nechtěně navozené jevy touto korekcí veliký význam na zrakovou ostrost oka a tím ovlivnění kvality života? Dokáže se potvrdit hranice 15 prizmatických dioptrií z klinické praxe, kdy by se již neměla prizmatická korekce předepisovat? Ve své práci se budu snažit odhalit, jestli vyšší hodnoty prizmatické korekce mají opravdu takový význam na snížení vidění. Dosáhne dominantní oko daleko lepších výsledků než oko nedominantní? Bude mít vliv větší citlivost barev u žen na výraznější vnímání disperze světla a tím jeho nepřipustnost předepisovat především ženám vyšší hodnoty této prizmatické korekce?

Dalším cílem této práce bude porovnat souvislost mezi teoretickým výpočtem disperze a fakty ve skutečnosti. Bude hranice disperze z teoretických výpočtů odpovídat hranici jasného vnímání disperze v praxi při jednotlivém experimentu předkládání určitých prizmatických hodnot? Budou tyto výsledky spolu určitým způsobem kolerovat? Nebo opravdu budou hrát roli velmi individuální vjemy každého z vyšetřovaných, které mohou být ovlivněny i několika jinými faktory, které lze jen těžko standardizovat? Jak velká bude adaptační doba a časová odezva odpovědi na vyšší hodnoty prizmatu? Bude se u jednotlivých vyšetřovaných lišit, nebo se i tak u někoho z vyšetřovaných mozek nedoveđe na takto vysoké hodnoty adaptovat? Na okolnosti měření, pocitů a vjemů vyšetřovaných související s aplikací prizmatické korekce, se chci zaměřit a poté vyhodnotit ve své experimentální části.

9.2 Metodika výzkumu

Vlivem situace, která nastala související s onemocněním COVID-19 a nouzovým stavem v České republice, tím se rozumí, uzavření fakulty biomedicínského inženýrství od 13. března do odvolání a vyšetřovny firmy Alcon, kde byl původně výzkum realizován, bylo nutné přehodnotit a změnit absolutně průběh a jednotlivé podmínky vyšetření. Z těchto důvodů mohou být výsledky zkreslené.

9.2.1 Vyšetřované osoby

Výzkum probíhal vlivem Coronavirové situace v kruhu rodinném na jednom a tom stejném místě v obývacím pokoji. Bylo změřeno celkem 10 lidí, kteří permanentně nenosí brýlovou korekci, ve věku od 21 do 67 let. Vyšetřovací podmínky byly pro všechny totožné. Vyšetřovaní nepociťovali žádné problémy či symptomy související se šilháním či jiné kontraindikace tohoto měření.

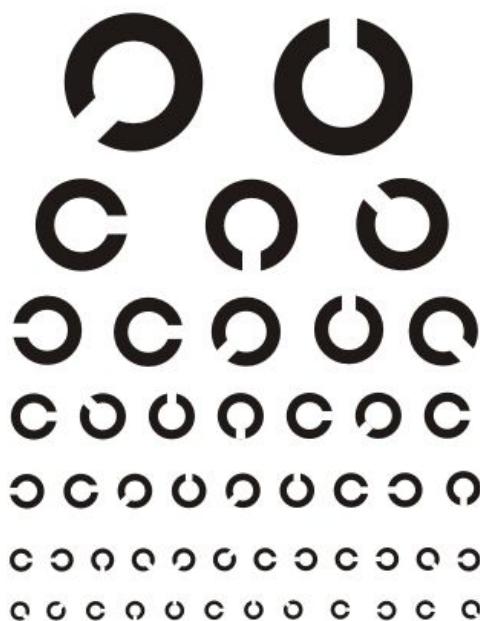
9.2.2 Průběh vyšetření

Měření se uskutečnilo v průběhu dubna a května roku 2020 v domácím prostředí s vypůjčenou obrubou, okluzí a prizmatickými skly. Místo optotypu byl použit notebook, na kterém byl vytvořen na míru optotyp Landoltovy kruhy, aby s větší hodnotou prizmatického skla bylo pro vyšetřovaného snadnější určit znak a tím jeho zhodnocení zrakové ostrosti v danou chvíli. Vzdálenost měření byla nastavena vždy na 5 metrů. Světelné podmínky byly při každém měření dodržovány stejné. Jelikož nebyla možnost v domácím prostředí plného přístrojového vybavení, experiment probíhal bez subjektivní refrakce, rovnou s předsazováním jednotlivých hodnot prizmatických skel.

Nejdříve byla pečlivě zjištěna anamnéza, zaměřená na binokulární vidění. Předmětem zájmu byly oční onemocnění, amblyopie či úrazy během života, které by mohly způsobit symptomy ukazující na šilhání či jiné kontraindikace tohoto experimentu. Následně byla zjištěna dominance oka pomocí testu „Hole in card test“, jakožto jediná možná alternativa odhalit dominanci za těchto podmínek. Vyšetřovaný si vytvořil pomocí svých rukou otvor, skrze který se následně podíval na mě do dálky. Oko, které bylo viděno skrze otvor bylo okem vedoucím, v ojedinělých případech byl tento test neprůkazný. Po dominanci byl změřen naturální visus do dálky jak binokulárně, tak i monokulárně. Aby výsledky byly relevantní, hranice zrakové ostrosti byla testována na 1,0 visus, proto všech deset vyšetřovaných muselo mít naturální visus do dálky větší nebo roven 1,0. Měření bylo prováděno monokulárně, s okluzí jednoho oka. Výzkum vždy začal na dominantním oku, protože je zřejmé, že oko dominantní

by mělo dosáhnout lepších výsledků, a tím pomoci vyšetřovaným lépe pochopit princip experimentu. Při jednotlivém předkládání hodnot prizmatických skel bylo zjištěno, jak moc se zhoršila daná zraková ostrost oka. Nejdříve se prováděla aplikace prizmat bází ven, začínalo se na 3 pD a pokračovalo se postupným zvyšováním až do hodnoty 20 pD, mezi jednotlivou změnou a zvýšením hodnoty byli nuceni vyšetřovaní zavřít oči, pro jejich lepší pohodlí a zmírnění negativních obtíží. Během měření jedné hodnoty prizmatické dioptrie se střídalo 10 poloh Landoltových kruhů (obr. 15). Cílem vyšetřovaného bylo poznat polohu otevřeného C Landoltova kruhu. Poté se pokračovalo na tom stejném oku úplně totožným postupem vkládáním prizmat opět od 3 pD až do 20 pD, ale bází dolu. Po dokončení předložení hranice 20 pD si musel vyšetřovaný odpočinout, promrkat a zavřít na chvíli oči. Až to bylo možné, to samé se opakovalo i na oku druhém, opět nejdříve prizmata bází ven, poté bází dolu.

Byla sledována časová adaptace a odpověď každého z vyšetřovaných, k tomu byly využívány stopky. Zaznamenávaly se i určité vjemy a pocity vyšetřovaných, co bylo viděno při jednotlivém předložení určité prizmatické hodnoty a kdy již byly vnímány určité barvy (disperze světla), zda se potýkali s rozmazaným viděním, či dokonce dvojitým viděním a jestli jim nebylo špatně či se jim nemotala hlava. Byl brán zřetel i na určitý náklon hlavy a postavení těla vyšetřovaného.



Obrázek 16: optotyp Landoltovy kruhy [35]

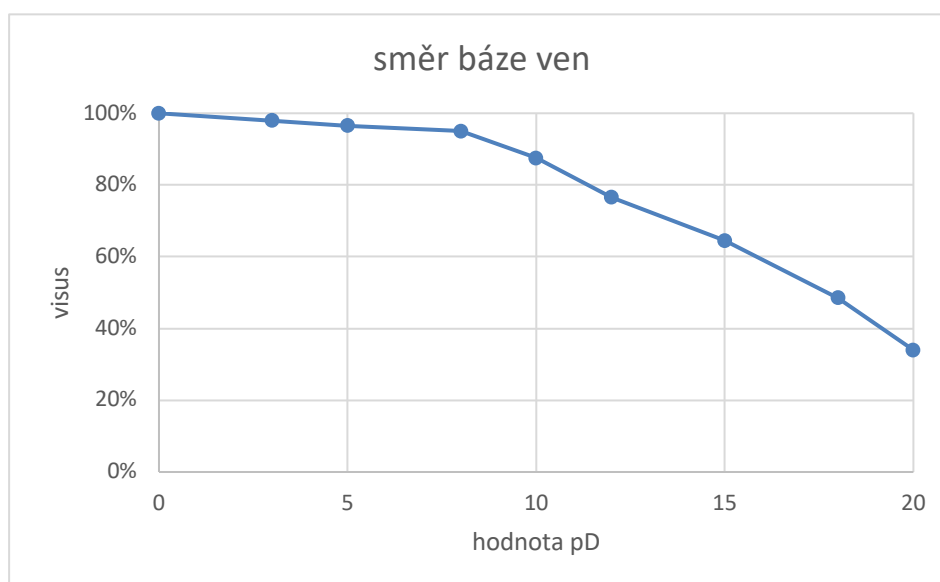
9.3 Výsledky

Pro tento experiment bylo vybráno 10 lidí, 5 mužů a 5 žen. Jak již bylo řečeno, jednotlivé měření probíhalo bez subjektivní refrakce, tudíž tito lidé permanentně nenosí brýlovou korekci, ale i přesto vlivem podmínek měření při této nelehké situaci mohou být výsledky nepřesné.

9.3.1 Snížení zrakové ostrosti dle jednotlivých hodnot pD

Zraková ostrost nám pomáhá kvantifikovat výkon zrakového aparátu. U dětí a mladistvých je zraková ostrost obvykle vyšší než 100 %, s postupem času a zvyšováním věku samozřejmě klesá.

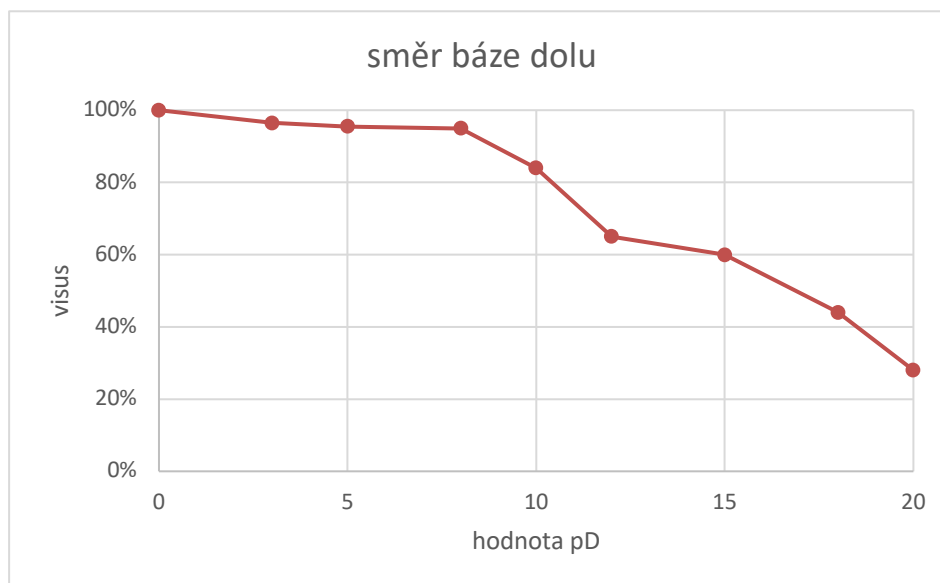
Lze odhadnout, že čím vyšší hodnota prizmatických skel, tím důraznější zhoršení vidění. Nastane ovšem u nějaké hodnoty prizmatických skel jakýmkoliv směrem takový zlom, kdy již vlivem nechtěných jevů a okolností nebude dosažena žádná zraková ostrost, anebo se dokáže mozek adaptovat i na takto vysoké hodnoty?



Obrázek 17: křivka snížení zrakové ostrosti u směru báze ven

Z dosažených výsledků vyplývá (obr. 17), že při tomto experimentu předkládání hodnot prizmatických dioptrií bází ven je snížení zrakové ostrosti soustavné, čím vyšší hodnota prizmatických skel, tím i snížení kvality vidění. Zlom u tohoto směru prizmat nastal již při předložení 8 pD a pokračoval až do 12 pD. Spád sice vznikl, zraková ostrost se zhoršila, ale ne tak výrazně oproti experimentu předkládání prizmat bází dolu (obr. 18). Z toho lze vyčíst pomyslnou hranici zhoršení zrakové ostrosti, kterou vyšetřovaní pocítovali již při předložení 8 pD. Ovšem i při nejvyšší hodnotě 20 pD vyšetřovaní přeci jen dokázali alespoň třetinu poloh

Landoltových kruhů rozpoznat. Tento experiment předkládáním prizmat bází ven byl i dle výpovědí vyšetřovaných daleko snadnější než experiment bází dolu, i při jednotlivém předkládání a sledování vjemů vyšetřovaných byla i odezva a adaptace byla rychlejší a obratnější.



Obrázek 18: křivka snížení zrakové ostrosti u směru báze dolu

Je patrné (obr. 18), že křivka zrakové ostrosti při předkládání prizmat bází dolu má sice zlom snížení vidění na stejné hodnotě jako u báze ven (obr.17), ale tentokrát pokles byl daleko strmější a jasněji viditelnější. Opět se potvrdila hranice, kdy vyšetřovaní i při tomto směru prizmat pocítovali snížení zrakové ostrosti již při 8 pD. Markantní rozdíl ve snížení zrakové ostrosti mezi experiment předkládání prizmat bází ven a bází dolu jsem neočekávala. Lze se jen dohadovat, proč tomu tak je. Únava očí po aplikaci nejdříve bází ven je jedním z faktorů, který mohl takto ovlivnit výsledky.

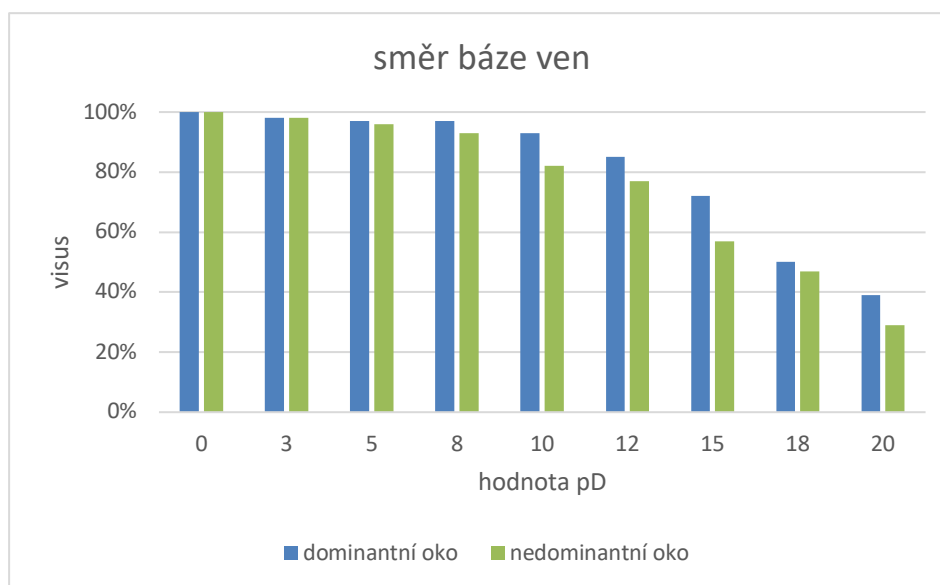
Z obou grafů a jejich výsledků je patrné, že vyšší hodnoty prizmatických skel mají opravdu zásadní dopad na kvalitu vidění a tím i života. Jasný zlom nastává při předložení 10 až 12 pD jakýmkoliv směrem. Dokázala se potvrdit i hranice 15 pD z klinické praxe, kdyby se již takto vysoká prizmatická korekce neměla předepisovat, protože zraková ostrost u vyšetřovaných při předložení 15 pD jakýmkoliv směrem klesla pod 50 %, což se považuje za výrazné zhoršení vidění. I při jednotlivém měření všech deset vyšetřovaných mělo zásadní problém s těmito hodnotami, zde mi bylo popsáno, že disperze a ostatní jevy byly tak značné, že ani nešlo rozpoznat, kde se přesně Landoltův kruh nachází a spíše polohu kruhu vyšetřovaní odhadovali.

Při měření ovšem záleželo na mnoho okolních faktorech, jako byla hlavně únava, nálada a celkový stav vyšetřovaného. Otočením hlavy si vyšetřovaní kompenzovali nepříjemné jevy, u někoho se projevilo dokonce i naklonění hlavy na jednu či druhou stranu. Adaptační doba je u vyšších hodnot prizmatických skel rozhodující. Třetině vyšetřovaných se nad 15 pD nedařilo přečíst žádný znak, někdo zase naopak po delší adaptaci (1 min) dokázal přečíst i přes polovinu znaků správně, sice stěží, ale při velikém soustředění a namáhání, jak vyšetřovaní tvrdili přeci.

9.3.2 Porovnání výsledků u dominantního oka a nedominantního oka

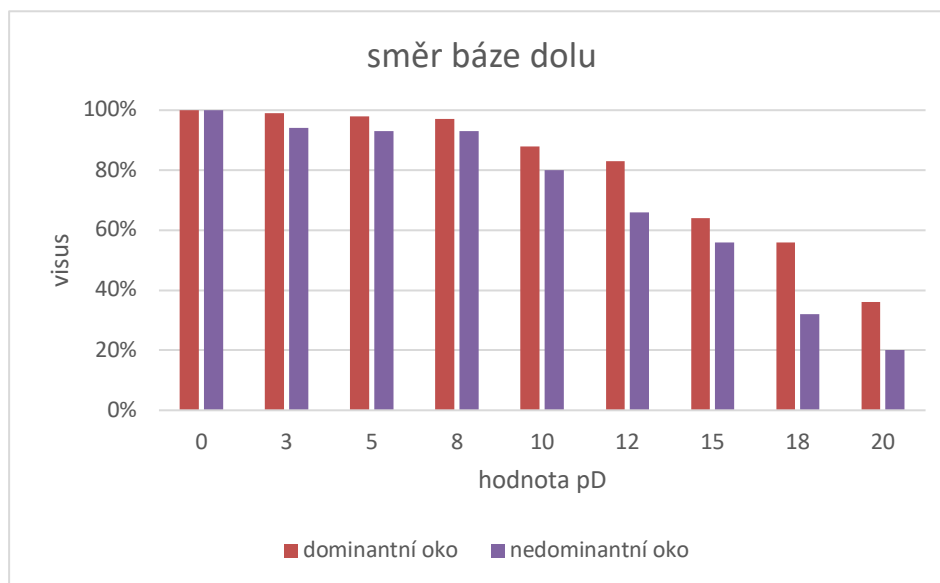
Již v roce 1861 G. M. Humphrey zjistil, že oči jsou funkčně nesouměrné, od té doby se věnuje oční dominanci pozornost. Za vedoucí oko je považováno oko upřednostňované při binokulárním vidění. Oční dominance není vrozená, oko se stává vedoucím již během dětství a přetrvává stále. Předpokládá se, že každý člověk má jedno oko vedoucí. Rozdíl lze najít v intenzitě zrakové ostrosti při binokulárním vidění. [36]

Je tedy zřejmé (obr. 19 a 20), že dominantní oko dosáhlo lepších výsledků celkově než oko nedominantní. Byl očekáván ale výraznější rozdíl a daleko lepší výsledky u oka vedoucího. Jediného výrazného rozdílu si lze povšimnout u předkládání prizmat bází dolu (obr. 20) u vyšších hodnot prizmatických skel, tam byl i z hlediska pocitů vyšetřovaných jasný rozdíl u vedoucího oka. Zatímco u dominantního se snažili a vyvinuli úsilí vyšetřování přečíst alespoň jednu z poloh Landoltova kruhu u oka nedominantního, i když se trápili sebevíc, nešlo rozpoznat absolutně nic.



Obrázek 19: porovnání výsledků dominantního a nedominantního oka u směru báze ven

Při měření mělo vždy oko dominantní daleko rychlejší odpověď a adaptaci, a dalo se s ním lépe pracovat. Ovšem naopak u oka dominantního nastávaly častěji problémy s nevolností, motáním hlavy či bolestí hlavy. Často vyšetřování s prizmatickou korekcí na dominantním oku nevydrželi déle než pár minut.

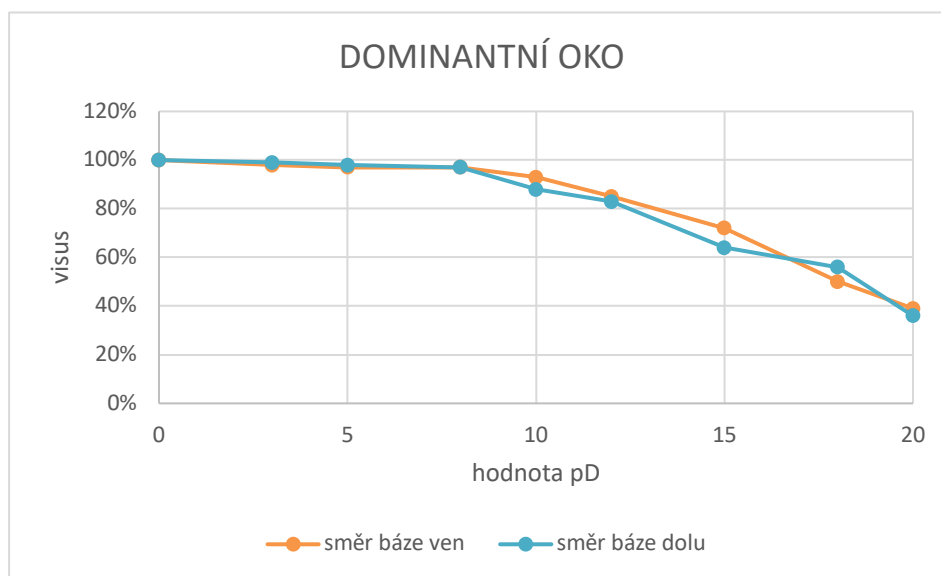


Obrázek 20: porovnání výsledků dominantního a nedominantního oka u směru báze dolu

I když někdy byl test „Hole in card test“, který jsem prováděla na začátku měření ke zjištění stavu dominance oka neprůkazný, z výsledků měření bylo časem jasně zřejmé, vlivem adaptace a daleko lepších výsledků, jaké oko je okem vedoucím.

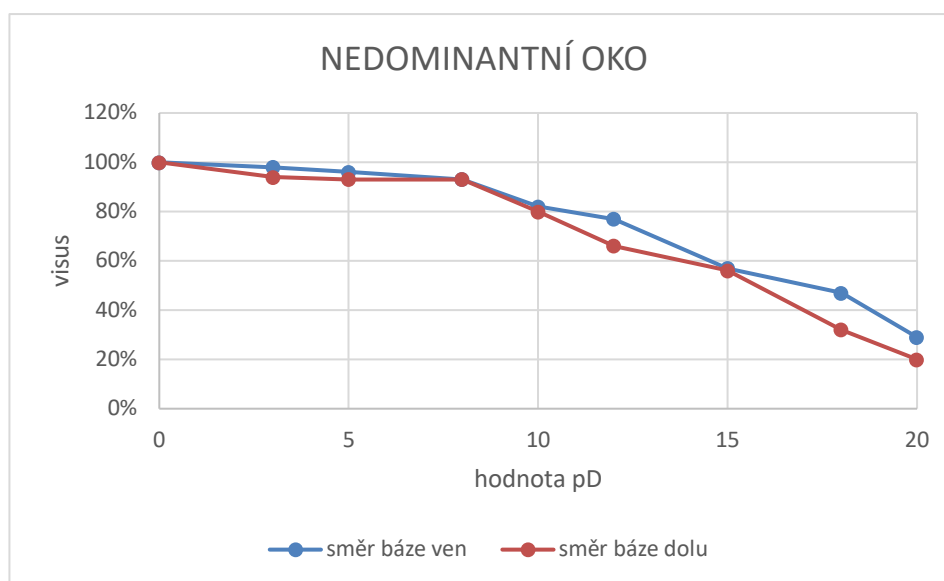
Vzhledem k těmto výsledkům (obr. 19 a 20) lze uvažovat o překorigování či podkorigování dominantního oka či naopak nedominantního dle úchyly oka a hodnoty prizmatické korekce. I vlivem sebemenšího rozdílu dominantního a nedominantního oka je možné dosáhnout pomocí zvýšení či snížení hodnoty na dominantním oku požadovaného zrakového komfortu a tím příjemného pocitu vidění pro obě oči. Lze tak uvažovat jen u ojedinělých případů, kdy se bude dbát přednostně na pocity a vjemy problémového jedince, pro něhož je třeba adaptace na prizmatickou hodnotu problémová.

Pro lepší přesnost a postřehnutí rozdílů výsledků dominantního a nedominantního oka poukazují grafy (obr. 21 a 22), kde se rozlišuje báze ven a báze dolu pro danou prizmatickou hodnotu.



Obrázek 21: porovnání výsledků směru báze ven a směru báze dolu u dominantního oka

Z těchto grafů (obr. 21 a 22) je patrné, že u dominantního oka zásadní rozdíl mezi bází ven a bází dolu nebyl rozpoznán, dokonce u 18 pD měla báze dolu lepší výsledky než báze ven, těžko tento jev vysvětlit. Mohla to být chvilková adaptace? Jak již bylo řečeno, mnoho okolních faktorů hrálo svojí roli. Mrkání bylo častým nápomocným prvkem, jak se lépe při vyšších hodnotách zorientovat. Naopak u nedominantního oka (obr. 22) je rozdíl mezi bází ven a bází dolu lépe viditelný, již při předložení 3 pD a 5 pD bází dolu dosáhl horšího výsledku, což se postupně s vyšší prizmatickou hodnotou stupňovalo.

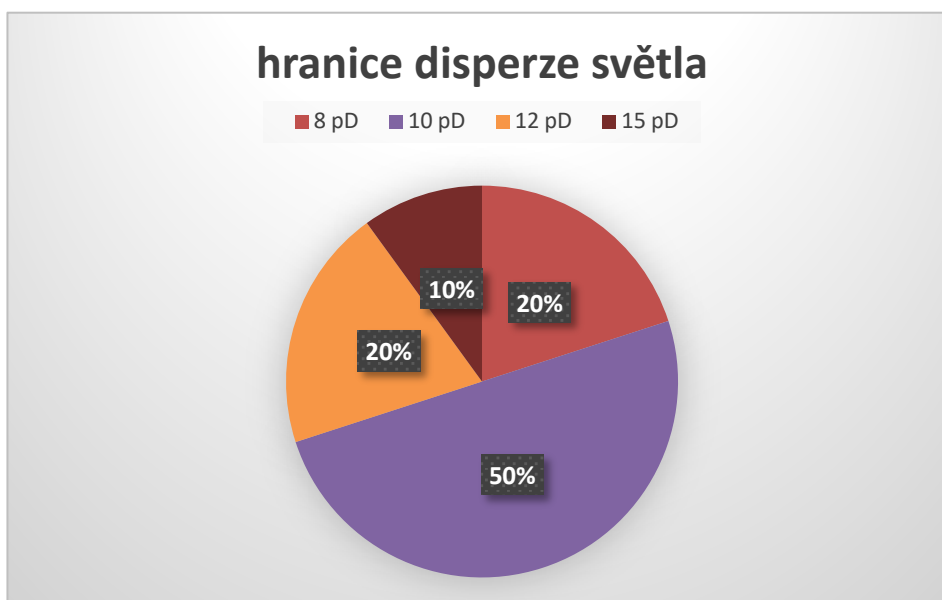


Obrázek 22: porovnání výsledků směru báze ven a směru báze dolu u nedominantního oka

9.3.3 Hranice disperze světla

Každý z vyšetřovaných měl za úkol popsat vše, co při předložení jednotlivé hodnoty prizmatických skel pocítuje a vidí. Předem byli vyšetřovaní upozorněni, že při tomto experimentu jde především o zobrazení barev dané zvláštnostmi této korekce. Vyšetřovaní si nejčastěji stěžovali na rozptyl barev na hranách notebooku a nejvíce přesně okolo Landoltova kruhu, což vedlo k nemožnosti určit polohu otevřeného C. Při měření ovšem i tak hrály roli velmi individuální vjemy každého z nich, které se dají opravdu jen těžko standardizovat. Určitě měření ovlivnila aktuální nálada, únava po čase aplikace, ale především pohlaví jedince. Dle výpovědí každého z vyšetřovaných a jejich pocitů byly seskupeny jejich jednotlivé hranice určitého vnímání barev (obr. 23).

Hranice disperze světla pro naše vyšetřovací podmínky byla vypočtena z teoretických základů (viz kap. 7.5.3.2) na 12 pD. Z grafu (obr. 23) lze vyčíst, že vyšetřovaní se odlišovali od této hranice. Subjektivní pocity vyšetřovaných a jejich vnímavost barev byla zaznamenána již při nižších prizmatických hodnotách, a to hlavně u žen. Polovina vyšetřujících pocítila barevné spektrum již při předložení 10 pD. Nejvíce se vyšetřovaným jevila modrá a žlutá barva.

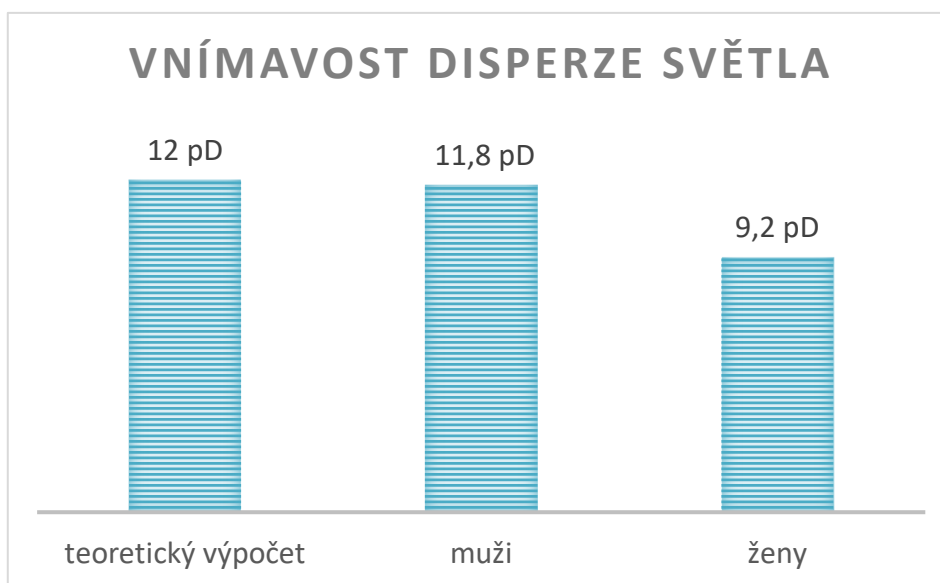


Obrázek 23: porovnání hranice disperze světla

9.3.4 Rozdílná citlivost barev u žen a mužů

Ženy a muži vnímají barvy rozdílně. Toto opodstatnění má evoluční základ, v pravěku byly ženy sběrači a musely rozpoznat nejrůznější odstíny k rozlišení jedovatých a jedlých bobulí, zatímco muži lovili divokou zvěř a k orientaci na dálku tak nepotřebovali rozeznávat odstíny barev, nýbrž hlavně pohyb a tvar. Dle vědeckých výzkumů dalším důvodem vyšší

barevné citlivosti u žen je dvojnásobný výskyt chromozomu X, který je právě zodpovědný za kódování tvorby čípků na sítnici, které zpracovávají barvu. [37]



Obrázek 24: rozdílná vnímavost disperze světla

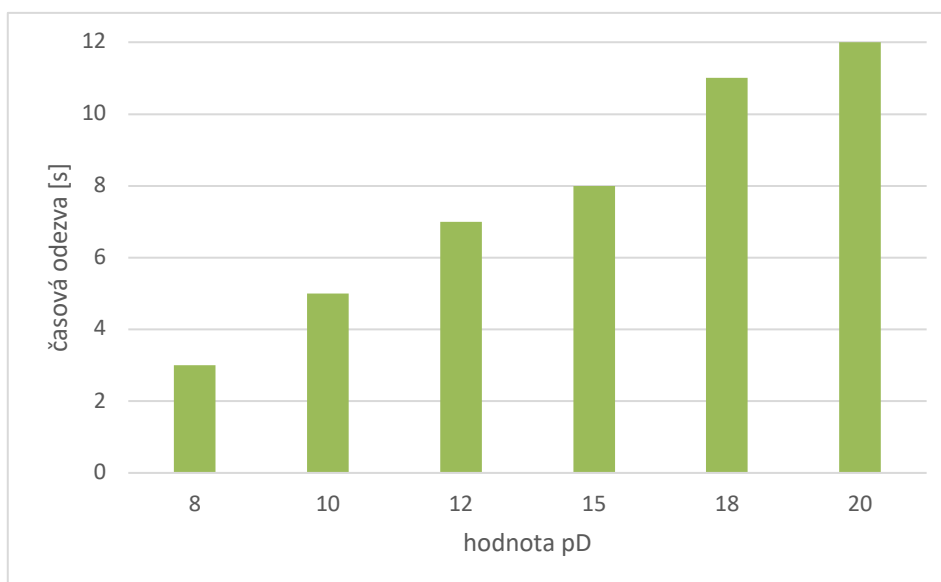
Dalším cílem bylo potvrdit nebo vyvrátit tuto skutečnost, že ženy mají zvýšenou citlivost pro barevné spektrum, tedy by měly pociťovat a vidět barvy již u menších hodnot prizmatických skel. Z grafu (obr. 24) lze jasně vyčíst, že tento fakt byl potvrzen, opravdu ženy pociťovaly barvy daleko dříve než muži. Rozdíl mezi mužem a ženou byl zásadní, při jednotlivém měření se někdy jednalo až o rozdíl 5 pD. Z tohoto faktu vyplývá, že je možná u citlivějších žen větší nesnášenlivost vyšších prizmatických skel, tudíž větší nepřípustnost předepsat ženám oproti mužům takovou korekci.

9.3.5 Časová odezva

Časovou odezvou se rozumí čas od adaptace každého z vyšetřovaných na danou prizmatickou hodnotu. Adaptační doba byla určena do momentu, kdy vyšetřovaný tvrdil, že se již rozkoukal a je schopen v této korekci fungovat, v tu chvíli začala být stopována časová odezva.

Časová odezva vlivem vyšších prizmatických hodnot byla při měření rozhodující. Čím vyšší hodnota prizmatických skel, tím se časová odezva a s tím spojená adaptační doba zvyšovala. Do 5 pD bylo zbytečné počítat časovou odezvu, protože vyšetřování s těmito prizmatickými hodnotami neměli problém a odpovědi jsem se dočkala vzápětí při předložení skla. Problém začal nastávat při 8 a vyšších prizmatických dioptriích, kdy si začali vyšetřování stěžovat na okolní nepříjemné jevy, na které se musí adaptovat. S tím souvisí křivky snížení

zrakové ostrosti lomící se již při 8 pD (obr. 17 a 18) a i dřívější vnímatelnost disperze, která byla též prokázána začínajíc (viz kap. 9.3.3) již při 8 pD. Zásadní rozdíl nastal mezi 15 pD a 18 pD, kdy časová odezva prudce vzrostla. Nechtěně navozené jevy v tu chvíli byly dle výpovědí vyšetřovaných tak značné, že adaptace na danou prizmatickou hodnotu byla rozhodující k rozpoznání Landoltových kruhů. Časová odezva u jednotlivých prizmat se u vyšetřovaných výrazně nelišila, na grafu (obr. 25) si lze povšimnout lineárně stoupajících sekund odpovědi, kdy při nejvyšší hodnotě 20 pD dosáhla v průměru až 12 sekund.



Obrázek 25: časová odezva u vyšších prizmatických hodnot

10 Diskuse

Navzdory tomu, že se logicky dala očekávat určitá míra zhoršení kvality zrakové ostrosti vlivem vyšších prizmatických hodnot, byly výsledky překvapující. Patřičný rozdíl mezi experimentem předkládání prizmat bází ven a bází dolu nebyl očekáván. Ojedinelá byla vyšší míra zhoršení kvality vidění a strmější křivka u předkládání prizmat bází dolu. Objevila se ale i daleko delší časová odezva a nepříjemné poznatky a vjemy vyšetřujících u předkládání prizmat bází dolu. Rozdíl výsledků experimentu předkládání prizmat bází ven a bází dolu souvisí s problémem vyšší náročnosti u experimentu předkládání prizmatických skel bází dolu. Eso či exo úchyly se obecně vyskytují v rámci populace častěji, pro oči je přirozenější pohyb konvergence či divergence, proto vyšetřovaní měli daleko větší problém se adaptovat na prizma bází dolu než prizma bází ven a rozpoznat tak Landoltův kruh.

Hranice disperze světla z teoretických výpočtů se nepotvrdila s pocity a vnímání barev u vyšetřovaných. (viz kap. 9.3.3) U emetropů, bez jakýchkoliv příznaků strabismu se dalo očekávat, že pocítí nechtěně navozené jevy již při nižších prizmatických hodnotách, protože pro jejich mozek byla prizmatická korekce novinkou.

V klinické praxi se udává hodnota 15 pD, kdy by se již neměla prizmatická korekce předepisovat, i při tomto experimentu se dokázala potvrdit tato hranice. Zraková ostrost se vlivem vyšších prizmatických hodnot snížila natolik, že pro předepsání takto vysoké korekce by mohly nastat spíše vedlejší účinky, které by mohly být pro daného klienta naprosto neakceptovatelné.

Otázkou stále zůstává, jestli je prizmatická korekce vhodnou a adekvátní volbou při řešení problémů binokulárních anomálií? Z mého hlediska jde o velice individuální potřebu každého problémového jedince, pokud ovšem správná subjektivní refrakce ani zrakový trénink a ostatní adekvátní metody neulevují potížím a problémům jedince v běžném životě, nebála bych se zvolit tuto alternativu. Z vlastní zkušenosti mohu dodat, že mi zachránila a ovlivnila prizmatická korekce kvalitu života. K určení a detekci správné prizmatické hodnoty korekce musí být ale každý oční specialista pozorný, a to především u vyšších hodnot, protože vzhledem k tomuto experimentu, je hned několik nechtěných a nepřírozených jevů, na který se klient nemusí adaptovat. Měl by být brán zřetel i na rozdílnou snášenlivost prizmatické korekce a její snížení zrakové ostrosti mezi okem dominantním a okem nedominantním.

11 Závěr

Tato práce se věnovala problematice prizmatického klínu a jeho následného využití při binokulárních anomáliích jako jednu z alternativ řešení. V dnešní době je prizmatická korekce u očních specialistů opomíjené téma, přesto se s výskytem dekompenzovaných heteroforií ve vyšetřovnách mohou setkávat velmi často, bohužel málokdo volí tuto alternativu a spousta lidí tím přichází o kvalitu života.

Předmětem teoretické části bylo shrnout podstatu binokulárního vidění, základních anomálií binokulárního vidění a jejich vyšetřování pomocí různých testů v klinické praxi. Pro lepší pochopení problematiky prizmatického klínu byl vysvětlen jeho princip a zápis. Nejvíce se tato práce věnovala nechtěně navozeným jevům vlivem prizmatické korekce, které značně ovlivňují danou zrakovou ostrost oka, především podstata disperze světla, u které se pomocí teoretických výpočtů stanovila její hranice, která následně byla porovnávána s praktickým měřením v experimentální části.

Vyšší prizmatické hodnoty mají opravdu zásadní vliv na vidění, prostorovou orientaci a tím ovlivnění kvality života. Nechtěně navozené jevy touto vyšší korekcí snižují zrakovou ostrost a navozují nepříjemné až nesnesitelné pocity. Vyskytující se barevné lemy kolem předmětů, tedy vznik disperze světla vlivem aplikace vyšších prizmat, ovlivňuje naše vnímání okolí. Dalo by se tedy říci, že prizmatická korekce má smysl jen do určité akceptovatelné míry, kdy jsou vyčerpána jiná alternativní řešení, a astenopické potíže stále přetrvávají.

Při jednotlivém měření tohoto experimentu bylo zjištěno, že existuje pomyslná hranice 12 prizmatických dioptrií. Vyšší hodnoty by neměly být již předepisovány, neboť zraková ostrost oka a vnímání prostoru vyšetřovaných kleslo natolik, že tyto nechtěné jevy naprosto převažovaly a pro běžné nošení takovéto brýlové korekce by následky mohly být zničující.

Byla bych ráda, kdyby se zvýšilo povědomí o prizmatické korekci jako někdy jedinému přístupnému řešení dekompenzované heteroforie a tím dosáhnutí optimální zrakové pohody jedince a splnit tak cíl každého kvalitního očního specialisty.

Seznam použité literatury

- [1] EVANS, B. J. W. a D. PICKWELL. Pickwell's binocular vision anomalies. 5th ed. New York: Elsevier Butterworth Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [2] HOWARD, Ian P. a Brian J. ROGERS. Binocular vision and stereopsis. New York: Oxford University Press, 1995. ISBN 0-19-508476-4.
- [3] STIDWILL D. a R. FLETCHER. Normal binocular vision: theory, investigation and practical aspects. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2011. ISBN 9781405192507.
- [4] ROZSÍVAL, Pavel. Oční lékařství. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [5] ČIHÁK, Radomír, DRUGA, Rastislav a Miloš GRIM, ed. Anatomie. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [6] DOSTÁLEK, Miroslav. Obecná fyziologie binokulárního vidění: analytická složka I. (Panum & monokulární stereopse). In: Binocular.cz [online]. 2014 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://binocular.cz/presentations/8-analytickaSlozkaBV-I/>
- [7] VON NOORDEN, G. K. a E. C. CAMPOS. Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus. 6th ed. St. Louis, Mo.: Mosby, c2002. ISBN 0-323-01129-2.
- [8] KRÁLÍČEK, Petr. Úvod do speciální neurofyziologie. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2002. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0350-0.
- [9] Infranukleární okohybné poruchy [online]. [cit. 2019 - 12- 27]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1411/podzim2016/MONO091p/um/Infranuklearni_okohybne_poruchy.pdf
- [10] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu. Praha: Maxdorf, [2018]. Jessenius. ISBN 978-80-7345-580-4.
- [11] SCHEIMAN, M. – WICK, B. CLINICAL MANAGEMENT OF Binocular Vision. 4th edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014, 722 s. ISBN 9781451175257.
- [12] HROMÁDKOVÁ, Lada. Šilhání. Vyd. 2., dopl. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN isbn80-7013-207-8.

- [13] EPERJESI, F. a M. RUNDSTROM. Binocular vision: a practical guide. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0750650109.
- [14] BENJAMIN, W. J. a I. M. BORISH. Borish's clinical refraction. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006. ISBN 978-0-7506-7524-6.
- [15] MITCHELL, S. a B. Wick. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders. 4th ed. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2014. ISBN 9781451175257.
- [16] DOSHI, S. a B. J. W. EVANS. Binocular vision and orthoptics: investigation and management. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0750647132.
- [17] Binokulární korekce [online]. [cit. 2019 - 12 - 30]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/pages/08-bino-korekce.html
- [18] DIVIŠOVÁ, G. Strabismus. 2. vydání. Praha: AVICENUM, 1990. 312 s. ISBN 08-039-90
- [19] Stanovení naturální zrakové ostrosti [online]. [cit. 2020 - 04 - 07]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/pages/03-naturalni-zrakova-ostrost.html
- [20] Zraková ostrost [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/zrakova-ostrost/>
- [21] RUTRLE, Miloš. Binokulární korekce na polatestu. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-302-3.
- [22] RUTRLE, Miloš. Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2001. ISBN 80-7013-347-3.
- [23] RUTRLE, Miloš. Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5

- [24] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. Optika a atomová fyzika: fyzikální kompendium pro vysoké školy. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961.
- [25] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 8021418680.
- [26] KUČHYNKA, Pavel. Oční lékařství. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [27] VON NOORDEN, Gunter K. a Gunter K. VON NOORDEN. Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus. 4th ed. St. Louis: Mosby, 1990. ISBN 0-8016-5822-5.
- [28] KVAPILÍKOVÁ, Květa. Vyšetřování oka. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-7013-195-0.
- [29] ANTON, Milan. Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. 2. přeprac. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. Učební text (Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví). ISBN 80-7013-148-9.
- [30] Zraková dráha [online]. [cit. 2020 - 01- 06]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Sebor:Zrakovadraha.png>
- [31] FORIE [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3015950-F-pluhacek-forie-frantisek-pluhacek-katedra-optiky-prf-up-v-olomouci-kongres-optometrie-olomouc-18-19-9-2010-1-41.html>
- [32] Prizma [online]. [cit. 2020 - 01- 06]. Dostupné z: [https://www.wikiwand.com/hr/Prizma_\(optika\)](https://www.wikiwand.com/hr/Prizma_(optika))
- [33] TABO schéma hliníkové [online]. [cit.2020 - 01- 06]. Dostupné z: <https://www.bsoptik.cz/merici-pomucky-refrakce-okluzory/tabo-schema-hlinikove>
- [34] Dispersion light [online]. [cit. 2020 - 01- 06]. Dostupné z: <https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/spectrographs.html>

[35] Landoltovy kruhy [online]. [cit. 2020 - 05 - 13]. Dostupné z: <https://i1.wp.com/pedagogika.skolni.eu/wp-content/uploads/2015/01/1o.jpg>

[36] DRNKOVÁ, Zdena a Růžena SYLLABOVÁ. Záhada leváctví a praváctví. 2.dopl.vyd. Praha: Avicenum, 1991. Život a zdraví (Avicenum). ISBN 80-201-0113-6.

[37] CAROLINE, Dr. Leaf. Kdo ti vypnul mozek?: vyřešení záhady on řekl - ona řekla. Universe Press - Mgr. Karla Koseva, 2019. ISBN 978-80-906773-2-6.

[38] Aniseikonia [online]. [cit. 2020 - 05 - 22]. Dostupné z: <http://www.opticaldiagnostics.com/info/aniseikonia.html>

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
AC/A	Poměr akomodace a konvergence
pD	Prizmatická dioptrie
pdpt	Prizmatická dioptrie
dpt	dioptrie
IPD	pupilární distance
NFD	vzdálenost blízkého bodu fixace
Hn	forie vztažena na blízko
Hf	forie vztažena na dálku
BO	směr báze ven

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SCHÉMA ZRAKOVÉ DRÁHY [30]	3
OBRÁZEK 2: SCHÉMA UKAZUJÍCÍ INTERAKCI OČNÍ MOTORICKÉ FUNKCE SE SENZORICKÝM SYSTÉMEM [1]	5
OBRÁZEK 3: SCHÉMA HOROPTERU A PANUMOVA PROSTORU [6]	6
OBRÁZEK 4: SCHÉMA ZOBRAZUJÍCÍ UMÍSTĚNÍ ŠESTI OKOHYBNÝCH SVALŮ A JEJICH INERVACI [9]	9
OBRÁZEK 5: ZAKRÝVACÍ TESTY V PRAXI [31]	18
OBRÁZEK 6: WORTHŮV TEST [17]	19
OBRÁZEK 7: SCHOBERŮV TEST [17]	20
OBRÁZEK 8: MADDOXŮV TEST A PŘÍTOMNOST EXOFORIE ČI ESOFORIE [17]	21
OBRÁZEK 9: VYUŽITÍ VON GRAEFEHO PRIZMA PŘI VYŠETŘENÍ VERTIKÁLNÍCH ÚCHYLEK [17]	21
OBRÁZEK 10: VYUŽITÍ VON GRAEFEHO PRIZMA PŘI VYŠETŘENÍ HORIZONTÁLNÍCH ÚCHYLEK [17]	22
OBRÁZEK 11: KŘÍŽOVÝ TEST S NEGATIVNÍ POLARIZACÍ BEZ FÚZNÍHO PODNĚTU V PŘÍPADĚ ORTOFORIE (A), VJEM LEVÉHO OKA (B), VJEM PRAVÉHO OKA (C) [17]	22
OBRÁZEK 12: SCHÉMA PRIZMATU LÁMAJÍCÍ PAPERSEK [32]	23
OBRÁZEK 13: TABO SCHÉMA [33]	24
OBRÁZEK 14: SCHÉMA VZNIKU DISPERZE SKRZ PRIZMA [34]	26
OBRÁZEK 15: ZRAKOVÝ TRÉNINK „TŘI KOČKY“ [1]	31
OBRÁZEK 16: OPTOTYP LANDOLTOVY KRUHY [35]	34
OBRÁZEK 17: KŘIVKA SNÍŽENÍ ZRAKOVÉ OSTROTI U SMĚRU BÁZE VEN	35
OBRÁZEK 18: KŘIVKA SNÍŽENÍ ZRAKOVÉ OSTROTI U SMĚRU BÁZE DOLU	36
OBRÁZEK 19: POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ DOMINANTNÍHO A NEDOMINANTNÍHO OKA U SMĚRU BÁZE VEN	37
OBRÁZEK 20: POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ DOMINANTNÍHO A NEDOMINANTNÍHO OKA U SMĚRU BÁZE DOLU	38
OBRÁZEK 21: POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SMĚRU BÁZE VEN A SMĚRU BÁZE DOLU U DOMINANTNÍHO OKA	39
OBRÁZEK 22: POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SMĚRU BÁZE VEN A SMĚRU BÁZE DOLU U NEDOMINANTNÍHO OKA	39
OBRÁZEK 23: POROVNÁNÍ HRANICE DISPERZE SVĚTLA	40
OBRÁZEK 24: ROZDÍLNÁ VNÍMAVOST DISPERZE SVĚTLA	41
OBRÁZEK 25: ČASOVÁ ODEZVA U VYŠŠÍCH PRIZMATICKÝCH HODNOT	42

Seznam tabulek

TABULKA 1: VYPOČTENÉ HODNOTY VRCHOLOVÉHO ÚHLU KLÍNU PRO JEDNOTLIVÉ INDEXY LOMU	28
TABULKA 2: VYPOČTENÁ ÚHLOVÁ ODCHYLKA PAPERSEKŮ PRO JEDNOTLIVÉ INDEXY LOMU	29
TABULKA 3: HODNOTY PRIZMATICKÝCH SKEL ZA VZNIKU DISPERZE SVĚTLA DLE JEDNOTLIVÝCH INDEXŮ LOMU	29

Příloha: DOTAZNÍK

DOTAZNÍK

Jméno:	Rok narození:
Datum vyšetření:	Oční dominance:
Anamnéza (celková, rodinná, pracovní):	

hodnota pD	OP		OL		poznámky
	BO	BD	BO	BD	
0					
3					
5					
8					
10					
12					
15					
18					
20					

Ostatní vjemy a poznatky vyšetřovaného: