

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra biomedicínské techniky



Optimalizace technického a programového řešení haploskopické stimulace pro terapii tupozrakosti

Disertační práce

Doktorský studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínská a klinická technika

Autor: Ing. Michaela Borůvková

Školitel: doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

Školitel-specialista: MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D., M.Sc.

Kladno 2024

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem „Optimalizace technického a programového řešení haploskopické stimulace pro terapii tupozrakosti“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k disertační 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

.....

Ing. Michaela Borůvková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych moc ráda poděkovala svému školiteli, panu doc. Ing. Jiřímu Hozmanovi, PhD., za odborné vedení práce, cenné rady, podporu a vstřícnost po celou dobu mého doktorského i předchozího studia. Zvláštní poděkování patří panu MUDr. Miroslavu Dostálkovi, PhD., M.Sc., který se se mnou ochotně podělil o své zkušenosti a vědomosti týkající se medicínské stránky výzkumu a také za poskytnutí zázemí při samotné realizaci práce. A moc děkuji své rodině, hlavně rodičům, mé babičce a manželovi Vojtovi, za obrovskou podporu a trpělivost.

Práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže číslo SGS16/115/OHK4/1T/17.

Abstrakt

K léčbě amblyopie (tupozrakosti) se nejčastěji využívají pleoptické metody, jako je okluzní terapie nebo penalizace. Zatím však neexistuje žádná metrika pro ověřování a porovnávání vlivu těchto terapeutických metod na zrakovou ostrost léčeného oka. Hlavním cílem této disertační práce bylo ověření nového testu monokulární kontrastní citlivosti za binokulárních haploskopických sledovacích podmínek (tj. haploskopický test kontrastní citlivosti – HTKC) a potvrzení hypotézy, že je tento test schopný efektivně kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u dětských subjektů s anizometropickou a strabickou amblyopií.

Metodika HTKC využívá k měření posuvné sloupce se sinusoidálními pruhy v prostorových frekvencích standardně používaných u klasických testů, tedy 1,5; 3; 6; 12 a 18 c/deg, ale s lineární změnou kontrastu. Tento test je prezentován každému oku zvlášť (haploskopicky), avšak při současném sledování obou očí, a to prostřednictvím experimentální soustavy složené ze dvou monitorů, polopropustného zrcadla a polarizačních brýlí. Studie se zúčastnilo celkem 60 dětských subjektů (od 4 do 11 let) podstupujících standardní pleoptickou léčbu.

Výsledky testu HTKC před pleoptickým cvičením a výsledky testu HTKC bezprostředně po něm se u tupozrakého oka statisticky významně liší ve všech prostorových frekvencích u subjektů s anizometropickou formou amblyopie. Po cvičení došlo ke zlepšení hodnot. Nejvyšší rozdíl byl zaznamenán u vysokých prostorových frekvencí (12 c/deg a 18 c/deg), ale i u nízkých frekvencí (1,5 c/deg a 3 c/deg). Tyto výsledky dokazují, že se anizometropická forma projevuje ztrátou jak vysokých prostorových frekvencí zpracovávaných parvocelulárním systémem zrakové dráhy, tak i ztrátou nízkých prostorových frekvencí zpracovávaných magnocelulárním systémem. U strabické formy došlo po pleoptickém cvičení ke statisticky významnému zlepšení hodnot pouze u nízkých prostorových frekvencí (1,5 c/deg a 3 c/deg). To znamená, že se strabická forma amblyopie vyznačuje spíše ztrátou citlivosti na kontrast u nízkých prostorových frekvencí, které zpracovává magnocelulární systém zrakové dráhy. Tyto výsledky potvrdily hypotézu, že HTKC je schopný zaznamenávat změny parametrů, které se v průběhu pleoptického cvičení mění.

Závěrem lze konstatovat, že nově navržený HTKC umožňuje citlivě kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u osob s anizometropickou a strabickou amblyopií a podává reprodukovatelné informace o efektivitě samotné ortopticko-pleoptické léčby.

Klíčová slova: *haploskopický test, kontrastní citlivost, optický dělič, sinusoidální mřížka, sinusoidální pruh, prostorová frekvence, anizometropická amblyopie, strabická amblyopie, pleoptická léčba, binokulární pleoptická léčba, totální okluze, penalizace, zamlžení*

Abstract

Pleoptic methods such as occlusion therapy or penalization are most often used to treat amblyopia. However, there is still no metric for verifying and comparing the effect of these therapeutic methods on the visual acuity of the treated eye. The main goal of this dissertation was to validate a new monocular contrast sensitivity test under binocular haploscopic conditions (i.e. haploscopic contrast sensitivity test – HTKC) and to confirm the hypothesis that this test is capable of sensitively quantifying the effectiveness of pleoptic exercise in pediatric subjects with anisometropic and strabismic amblyopia.

For measuring contrast sensitivity, the haploscopic test uses a sliding columns with sinusoidal stripes at spatial frequencies of 1.5; 3; 6; 12 and 18 c/deg with linear contrast change. This test is presented to each eye separately (haploscopically), but with simultaneous monitoring of both eyes through an experimental system consisting of two monitors, an optical beamsplitter and polarizing glasses. A total of 60 pediatric subjects (from 4 to 11 years old) undergoing standard pleoptic treatment participated in the study.

The results of the HTKC test before the pleoptic exercise and the results of the HTKC test immediately after it differ statistically significantly in all spatial frequencies in subjects with anisometropic form of amblyopia. There was an improvement in values after exercise. The highest difference was noted at high spatial frequencies (12 c/deg and 18 c/deg), but also at low frequencies (1.5 c/deg and 3 c/deg). These results testify that the anisometropic form manifests itself in the loss of both high spatial frequencies processed by the parvocellular system of the visual pathway, as well as the loss of low spatial frequencies processed by the magnocellular system. In the strabismic form, after pleoptic exercise, there was a statistically significant improvement in values only at low spatial frequencies (1.5 c/deg and 3 c/deg). This means that the strabismic form of amblyopia is characterized rather by a loss of contrast sensitivity at low spatial frequencies, which are processed by the magnocellular system of the visual pathway. These results confirmed the hypothesis that the haploscopic test is capable of recording changes in parameters that change during pleoptic exercise.

In conclusion, it can be stated that the newly designed HTKC allows quantifying the effectiveness of pleoptic exercise in subjects with anisometropic and strabismic amblyopia and provides reproducible information on the effectiveness of orthoptic-pleoptic treatment.

Keywords: *haploscopic test, contrast sensitivity, optical beamsplitter, sinusoidal grating, sinusoidal stripe, spatial frequency, anisometropic amblyopia, strabismic amblyopia, pleoptic treatment, binocular pleoptic treatment, total occlusion, penalization, blur*

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
Seznam zkratk.....	12
1 ÚVOD.....	13
2 VÝCHOZÍ TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY	15
2.1 Binokulární vidění.....	15
2.1.1 Stupně JBV	15
2.1.2 Normální retinální korespondence	16
2.1.3 Horopter a Panumův prostor	17
2.1.4 Reflexní oblouk binokulární fúze.....	18
2.2 Suprese.....	21
2.2.1 Binokulární rivalita	21
2.2.2 Suprese rozdílu rozostření – IOBS	22
2.3 Amblyopie	23
2.3.1 Strabická amblyopie	24
2.3.2 Anizometropická amblyopie	25
3 SOUČASNÉ METODY PRO TERAPII TUPOZRAKOSTI	26
3.1 Kritická perioda	26
3.2 Pleoptická terapie	27
3.2.1 Korekce refrakční vady	27
3.2.2 Okluze	27
3.2.3 Farmakologická penalizace	28
3.2.4 Optická penalizace	29
3.2.5 Zamlžení	29
3.2.6 Studie skupiny PEDIG	32
3.3 Pleoptické cvičení	34
3.3.1 Aktivní pleoptická léčba	35
3.3.2 Pasivní pleoptická léčba	36
3.4 Dichoptické zobrazovací systémy pro aplikaci ortopticko-pleoptických cvičení	36
3.4.1 Zrcadlový PC-haploskop	37
3.4.2 Disociace obrazů polopropustným zrcadlem	38

3.4.3	Polarizační disociace.....	39
3.4.4	Autostereoskopické displeje	40
3.4.5	Virtuální realita – Vivid Vision System.....	40
3.5	Současné metody pro měření zrakové ostrosti	42
3.6	Současné metody pro měření kontrastní citlivosti	43
4	CÍLE A HYPOTÉZY	49
5	METODIKA.....	51
5.1	Haploskopický test kontrastní citlivosti – HTKC	51
5.1.1	Optotyp pro HTKC	51
5.1.2	Technické vybavení – haploskopická prezentace optotypů.....	52
5.1.3	Schéma haploskopické zobrazovací soustavy	55
5.1.4	Průběh HTKC.....	57
5.2	Pleoptické cvičení na haploskopické zobrazovací soustavě.....	58
5.2.1	Software pro pleoptické cvičení.....	58
5.2.2	Haploskopická prezentace obrazů	62
5.2.3	Zamlžení obrazu monitoru pro dominantní oko	63
5.3	Celkový průběh vyšetření.....	65
5.4	Experimentální soubor	66
5.5	Vyjádření etické komise	68
5.6	Statistická analýza	68
6	VÝSLEDKY	69
6.1	Ověření haploskopického testu kontrastní citlivosti.....	70
6.2	Efektivita pleoptického cvičení dle věku	74
6.3	Kontrolní skupina	76
6.4	Úplná okluze vs. Zamlžení	77
6.5	Zamlžení dominantního oka u dospělých subjektů.....	78
7	DISKUZE.....	80
7.1	Ověření haploskopického testu kontrastní citlivosti.....	82
7.2	Efektivita pleoptického cvičení dle věku	83
7.3	Kontrolní skupina	84
7.4	Úplná okluze vs. Zamlžení	84
7.5	Zamlžení dominantního oka u dospělých subjektů.....	86
7.6	Limitace	87

8	PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR BIOMEDICÍNSKÉ INŽENÝRSTVÍ	88
9	ZÁVĚR	90
10	AUTORŮV PODÍL.....	91
11	REFERENCE	92
	PŘÍLOHA A – Tabulky	99
	PŘÍLOHA B – Protokol k měření.....	103
	PŘÍLOHA C – Informovaný souhlas.....	104
	PŘÍLOHA D – Publikační činnost	108

Seznam obrázků

Obrázek 1: Binokulární zorné pole	16
Obrázek 2: Projekce fixačního bodu na sítnici při NRK.....	16
Obrázek 3: Binokulární vidění	17
Obrázek 4: Schéma reflexního oblouku binokulární fúze	19
Obrázek 5: Dorsální a ventrální dráha.....	20
Obrázek 6: Hrubá až jemná sekvence zpracování prostorových frekvencí během vnímání scény.....	20
Obrázek 7: Binokulární rivalita	21
Obrázek 8: Rivalita kontrastů	22
Obrázek 9: Rozdělení strabismu podle směru úchylky oka.....	24
Obrázek 10: Bangerterovy filtry	30
Obrázek 11: Detekce nástupu suprese při dichoptickém zobrazování	31
Obrázek 12: PC-haploskop	37
Obrázek 13: Schéma disociace polopropustným zrcadlem.....	38
Obrázek 14: Rozdělení vjemu pro pravé a levé oko (pasivní 3D).....	39
Obrázek 15: Rozdělení vjemu pro pravé a levé oko (aktivní 3D)	39
Obrázek 16: Disociace pomocí paralaxní bariéry a disociace lentikulární fólií	40
Obrázek 17: Vivid Vision System: rozostření obrazu pro vedoucí oko.....	41
Obrázek 18: Optotypové tabule	42
Obrázek 19: Možnosti zápisu zrakové ostrosti pro vyšetřovací vzdálenost 6 metrů	43
Obrázek 20: Pelli-Robson Contrast Sensitivity Test.....	44
Obrázek 21: Kontrastní citlivost - vyšetřovací arch	46
Obrázek 22: Vision Contrast Test System.....	47
Obrázek 23: CSV-1000E test	48
Obrázek 24: Vertikálně posuvné optotypové sloupce	52
Obrázek 25: Uspořádání monitorů a dělicího skla	53
Obrázek 26: Binokulární vjem	54
Obrázek 27: Haploskopická zobrazovací soustava – boční pohled zleva	55
Obrázek 28: Haploskopická zobrazovací soustava – pohled zprava	55
Obrázek 29: Haploskopická zobrazovací soustava – přímý pohled.....	56
Obrázek 30: Haploskopická zobrazovací soustava – pohled z roviny polopropustného zrcadla	56
Obrázek 31: Binokulární rovnováha	57
Obrázek 32: Úloha "Lokalizace"	59

Obrázek 33: Úloha "Fixace"	59
Obrázek 34: Úloha "Doplňování"	60
Obrázek 35: Úloha "Mozaika"	60
Obrázek 36: Úloha "Obkreslování"	61
Obrázek 37: Úloha "Bludiště"	61
Obrázek 38: Úlohy se sekce "Počítej"	62
Obrázek 39: Příklad výpočtu pro různě velké konvoluční matice	63
Obrázek 40: Zamlžení obrazu jednoho z monitorů	64
Obrázek 41: Schematické znázornění průběhu celkového vyšetření testované osoby	66
Obrázek 42: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie	70
Obrázek 43: Graf průměrů naměřených hodnot dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie	70
Obrázek 44: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie	71
Obrázek 45: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie	71
Obrázek 46: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie	72
Obrázek 47: Graf průměrů naměřených hodnot dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie	72
Obrázek 48: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie	73
Obrázek 49: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie	73
Obrázek 50: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů s anizometropickou amblyopií v kategorii od 4 do 7 let	74
Obrázek 51: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů s anizometropickou amblyopií v kategorii od 8 do 11 let	74
Obrázek 52: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů se strabickou amblyopií v kategorii od 5 do 7 let.....	75
Obrázek 53: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů se strabickou amblyopií v kategorii od 8 do 11 let.....	75
Obrázek 54: Graf průměrů naměřených hodnot pravého oka u subjektů z kontrolní skupiny bez amblyopie, které absolvovaly HTKC před a po cvičení nezaměřující se na zvýšení zrakové ostrosti....	76

Obrázek 55: Graf průměrů naměřených hodnot levého oka u subjektů z kontrolní skupiny bez amblyopie, které absolvovaly HTKC před a po cvičení nezaměřující se na zvýšení zrakové ostrosti....	76
Obrázek 56: Porovnání efektivity pleoptického cvičení s úplnou okluzí a pleoptického cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru u anizometropické formy amblyopie.	77
Obrázek 57: Porovnání efektivity pleoptického cvičení s úplnou okluzí a pleoptického cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru u strabické formy amblyopie.....	77
Obrázek 58: Anizometropická amblyopie – dominantní oko před a po cvičení (dospělý subjekt)	78
Obrázek 59: Anizometropická amblyopie – tupozraké oko před a po cvičení (dospělý subjekt)	78
Obrázek 60: Strabická amblyopie – dominantní oko před a po cvičení (dospělý subjekt)	79
Obrázek 61: Strabická amblyopie – tupozraké oko před a po cvičení (dospělý subjekt).....	79

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled cílů a hypotéz.....	80
Tabulka 2: Výsledky subjektů s anizometropickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí dominantního oka	99
Tabulka 3: Výsledky subjektů s anizometropickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka	100
Tabulka 4: Výsledky subjektů se strabickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí dominantního oka.....	101
Tabulka 5: Výsledky subjektů se strabickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka	102

Seznam zkratek

ARK	Anomální retinální korespondence
ATS	Amblyopia Treatment Study (studie léčby tupozrakosti)
BCDVA	Best corrected distance visual acuity (nejlépe korigovaná zraková ostrost do dálky)
BCVA	Best corrected visual acuity (nejlépe korigovaná zraková ostrost)
CNS	Centrální nervová soustava
HMD	Head Mounted Display
HTKC	Haploskopický test kontrastní citlivosti
IOBS	Interocular blur suppression (suprese rozdílu rozostření)
JBV	Jednoduché binokulární vidění
NRK	Normální retinální korespondence
PD	Pupilární distance
PEDIG	Pediatric Eye Disease Investigator Group
VA	Visual acuity (zraková ostrost)

1 ÚVOD

Tato disertační práce se zabývá stanovením kontrastní citlivosti u dětských pacientů, kteří podstupují pleoptickou léčbu amblyopie (tupoizrakosti). Tupoizrakost může být způsobená buď šilháním (tzv. strabická forma) nebo rozdílnou dioptrickou mohutností pravého a levého oka (tzv. anizometrická forma).

Citlivost na luminanční kontrast je jednou z hlavních funkcí zrakového systému. Popisuje základní vlastnosti vidění jak ve vysokých prostorových frekvencích (tj. detaily obrazu), tak i v nízkých prostorových frekvencích (tj. kompozice celého zorného pole). Z tohoto hlediska je kontrastní citlivost komplexnější a vizuální realitě bližší deskriptor, než např. centrální zraková ostrost (tj. senzorický extrém vysokých prostorových frekvencí při maximálním kontrastu).

Amblyopie snižuje většinu zrakových funkcí včetně citlivosti na kontrast. Různé typy amblyopie mají odlišnou etiologii, a tedy i rozdílný vliv na vidění, tedy i na kontrastní citlivost. Pro optimalizaci léčby amblyopii je důležité detekovat, jak je tato funkce ovlivněna ve vysokých a nízkých prostorových frekvencích. Tyto informační kanály jsou ve vizuálním kortexu odděleny. Detaily zpracovává parvocelulární systém a kompozice systém magnocelulární [1, 2, 3, 4, 5].

K léčbě amblyopie je v současné době nejčastěji uplatňována okluzní terapie. Klasická pleoptika (tj. konzervativní postupy léčby tupoizrakosti) ve formě okluze vedoucího oka je zaměřena především na stimulaci amblyopického oka vyřazením oka lepšího [6]. Okluzní léčba se tedy zaměřuje na zvýšení zrakové ostrosti léčeného (amblyopického) oka, ale nepodporuje vzájemnou spolupráci obou očí. Proto je třeba zabývat se léčebnými postupy zaměřenými jak na zlepšení zrakové ostrosti, tak i na podporu spolupráce zdravého a amblyopického oka a upevnění binokulárních funkcí [7].

Pro správné nastavení nových léčebných postupů je stěžejní dostatečně přesně určit monokulární kontrastní citlivost obou očí za haploskopických binokulárních sledovacích podmínek, tedy při sledování oběma očima současně, přičemž je každému oku předkládán jeho vlastní optotyp. Díky tomu je možné zjistit, jak vyváženě přispívá do výsledného binokulárního vjemu dominantní (zdravé) oko a tupoizraké oko, které je za normálních binokulárních sledovacích podmínek utlumováno.

Pro ucelení a pochopení problematiky, kterou se disertační práce zabývá, byla vytvořena kapitola s názvem *Výchozí teoretické předpoklady*, ve které jsou shrnuty nejdůležitější poznatky z oblasti binokulárního vidění, supresních mechanismů ve fyziologii binokulárního vidění a jejich vlivu na rozvoj anizometropické a strabické formy amblyopie.

2 VÝCHOZÍ TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY

2.1 Binokulární vidění

Jednoduché binokulární vidění (JBV) lze definovat jako sloučení obrazů z obou očí do jednoho společného binokulárního vjemu [8]. JBV je základní a přirozenou vlastností každého zdravého jedince, jehož oči jsou schopny koordinované senzomotorické činnosti a jeho nervová soustava z nich dokáže správně zpracovat signály. JBV se vyvíjí až po narození a jeho stabilizace probíhá až do šesti let věku dítěte. Při nesprávném vývoji binokulárního vidění může dojít k patologiím jako je suprese, tupozrakost nebo k anomální retinální korespondenci [9, 10, 11].

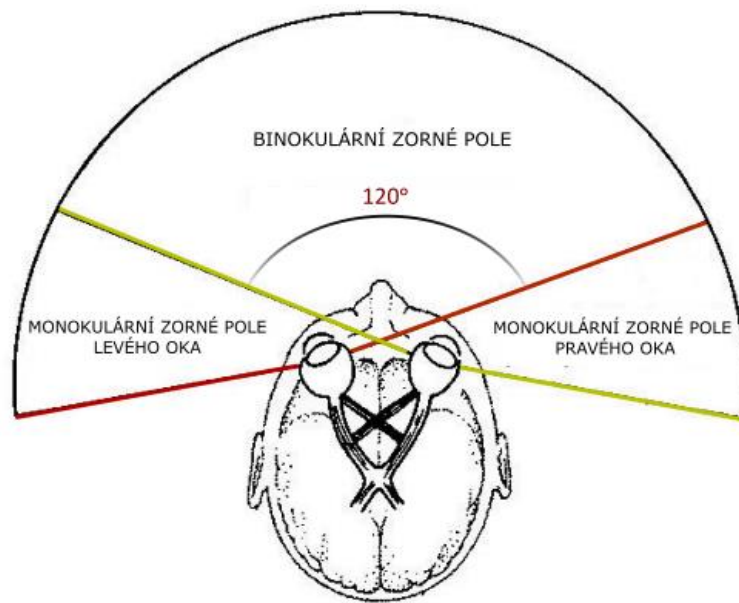
2.1.1 Stupně JBV

Dle Worthovy klasifikace lze JBV rozdělit do tří stupňů [10].

Prvním stupněm je simultánní percepce a superpozice. Simultánní percepce je schopnost obou očí vidět dva různé obrazy ze sítnice současně. Superpozice je vlastně simultánní percepce dvou obrazů, které jsou vytvořené na korespondujících místech na sítnici s projekcí do totožného místa v prostoru [12]. V případě, že nedochází k superpozici, nejsou přítomny ani další stupně JBV [10].

Druhým stupněm JBV je fúze. Jedná se o schopnost CNS umožňující spojení dvou totožných obrazů z obou očí do jednoho vjemu. Pro udržení fúze je zapotřebí dvou složek. Složka senzorická umožňuje spojení dvou obrazů v jeden. Přestože jsou na dvou sítnicích dva fyzické obrazy, ve vizuálním vědomí vzniká jen jeden virtuální obraz, který se vytvořil spojením dvou kódovaných informací levého a pravého oka. Jedná se o mnohoúrovňový neurální proces. Složka motorická pak zajišťuje správné vergenční postavení očí, které umožní protnutí zrakových os na pozorovaném bodě. Dále je možné fúzi dělit podle rozsahu sítnice, která se podílí na spojení obrazů na makulární, paramakulární a foveolární [10, 11, 13].

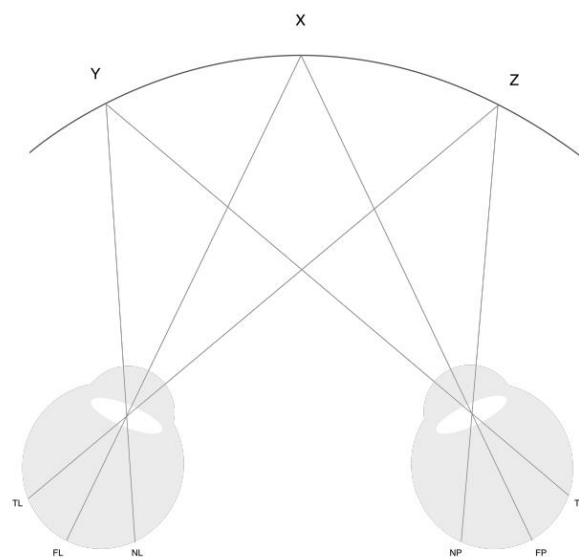
Třetím a nejvyšším stupněm je stereopse zajišťující vidění v prostoru. V tomto případě je nezbytné, aby obrazy sledovaného předmětu dopadaly v horizontální ose sítnice na lehce nekorespondující (disparátní) místa v oblasti Panumova prostoru. Výsledkem je hloubkový vjem. V případě překročení Panumových areálů dochází k fyziologické diplopii. Stereoskopické vidění je umožněno v oblasti binokulárního zorného pole, které vzniká překryvem monokulárního zorného pole pravého oka a monokulárního zorného pole levého oka [10, 11].



Obrázek 1: Binokulární zorné pole, volně podle [14]

2.1.2 Normální retinální korespondence

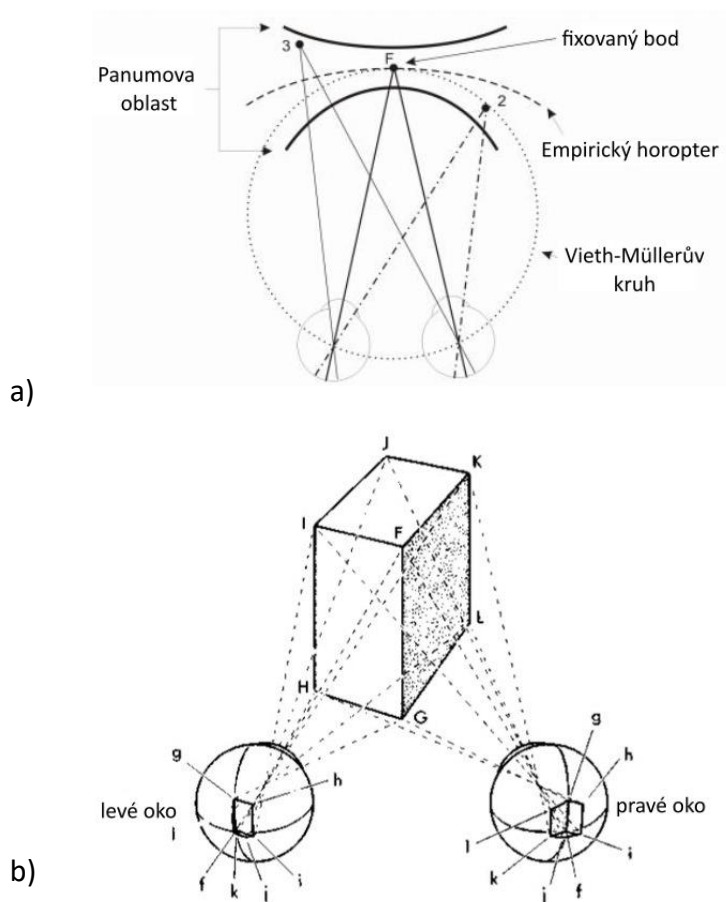
Normální retinální korespondence (NRK) je jev, kdy odpovídající body na sítnici každého oka přijímají obrazy stejného objektu. NRK je základem fyziologické koordinace očí. Při pozorování jednoho bodu v prostoru dochází ke změně polohy očí tak, aby se pohledové osy obou očí protínaly přímo v pozorovaném bodě [12, 15]. Úhel, který svírají tyto dvě osy, je znám pod pojmem stereoskopická paralaxa. Korespondující místa na sítnici, do kterých dopadají obrazy sledovaného bodu, tvoří fovey. Tyto dva obrazy jsou poté fúzovány do jednoho optického vjemu [10, 11].



Obrázek 2: Projekce fixačního bodu na sítnicích při NRK, volně podle [12]

2.1.3 Horopter a Panumův prostor

Veškeré body v prostoru, které vytvářejí obrazy dopadající na korespondující oblasti sítnic, se nacházejí na tzv. horopteru. Jedná se o pomyslnou plochu. Pokud body leží mimo horopter, nedopadají na korespondující oblasti sítnice a jsou vnímány dvojitě. Takové body se označují jako disparátní. Míra retinální disparity se zvyšuje úměrně vzdálenosti konkrétního bodu od horopteru. Tento disparitní signál je vytvořený výhradně za binokulárních podmínek. Mírně disparátní body, které ještě nezpůsobují fyziologickou diplopii (tj. dvojité vidění), se nacházejí v Panumově areálu okolo fovey. Panumův areál je oblast kolem horopteru, ve které je umožněn vznik binokulární stereopse. Binokulární disparita představuje rozdíl lokace korespondujících bodů z obou očí v horizontální rovině v souvislosti s očním rozestupem (PD = pupilární distance) a hraje důležitou roli při hloubkovém vidění. Přestože binokulární disparita má obecně jak horizontální, tak vertikální složky, je to horizontální složka (tj. horizontální disparita), která nese informaci o hloubce objektu vzhledem k fixačnímu bodu [16].



Obrázek 3: Binokulární vidění – a) horopter a Panumův areál, volně podle [10],
b) rozdíl retinálních obrazů, volně podle [13]

2.1.4 Reflexní oblouk binokulární fúze

Vznik jednoduchého binokulárního vjemu z retinálních obrazů pravého a levého oka probíhá na kortikální úrovni a je znám pod pojmem binokulární fúze [15]. Proces zpracování obrazové informace vizuálním systémem se označuje jako tzv. fúzní teorie [17]. Za vznik binokulárního vjemu jsou zodpovědné složky reflexního oblouku binokulární fúze. Jedná se o složku motorickou a složku senzoryckou. Senzoryckou složku fúze lze dále rozdělit na složku percepční a analytickou. Za kompletní zpracování vizuálního signálu zodpovídá tzv. asociační složka. Asociační složka zpracovává binokulární signál a umožňuje integraci obrazové informace s dalšími senzoryckými signály. Nejvyšším stupněm je poté vizuální vědomí, které vytváří finální subjektivní stereoskopický vjem [15, 18].

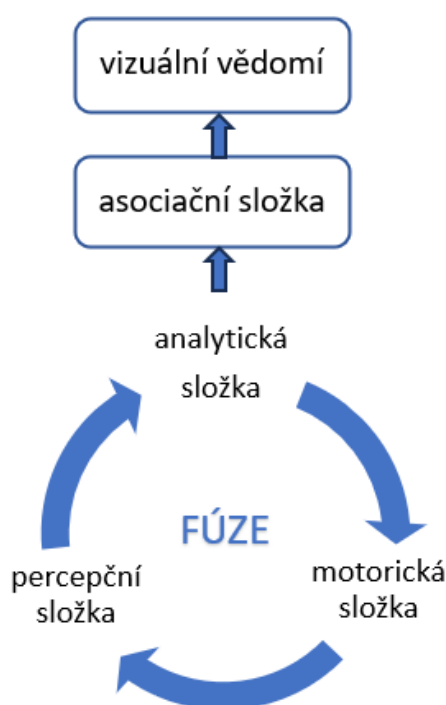
Motorická složka fúze

Funkcí motorické složky fúze je koordinace pohybů očí, která slouží k udržení a zachování senzorycké složky fúze [12, 19]. Úkolem motorické složky fúze je jemné doladění postavení obou očí, které zajistí správné protnutí os vidění v bodě fixace tak, aby byl fixovaný bod zobrazen korespondujícím místům na sítnici [10]. Pokud je bod zobrazen na disparátních místech na sítnici mimo oblast Panumova areálu, dochází ke korekčnímu pohybu, který udržuje foveolární fixaci tak, aby byl sledovaný předmět opět viděn jednoduše [10, 19]. Tyto korekční protiběžné pohyby nazýváme fúzní vergence (tj. konvergence či divergence) [20]. Na rozdíl od senzorycké fúze je motorická fúze výhradní funkcí extrafoveální retinální periferie. Pokud obraz fixovaného vizuálního objektu dopadá na foveu každého oka, nedochází ke stimulu motorické složky fúze. Fúze, ať už senzorycká či motorická, je vždy centrální proces, tzn. probíhá ve zrakové kůře [19].

Senzorycká složka fúze

Senzorycká fúze se skládá ze složky percepční (aferentní) a analytické. Percepční složka umožňuje převod elektromagnetického vlnění z oblasti viditelného spektra (380 až 760 nm) do monokulárního vizuálního vjemu. Úkolem analytické složky je poté spojení dvou monokulárních sítnicových obrazů v jeden jediný vizuální vjem [12, 17]. Charakteristickou vlastností senzorycké složky je, že není závislá na očním pohybu. Pro vznik senzorycké fúze jsou zapotřebí monokulární obrazy dopadající na korespondující místa na sítnici, které jsou shodné svým tvarem, velikostí, barvou a jasnem [10, 15, 21]. Pokud nejsou shodné obrazy zobrazeny na korespondující místa sítnic, dochází k retinální disparitě. Jsou-li rozdíly v lokálních znacích

malé, dochází k vybuzení motorické fúze. Při vyšším rozdílu nastává rozdvojení vizuálního vjemu, tj. k diplopii. V případě, že si jsou rozdvojené obrazy blízké, pokusí se je motorický systém spojit. Při rozdílech obrazů ve velikosti, barvě nebo jasů může dojít k alternativnímu vidění nebo mohou části obrazu ve výsledném vizuálním vjemu dočasně dominovat a vytvořit tzv. mozaiku (dochází k tzv. retinální rivalitě) [15].



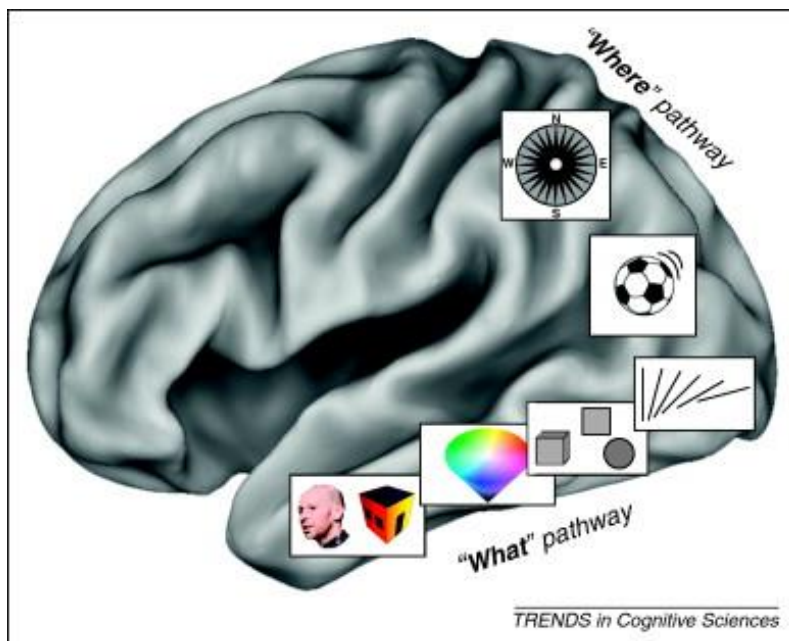
Obrázek 4: Schéma reflexního oblouku binokulární fúze (vlastní obrázek)

Vizuální informace vstupující, ale také opouštějící primární zrakovou kůru, jsou segregovány do dvou paralelních drah. Jedná se o dorsální a ventrální dráhu.

Dorsální dráha, také známá po pojmem „where pathway“, se obecněji podílí na zpracování prostorových informací vizuálních objektů, jejich pohybů, vzdáleností, ve kterých se nacházejí, za účelem umožnění interakce s těmito objekty. Zahrnuje síť oblastí umístěných na okcipito-parietální (dorsální oblasti) straně mozku. Dorsální oblasti dostávají více vstupů z magnocelulárního systému, které nesou informace především o nízkých prostorových frekvencích [17, 22, 23].

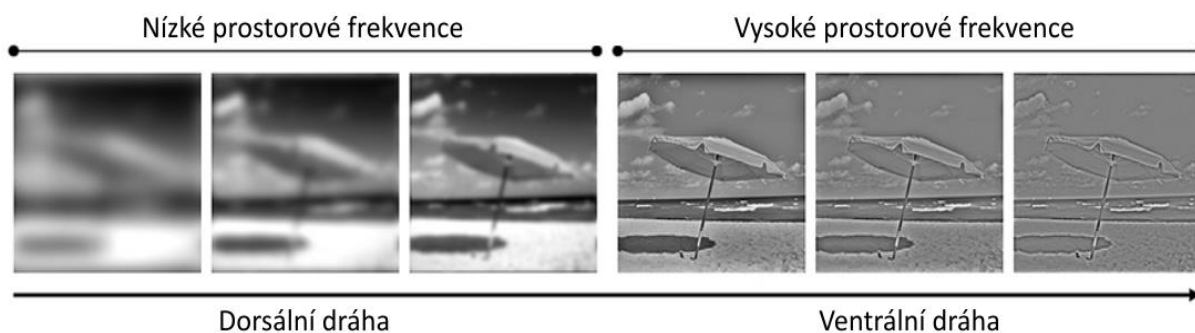
Ventrální dráha, známá jako „what pathway“, zahrnuje oblasti umístěné více ventrálně, v okcipito-temporální části mozku. Umožňuje rozpoznávání objektů, jejich tvarů a barev. Ventrální oblasti dostávají vstupy především z parvocelulárního systému (citlivé na vysoké

prostorové frekvence), ale i z magnocelulárního systému (citlivé na nízké prostorové frekvence) [22, 23].



Obrázek 5: Dorsální a ventrální dráha [24]

Nejen, že se tyto dvě dráhy liší druhem informací, které zpracovávají [25], ale mají také různou rychlost zpracování, přičemž dorsální dráha je rychlejší (vysoká rychlost vedení a odezvy) než ventrální dráha (nízká rychlost vedení a trvalé odpovědi). Toto rozlišení spolu s paralelním zpracováním informací je základem hrubého až jemného zpracování vizuální informace. Nízké prostorové frekvence přenášené magnocelulárním systémem jsou nejprve zpracovány, a poté slouží jako zpětná vazba pro integraci vyšších prostorových frekvencí, přiváděných parvocelulárním systémem, což má za následek jemnější zpracování vizuální informace [26, 27].



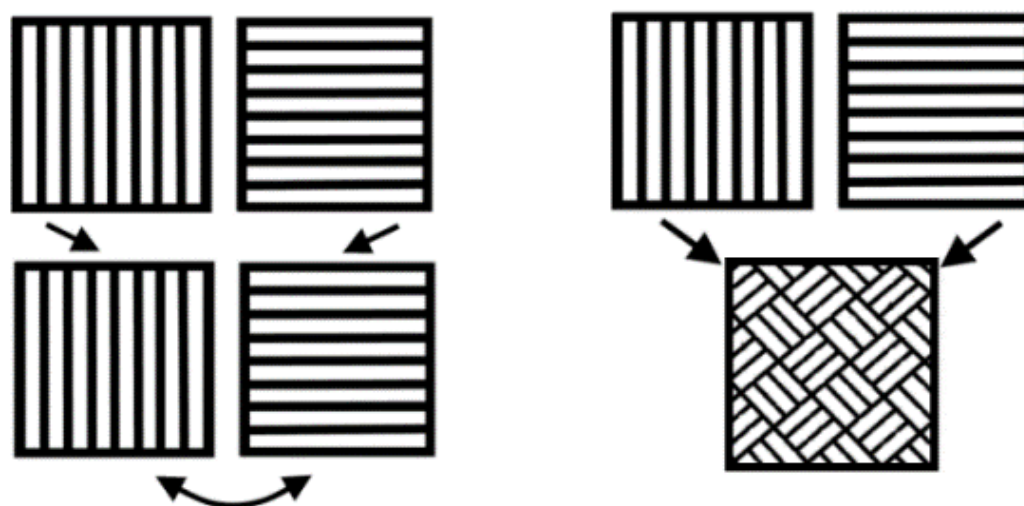
Obrázek 6: Hrubá až jemná sekvence zpracování prostorových frekvencí během vnímání scény, volně podle [28]

2.2 Suprese

Suprese neboli útlum vizuálních vjemů je významnou součástí binokulárního vidění. Supresní mechanismy zabraňují přesycení vizuálních informačních toků odstraňováním přebytečných či defektních informací a provádějí hrubou filtraci odlišných monokulárních signálů. Místem, ve kterém dochází k supresní filtraci monokulárních vjemů a doostření receptivních polí na sítnici, je corpus geniculatum laterale [29]. Hlavním místem pro kontrolu kvality signálů, které jsou fúzovány do binokulárního vjemu, je však primární zraková kůra. Na tomto místě suprese řeší interokulární rivalitní situace, které zabraňují fúzi [29, 30, 13]. V zásadě dělíme komplexní supresní mechanismy na dva typy – rivalita kontur a rivalita kontrastů.

2.2.1 Binokulární rivalita

Binokulární (retinální) rivalita je vizuální jev, jehož aktivaci způsobují rozdílné obrazy, které jsou předkládány shodným místům na sítnici [29]. Tento supresní mechanismus je aktivován v situacích, ve kterých jsou obrazové informace z pravého a levého oka natolik rozdílné, že je nelze spojit senzoricou fúzí. Dochází k němu například při rozdílu tvarů, velikostí, jasů, kontrastů, barev nebo při rozdílu rychlostí pohybu [30]. V takovém případě nastává konfliktní situace. Výsledkem je alternující dominance jednoho z obrazů nebo mozaiková alternace, kdy je finální obraz kombinací obou monokulárních vjemů [31].

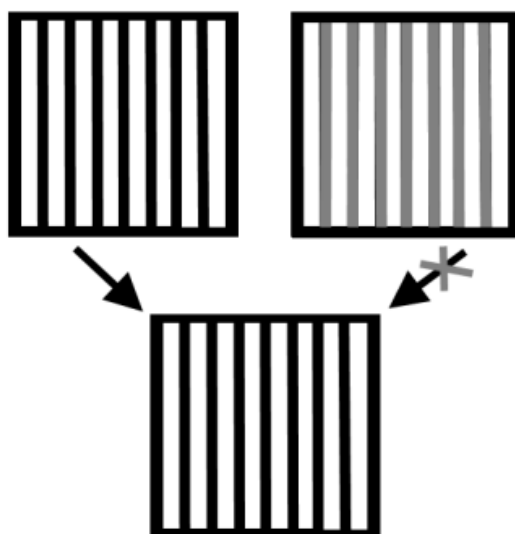


Obrázek 7: Binokulární rivalita – a) alternující dominance monokulárních obrazů; b) mozaikový vjem, volně podle [13]

Tento supresní mechanismus je považován za základ strabické amblyopie [30].

2.2.2 Suprese rozdílu rozostření – IOBS

Suprese rozdílu rozostření (interocular blur suppression – IOBS), dříve známá pod pojmem dichoptické maskování, je zástupce supresí, které jsou založeny na rivalitě kontrastů. Aktivaci tohoto fenoménu způsobují různé kontrasty jinak totožných monokulárních obrazů. Obraz s menším kontrastem je suprimován obrazem s kontrastem vyšším [30]. Tento jev nastává i při rozdílu rozostření monokulárních obrazů, kdy je rozostřený monokulární obraz suprimován obrazem s vyšší ostroostí [32].



Obrázek 8: Rivalita kontrastů, volně podle [6]

Z hlediska prostorových frekvencí je rozostření obrazu charakterizováno jako určitý druh selektivní ztráty vysokých prostorových frekvencí [33]. Nízké prostorové frekvence přenášející hrubé vizuální informace a vysoké prostorové frekvence, které přenášejí jemné detaily, mají rozdílné funkce při vizuálním zpracování. Nízké prostorové frekvence jsou přenášeny přes magnocelulární dráhu do oblastí vyššího řádu v parietálním kortexu pro výpočet počáteční hrubé analýzy vizuální scény. Poté je provedena jemná obrazová analýza signálů vysokých prostorových frekvencí v parvocelulárních strukturách V1 [33, 2, 3, 4, 5].

Některé experimentální studie poukázaly na společné znaky binokulární (retinální) rivalryity a suprese rozdílu rozostření. To přispívá k teorii, že by mohla být IOBS zvláštní formu binokulární rivalryity [30, 33].

IOBS je považována za mechanismus, který se nejpravděpodobněji podílí na rozvoji amblyopie při anizometrii a také při mikrostrabismu [34].

2.3 Amblyopie

Amblyopie neboli tupozrakost je vývojová vada zraku. Tato porucha, která je charakterizována neurovývojovými změnami, vede k fyziologickým abnormalitám ve vývoji zrakové dráhy během raného dětství, což má za následek snížení centrální zrakové ostrosti jednoho oka či méně často obou očí [35]. Ostrost tupozrakého oka se za šera zlepšuje. To dosvědčuje, že amblyopie postihuje hlavně oblast centrálního vidění [36]. Jedná se o nejčastější příčinu zhoršeného vizuální ostrosti jednoho oka a postihuje přibližně 2–4 % populace [37]. Rozvoj tohoto stavu je často spojen s faktory, jako je zraková deprivace, nedostatečná kvalita zrakové stimulace nebo narušení binokulárních očních interakcí během kritického období pediatrického vývoje [38]. Binokulární nerovnováha se projevuje supresí monokulárního obrazu tupozrakého oka a zhoršením či nepřítomností binokulárních funkcí. Pacienti s amblyopií vykazují sníženou zrakovou ostrost i při nejlepší brýlové korekci (BCVA – best corrected visual acuity), kterou nelze přičíst strukturálním změnám oka [39]. Nejčastěji se vyskytuje anizometropická forma (cca 50 %), dále pak strabická forma (cca 19 %), kombinace těchto dvou forem (cca 27 %) a deprivativní forma amblyopie (cca 4 %) [40]. Vážnost tupozrakosti je závislá na době vzniku, délce trvání deprivace a také na její příčině. Zásadním faktorem pro léčbu tupozrakosti je její včasná diagnostika [41].

Podle zrakové ostrosti (VA – visual acuity) lze amblyopii dělit na 3 úrovně [11]:

- Lehká amblyopie – VA 6/8 až 6/18
- Střední amblyopie – VA 6/18 až 6/60
- Těžká amblyopie – VA <6/60

Amblyopie může být kategorizována na základě jejích základních příčin [11]:

- Kongenitální – forma vrozená, není možná léčba;
- amblyopie ex anopsie – vzniká z nepoužívání oka, např. po narození, kdy nedochází ke vstupu vizuálních podnětů do oka (zákal, krvácení do sklivce);
- anizometropická – vzniká při vysokém rozdílu dioptrií mezi pravým a levým okem;
- ametropická – příčinou je vysoká refrakční vada (u hypermetropie);
- meridionální – vzniká při vysokém vrozeném astigmatismu;
- strabická – vzniká při útlumu uchýleného oka.

2.3.1 Strabická amblyopie

U strabické formy amblyopie rozlišujeme kromě snížení zrakové ostrosti i další charakteristické znaky [10, 11].

Při okluzi (tj. zakrytí) zdravého oka dochází ke snížení aktivní suprese tupozrakého oka a výsledkem je zvýšení jeho zrakové ostrosti [10, 11].

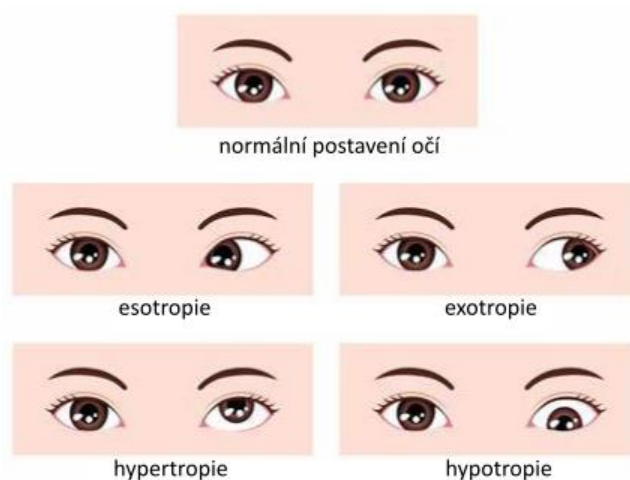
Dalším typickým znakem strabické amblyopie jsou změny fixace. Fixaci můžeme dělit na centrální, bloudivou a excentrickou. Centrální fixace je předpokladem pro normální zrakovou ostrost. Probíhá ve fovee, což je oblast nejostřejšího vidění. Pokud ale nedopadá obraz přímo do oblasti fovey (např. při uchýlení oka), ale na jiný bod sítnice, mluvíme o tzv. excentrické fixaci. Podle oblasti fixujícího bodu na sítnici dělíme excentrickou fixaci na parafoveolární, paramakulární a periferní. Posledním typem fixace je forma bloudivá, která je nestálá [11, 42].

Projevem excentrické fixace je porucha lokalizace. Obraz nedopadá na místo fovey, což má za následek vznik tzv. pseudofovey, která přebírá hlavní pohledový směr a může tak dojít ke vzniku anomální retinální korespondence (ARK) [10, 42].

Posledním znakem je tzv. crowding fenomén, což je porucha rozlišovací schopnosti. Projevuje se zhoršenou zrakovou ostroší při čtení písmen či jiných znaků, které jsou v řadě za sebou (vyšetřovaný pacient je nedokáže přečíst). Pokud jsou ale tyto znaky izolovány nebo je mezi nimi větší vzdálenost, jsou identifikovány správně [43].

Tento typ tupozrakosti je možné časně rozpoznat právě z důvodu šilhání či nesouososti očí.

Různé druhy abnormálního postavení očí jsou znázorněny na Obrázek 9.



Obrázek 9: Rozdělení strabismu podle směru úchylky oka [44]

U strabických amblyopií jsou suprese známy jako skotomické oblasti, které postihují strategické části sítnice, jako je fovea [45]. Jako patofyziologický základ strabické tupozrakosti je považována binokulární (retinální) rivalita.

2.3.2 Anizometropická amblyopie

Anizometropie je refrakční vada oka, při které má každé oko jinou dioptrickou hodnotu refrakce. Rozdíl dioptrické hodnoty, která je považována za anizometropickou, může být pouze 0,5 dioptrie. Následek anizometropie je změna struktury prostorových frekvencí zejména jednoho oka. Může ovlivnit také velikost obrazu nebo jeho kontrast. Anizometropický rozdíl o velikosti 1 dioptrie je považován za rizikovou hodnotu pro rozvoj anizometropické amblyopie [46].

Obecně platí, že pacienti s hypermetropií (tj. dalekozrakost) nebo s astigmatismem jsou náchylnější k rozvoji amblyopie oproti pacientům s myopií (tj. krátkozrakost), protože myopie stále umožňuje zaostření alespoň blízkých předmětů [39].

Významný podíl pro vznik anizometropické amblyopie má mechanismus IOBS [30, 47]. Do jisté míry závisí na velikosti dioptrického rozdílu mezi vedoucím a tupozrakým okem. Při malém rozdílu se suprese neobjevují, u střední míry anizometropie se střídají stavy dominance a suprese, a při vysoké anizometropii může být suprese stálá [48].

3 SOUČASNÉ METODY PRO TERAPII TUPOZRAKOSTI

3.1 Kritická perioda

Kritická perioda je období, ve kterém je nervový systém velmi citlivý na specifické typy smyslových podnětů. Jedná se o vývojovou fázi jednotlivých zrakových funkcí. Trvání tohoto kritického období se u každé zrakové funkce liší, přičemž funkce zpracovávány v neuroanatomicky vyšších úrovních vykazují delší dobu trvání kritické periody [49].

Funkce binokulárního vidění se vyvíjejí cca do šestého roku věku. Pokud se během této vývojové fáze objeví jakákoliv patologie, která má za následek nepoměr mezi kvalitou dvou monokulárních signálů, jsou prostřednictvím kortikální plasticity spuštěny adaptivní mechanismy. Jedním z takových mechanismů je suprese, která vede k amblyopii. Velmi důležitá je tedy dostatečná zraková zkušenost člověka právě v období kritické periody. Bez této zkušenosti dochází k nedostatečné aktivaci neurálních spojení, která jsou přítomna již při narození, ale k jejich následnému rozvoji dochází až po narození prostřednictvím zrakové zkušenosti [17, 50].

Korová plasticita, známá jako celoživotní plastická perioda, tvoří základ pro citlivost zrakového systému na vizuální zážitky a přizpůsobení se prostředí. Korová plasticita je nejvyšší právě v období kritické periody. Pro rozvoj zrakových funkcí je rozhodující především první půlrok života, protože v tomto období mají zrakové zkušenosti největší vliv. Tento vliv se postupně snižuje přibližně do šesti až sedmi let věku. Nicméně je důležité si uvědomit složitost tohoto problému, protože různé zrakové funkce mohou vykazovat odlišné vzorce časového vývoje [17].

Buněčný a molekulární mechanismus kritické periody zatím není zcela objasněn [17].

Vnímání pojmu neurální plasticity se v poslední době značně mění. Dříve se předpokládalo, že po ukončení určitého věku (cca 10-12 let) dochází k její fixaci. Ze studií vyplývá, že je plasticita nejspíše omezována tzv. molekulárními brzdami. Studie, které pojednávají o zvýšení zrakové ostrosti tupozrakého oka po ztrátě zdravého oka naznačují, že neurální spoje z tupozrakého oka mohou být zeslabeny, inhibovány, avšak nejsou ztraceny. Tím se otevírá prostor pro nové typy léčebných procesů řady vývojových poruch, které se dříve považovaly za v dospělosti neléčitelné, jako například amblyopie [51].

3.2 Pleoptická terapie

Pleoptika je souhrn metod, které se zabývají léčbou tupozrakosti. Cílem těchto metod je aktivovat zrakovou dráhu postiženého oka ve snaze o normalizaci zrakové ostrosti a zapojení amblyopického oka do binokulární spolupráce s okem zdravým. Toho je dosaženo omezením funkce zdravého (tj. vedoucího či dominantního) oka s následnou stimulací tupozrakého oka. Klasická pleoptika zahrnuje korekci refrakční vady, okluzní terapii či penalizaci, a v neposlední řadě aktivní a pasivní pleoptické cvičení [11].

Úspěšnost léčby tupozrakosti je závislá na jejím včasném odhalení. Pokud je tupozrakost potvrzena, je třeba okamžitě zahájit léčbu. Největší úspěšnost vyléčení je u dětí, kterým byla tupozrakost diagnostikována v nejútlejším věku. S vyšším věkem dítěte dochází k pomalejší obnově zrakových funkcí, a to snižuje pravděpodobnost úplné obnovy vidění [10, 11].

3.2.1 Korekce refrakční vady

Podmínkou k zahájení pleoptické terapie je stanovení správné korekce refrakční vady (tj. určení aktuálních dioptrií na obou očích). Nesprávná či chybějící korekce způsobuje neostrý obraz na sítnici, který vyvolá supresi. Čím je refrakční vada vyšší, tím roste pravděpodobnost vzniku anizometropické a ametropické amblyopie. Nekorigovaný astigmatismus může způsobit amblyopii meridionální. Proto je nutné refrakční vadu plně vykorigovat brýlemi, případně kontaktními čočkami [10, 11].

3.2.2 Okluze

Okluzní terapie, tedy omezení oka pomocí aplikace okluzoru, hraje při pleoptické léčbě důležitou roli. Význam okluze spočívá ve zvýšení zrakové ostrosti se současným snížením útlumu tupozrakého oka a zamezením vzniku anomální retinální korespondence. Tato metoda se využívá již od roku 1743 [52] a v dnešní době je stále nejčastěji předepisovanou léčbou. K okluzi oka se používají tzv. okluzory v různých provedeních. Nejčastěji se využívají oční náplasti, které se lepí přímo na kůži a překrývají pacientovo oko, dalším typem jsou gumové okluzory, které se za pomoci přísavky upevní na brýlové sklo, anebo látkové okluzory navlékané přímo na brýle.

Rozlišují se dvě metody okluzní léčby. První je okluze přímá neboli direktní, při které je okluzor aplikován na zdravé oko. Druhou metodou je okluze nepřímá neboli inverzní, při které se naopak zakrývá oko tupozraké [53].

Nepřímá okluze

Při této metodě je aplikován okluzor na amblyopické oko za účelem uvolnění jeho aktivního útlumu, což má za následek rozrušení přítomné excentrické fixace. Používá se výhradně pod dozorem lékaře. Cílem nepřímé okluze není zvýšení zrakové ostrosti. Používá se před nasazením přímé okluze nebo před pasivním pleoptickým tréninkem. V dnešní době se tato metoda už příliš nepoužívá [10, 11].

Přímá okluze

Hlavním cílem této metody je vyřazení zrakových vjemů zdravého oka za účelem zvýhodnění oka se sníženou zrakovou ostroší.

V minulosti se aplikovala přímá okluzní terapie v poměru 6:1, tedy šest dní bylo okludováno zdravé oko a jeden den v týdnu bylo okludováno tupozraké oko až do doby, kdy došlo ke zvýšení zrakové ostrosti tupozrakého oka na určitou hranici (VA 0,8 – 1,0). Dalším krokem byla střídavá okluze v poměru 5:2, následně v poměru 4:3. Při správné alternaci a ustálení zrakové ostrosti na hodnotě VA 1,0 se přistoupilo na pravidelně střídavou okluzi v poměru 1:1 [10, 11].

V dnešní době se okluze doporučuje na cca 2-6 hodin denně v závislosti na závažnosti amblyopie, viz doporučení skupiny PEDIG (Pediatric Eye Disease Investigator Group). Režim nošení je indikován lékařem.

Okluze může být „totální“, při které se vyřadí vedoucí oko v celém zorném poli za použití neprůhledného okluzoru nebo „parciální“, která snižuje zrakovou ostrost vedoucího oka pod úroveň oka zdravého.

3.2.3 Farmakologická penalizace

Další terapeutickou možností je léčba pomocí cykloplegických léčiv. Využívá se 0,5% nebo 1% atropin, který způsobuje mydriázu (tj. rozšíření oční zornice) a rozostřené vidění vedoucího oka, protože použitím atropinu nastává obrna akomodace (akomodace je dynamický proces změny optické mohutnosti oka v souvislosti s mírou rozostření obrazu na sítnici [32]). Zároveň se zvyšuje sférická a chromatická vada a v souvislosti s rozšířením zornice je oko náchylnější

na oslnění. Účinek atropinu nastává už do půl hodiny od aplikace a doznívá přibližně za týden, v závislosti na použitém typu. Oko se atropinizuje do doby, dokud nenastane střídání fixace, což je známka potlačení amblyopie. Tato metoda podporuje binokulární vidění, avšak nevýhodou je dlouhý účinek bez možnosti okamžité zvrácení mydriázy. V případě zvolení této formy léčby je třeba častějších návštěv oftalmologa. Penalizace amblyopického oka atropinem se nejčastěji využívá u lehké až střední amblyopie [11, 12, 54].

3.2.4 Optická penalizace

Principem optické penalizace je znevýhodnění zdravého oka cykloplegiky a dioptrickými skly, které neodpovídají aktuální refrakci. Tato metoda vhodně doplňuje klasickou okluzi. Výhodou je jednoduché použití, které neovlivňuje pacienta esteticky, psychicky a oproti klasické okluzi neblokuje binokulární vidění. Optickou penalizaci lze rozdělit na penalizaci do blízka, do dálky a na penalizaci totální [10, 11].

Při penalizaci do blízka se aplikuje do vedoucího oka atropin, který způsobí zhoršení zrakové ostrosti vedoucího oka na blízkou vzdálenost kvůli neschopnosti akomodace. Obě oči jsou plně korigovány brýlovými skly. Cílem je zvýhodnění amblyopického oka do blízka. Současně se zlepšující se zrakovou ostrostí do blízka se zlepšuje i zraková ostrost do dálky [10].

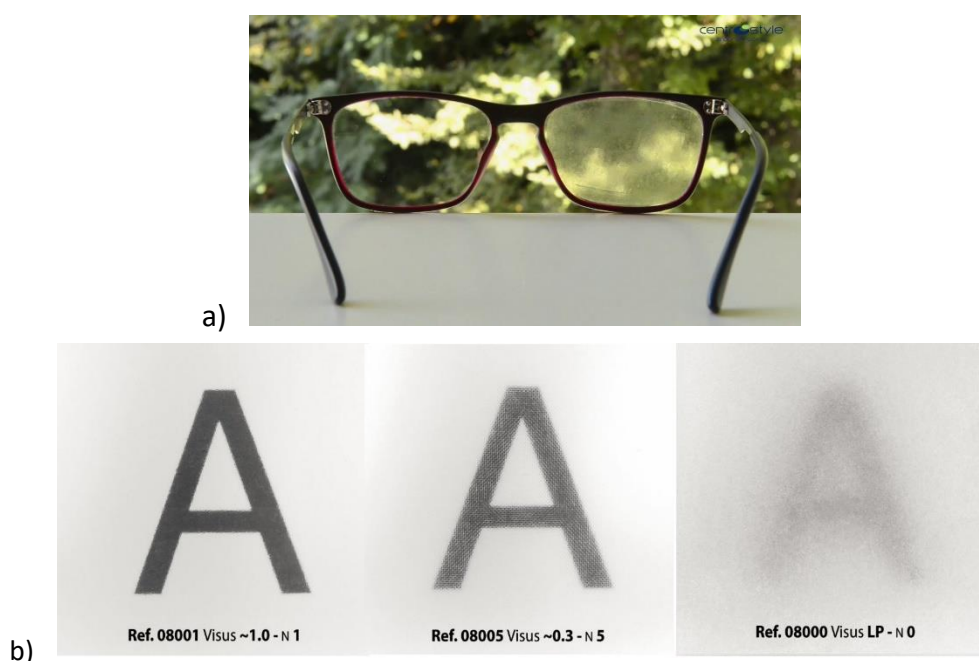
Při penalizaci do dálky je vedoucí oko překorigováno o +3,0 dioptrie za současné každodenní aplikace atropinu. Použitím atropinu společně s touto hyperkorekcí je vidění vedoucího oka rozostřeno do dálky, ale umožní vidění do blízka. Plně vykorigované amblyopické oko je tak zvýhodněno do dálky [10].

Principem totální penalizace je zhoršení vizuální ostrosti vedoucího oka na všechny vzdálenosti. Do vedoucího oka se aplikuje atropin jednou denně a současně je vedoucí oko podkorigováno o -4,0 dioptrie. Amblyopické oko je plně korigováno. Cílem této metody je zvýšení vizuální ostrosti do dálky [10].

3.2.5 Zamlžení

Alternativou k okluzní terapii a penalizaci je metoda tzv. zamlžování. Jedná se o parciální okluzi. Použitím této okluze je dosaženo snížení zrakové ostrosti vedoucího oka v celém zorném poli a není vyřazena binokulární spolupráce ani blokována fúze. Zamlžení oka se provádí pomocí Bangerterových filtrů.

Bangerterovy filtry jsou průhledné vinylové fólie, které působí jako difúzory rozostřující zrakový vjem vedoucího oka. Při rozostření dochází ke snížení kontrastu a vysokých prostorových frekvencí. Jsou vyráběny v setu, který obsahuje filtry s různou difuzibilitou od nejnižší po difuzibilitu nejvyšší. Difuzibilita určuje míru rozostření. Jednotlivé filtry jsou označovány podle zrakové ostrosti, které je po jejich aplikaci na zdravé oko dosaženo (tj. 1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; <0,1; LP (Light Perception) a 0,0). To znamená, že při předsazení filtru s označením 1,0 se zraková ostrost zdravého oka nemění a zůstává na hodnotě VA 1,0. Při předsazení filtru s označením 0,4 na zdravé oko se zraková ostrost sníží na hodnotu VA 0,4. Při použití filtru s označením 0,0 nastává úplná okluze.



Obrázek 10: Bangerterovy filtry: a) Filtr aplikovaný na brýlové sklo; b) Zraková ostrost při použití Bangerterových filtrů s difuzibilitou 1,0; 0,3 a 0,0, volně podle [55]

Pérezova studie Bangerterových filtrů, která zkoumala degradaci obrazů v souvislosti s jejich číselnou hodnotou zjistila, že degradace obrazu vytvořená těmito filtry neodpovídá číselnému označení deklarovaného výrobcem [56]. Zatím však nebyla další studie, která by se zabývala přesnější analýzou struktury těchto filtrů.

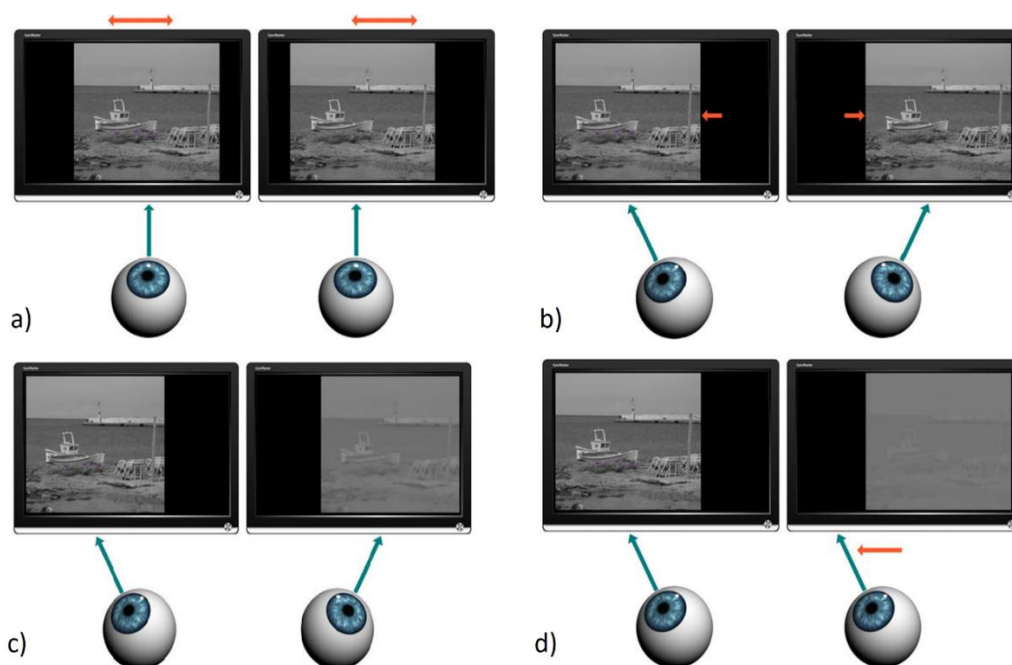
Budoucnost Bangerterových filtrů by mohla být při pleoptickém cvičení na haploskopické soustavě, ve které by byly filtry uměle vytvořené. Haploskopická soustava umožňuje předkládat obrazy zvlášť pro pravé a zvlášť pro levé oko. Software haploskopické soustavy umožňuje flexibilní manipulaci s obrazy jednotlivých monitorů. Je tedy možné simulovat

degradaci obrazu pro vedoucí oko na základě souběžné redukce vysokých prostorových frekvencí a kontrastu, nebo snižovat izolovaně pouze kontrast či pouze vysoké prostorové frekvence. To by umožnilo vytvořit různé typy degradace obrazových informací vstupujících do zrakového systému zdravého oka a díky cvičení na této soustavě i upevnit oslabená binokulární spojení [57].

Studie – Vliv různých typů degradace obrazu na stabilitu fúze

V naší nedávné studii jsme zkoumali vliv uměle vytvořeného rozdílu rozostření na stabilitu fúze při vynucené vergenční zátěži. Studie se zúčastnilo celkem 60 zdravých mladých dospělých subjektů (věkový průměr 21 let), u kterých byla hodnocena stabilita fúze při dichoptické prezentaci statických černobílých obrazů. U těchto subjektů byl simulován patologický stav (nekorigovaná refrakční vada), který byl navozený umělým rozostřením obrazu pro nedominantní oko. Degradace obrazů byly vytvořeny třemi způsoby.

- Degradace typu A (přirozený typ degradace – snížení kontrastu a vysokých prostorových frekvencí);
- degradace typu B („izolovaná“ degradace kontrastu);
- degradace typu C („izolovaná“ degradace rozhraní).



Obrázek 11: Detekce nástupu suprese při dichoptickém zobrazování: a) standardní postavení očí; b) vynucený vergenční stav vytvořený pohybem obrazů; c) degradace obrazu nedominantního oka; d) nástup suprese – oko se vrací z vynucené polohy do normálního postavení [33]

Experimentálním subjektům byl navozen vergenční stav (konvergence a divergence) pohybem obrazů na monitorech, a poté byl postupně degradován obraz pro nedominantní oko. Ve chvíli, kdy míra degradace obrazu překročila práh pro IOBS, byl dokumentován pohyb tohoto oka z vynuceného vergenčního postavení do normálního nevynuceného postavení. Tento pohyb oka určil moment, kdy došlo k přerušení fúze a degradovaný obraz byl maskován kvalitnějším obrazem druhého oka.

Výsledky tohoto experimentu dokládají, že nejnižší práh pro mechanismus IOBS, a tedy i nejrychlejší supresi způsobuje degradace izolovaně redukující rozhraní, tedy vysoké prostorové frekvence (degradace typu C). Nejvyšší práh pro mechanismus IOBS byl doložen u degradace typu B, ve které byl izolovaně redukován kontrast. Degradace fyziologická (degradace typu A), ve které byl souběžně snižován kontrast i vysoké prostorové frekvence stála mezi degradací typu B a C.

Výsledky nasvědčují tomu, že hlavním vodítkem pro binokulární fúzi jsou vysoké prostorové frekvence. Při jejich redukci v obrazu (degradace typu C) došlo k pohotovějšímu nástupu dichoptické suprese. Tento poznatek může být využit pro cílené vytváření zrakových podnětů pro antispresní léčbu.

3.2.6 Studie skupiny PEDIG

Roku 1997 byla založena klinická síť dětských oftalmologů známá pod zkratkou PEDIG (Pediatric Eye Disease Investigator Group) zabývající se klinickými výzkumy souvisejícími s dětskými očními chorobami. Doposud se většina studií skupiny PEDIG zaměřovala na vyhodnocení a srovnávání účinností různých typů léčby tupozrakosti u dětí a dospívajících pacientů. Tyto studie jsou známy jako studie léčby tupozrakosti (ATS). Výsledky studií PEDIG patří v dnešní době mezi nejaktuálnější doporučení pro oftalmology a ortoptisty při stanovení délky trvání léčby a režimu okluzní terapie [58, 59].

Porovnání časových režimů okluzní terapie

V této studii skupiny PEDIG se zúčastnilo celkem 877 dětí od tří do sedmi let věku. Pacienti byli rozděleni do dvou skupin podle zrakové ostrosti tupozrakého oka. První skupina obsahovala celkem 288 dětí s těžkou amblyopií. Do druhé skupiny bylo zařazeno 589 dětí se středně těžkou amblyopií. U skupiny dětí s těžkou amblyopií bylo zjištěno, že okludování po dobu 6 hodin denně přináší přibližně stejné výsledky, jako celodenní okluze. U druhé skupiny, tedy

dětí se středně těžkou amblyopií, byla porovnávána efektivita dvouhodinové a šestihodinové okluze. Bylo zjištěno, že okluze po dobu 2 hodin denně má přibližně stejnou efektivitu, jako okludování po dobu 6 hodin [60].

Recidiva amblyopie po ukončení léčby

Do této studie bylo zařazeno celkem 156 pacientů do 8 let věku s úspěšně léčenou anizometropickou nebo strabickou amblyopií, kteří podstoupili kontinuální léčbu po dobu tří měsíců. V době léčby byla okluze aplikována každý den po dobu 2 hodin (případně 1 kapka atropinu za týden). Dalším kritériem pro zařazení do studie bylo zlepšení vizuální ostrosti během léčby alespoň o 3 úrovně logMAR. Po skončení léčby byli pacienti sledováni po dobu 52 týdnů a poté došlo k vyhodnocení recidivy amblyopie, která byla definována jako snížení zrakové ostrosti o 2 a více úrovní logMAR. Touto studií bylo zjištěno, že u přibližně čtvrtiny úspěšně vyléčených dětí dochází po ukončení léčby k recidivě (25 % dětí po ukončení okluzní léčby a 21 % dětí po ukončení podávání atropinu). Výsledky pacientů se šesti až osmihodinovou okluzí naznačují, že je riziko recidivy větší (42 %), než v případě postupného snižování denní dávky okluze. V případě postupného snižování doby okludování až na 2 hodiny denně před ukončením léčby se riziko recidivy snížilo na 14 % [61].

Odezva na okluzní terapii starších dětí

Této studii se zúčastnilo celkem 507 pacientů ve věku od 7 do 17 let. Cílem bylo stanovení efektivity léčby amblyopie u věkově starších dětí a stanovení míry recidivy po ukončení léčby. Pacienti byli rozděleni do dvou skupin. První skupina byla kontrolní. V kontrolní skupině byla pacientům nasazena správná brýlová korekce. U druhé skupiny bylo kromě správné korekce ještě penalizováno vedoucí oko okluzí nebo atropinizací, a zároveň u nich bylo předepsáno pleoptické cvičení. U skupiny dětí ve věku 7 až 13 let byla kladná odezva na léčbu celkem u 53 % pacientů s okluzí či atropinizací vedoucího oka. U kontrolní skupiny s brýlovou korekcí byla kladná odezva u 25 % pacientů.

U starších pacientů (13 až 17 let) bylo dosaženo kladných výsledků u 25 % v testované skupině s penalizací tupozrakého oka v porovnání s 23 % pacientů z kontrolní skupiny. Lepších výsledků dosáhli pacienti, kteří nebyli s amblyopií dříve léčeni. U dříve léčených pacientů byla tato léčba úspěšná méně.

Rok po skončení léčby byla znovu vyhodnocena zraková ostrost. Zhoršení o 2 optotypové řádky se projevilo u 7 % léčených pacientů. U celkem 82 % pacientů byla zraková ostrost zachována.

Zlepšení zrakové ostrosti, ke kterému dochází během léčby amblyopie, přetrvává u většiny dětí ve věku 7 až 12 let po dobu nejméně jednoho roku po ukončení léčby okluzí nebo atropinizací. Údaje podporují léčbu amblyopie u dětí ve věku 7 až 12 let. U této skupiny se prokázalo, že zlepšení zrakové ostrosti lze udržet i po přerušení léčby.

Tupozrakost se zlepšuje se samotnou brýlovou korekcí asi u jedné čtvrtiny pacientů ve věku od 7 do 17 let, ačkoli většina pacientů, kteří jsou zpočátku léčeni pouze brýlovou korekcí, bude vyžadovat další léčbu tupozrakosti. U pacientů ve věku 7 až 12 let může předepsání okluze na 2 až 6 hodin denně spolu s pleoptickým cvičením zlepšit zrakovou ostrost, i když byla amblyopie již dříve léčena. U pacientů ve věku 13 až 17 let může předepsání okluze na 2 až 6 hodin denně spolu s pleoptickým cvičením zlepšit zrakovou ostrost, pokud amblyopie nebyla léčena již dříve [62].

Porovnání Bangerterových filtrů a klasické okluzní terapie

Studie se zúčastnilo celkem 186 dětí ve věku od 3 do 10 let se střední amblyopií. Pacienti byli náhodně rozděleni do dvou skupin. Pacientům z první skupiny byla předepsána úplná okluze vedoucího oka na 2 hodiny denně. Oproti tomu pacientům z druhé skupiny byl na brýlové sklo vedoucího oka aplikován Bangerterův filtr s celodenním režimem nošení. Cílem této studie bylo porovnat efektivitu těchto dvou metod a stanovit výslednou ostrost tupozrakého oka po půl roce léčby. Ve skupině s plnou okluzí bylo zlepšení na tupozrakém oku průměrně o 2,3 řádků oproti skupině s Bangerterovými filtry, kde bylo průměrné zlepšení 1,9 řádků. Léčba plnou okluzí tedy dosáhla lepších výsledků. Nicméně Bangerterovy fólie podporují spolupráci očí mezi sebou a jsou psychicky méně zatěžující pro pacienta. Bangerterovy filtry jsou vhodnou volbou pro počáteční léčbu střední amblyopie [63].

3.3 Pleoptické cvičení

Pleoptické cvičení doplňuje okluzní a penalizační léčbu amblyopie. Cvičení můžeme dělit na aktivní a pasivní. Při aktivním cvičení vykonává pacient různé úkoly na blízkou vzdálenost. Některá tato cvičení lze provádět i doma pod dohledem rodičů. Při pasivním cvičení se

provádějí úkoly na různých přístrojích přímo v ortopticko-pleoptické ordinaci pod dohledem ortoptistů.

3.3.1 Aktivní pleoptická léčba

Při aktivním cvičení provádí tupozraké oko různé druhy úkolů na blízkou vzdálenost, a kromě zraku jsou využívány i další smysly, jako hmat, sluch nebo paměť. Vizuální signál je zesílen právě v případě, že informace o lokalizaci předmětu v prostoru odpovídá signálu zprostředkovaným jiným smyslem. Využívá se koordinace oko-ruka, oko-noha nebo oko-paměť. Cvičení probíhá s plnou brýlovou korekcí a okluzorem na vedoucím oku. Tento druh cvičení se využívá u dětí s centrální a excentrickou fixací. U pacientů s excentrickou fixací je však potřeba pravidelně kontrolovat zrakovou ostrost a stav fixace, aby nedošlo k ustálení fixace excentrické. V případě ustálení excentrické fixace je nutné léčbu přerušit a nasadit inverzní okluzi [10, 11].

Aktivity by měly být pestré a zábavné, aby udržely pozornost dítěte po celou dobu cvičení. Aby byla léčba efektivní, je nutné dítě správně motivovat a přizpůsobit úkoly jeho věku a dovednostem. Náročnost jednotlivých cvičení by měla být postupně zvyšována. Mezi základní hmatově zrakové hry patří puzzle, navlékání korálků a další. Mezi hry „oko-ruka“ můžeme zařadit například obkreslování. Pexeso nebo různé početní úlohy můžeme zahrnout mezi aktivity na principu „oko-paměť“. K aktivní pleoptice se také používají speciální přístroje, na kterých pacient cvičí v ortopticko-pleoptické cvičebně pod dohledem ortoptisty. Takovými přístroji jsou například lokalizátor nebo korektor [10, 11].

Lokalizátor se využívá k upevnění foveolární fixace. Je to přístroj s malými otvory na desce, které lze rozsvěcovat. Úkolem pacienta je postupně zakrývat prstem ruky světelné otvory, které ortoptista postupně rozsvěcuje. Velikost otvorů se postupně zmenšuje. Pacient se tak pomocí hmatu učí správně fixovat a lokalizovat [10, 11].

Korektor je zařízení s kovovými deskami, do kterých jsou vyryté obrázky, které má pacient za úkol obkreslit kovovou tužkou. Pokud přetáhne, ozve se zvukový a světelný signál, který hlásí chybu. Nejdříve se obkresluje obrázky se silnými obrysy, poté se zařazují komplikovanější obrázky s tenčími obrysy [10, 11].

Existuje i několik počítačových programů využívaných v pleoptické praxi, které umožňují aktivně cvičit tupozraké oko pomocí zábavných her. Jedním z nich je program pana Ing. Petra

Nováka (Český Institut Informatiky, Robotiky a Kybernetiky, ČVUT v Praze, Praha, Česká republika), který byl využit pro naše experimenty, které se zabývají aktivním pleoptickým tréninkem [64, 65].

3.3.2 Pasivní pleoptická léčba

Pasivní pleoptické cvičení se provádí v prostorách ortopticko-pleoptické ordinace na speciálních přístrojích. Cvičení je indikované především u dětí s excentrickou fixací, u kterých po aktivním pleoptickém cvičení nedošlo ke zlepšení. Nejčastěji se využívá metoda CAM (Campbellův zrakový stimulátor) nebo léčba pomocí prizmat [10].

Tato disertační práce se nezabývá tímto typem cvičení, proto jednotlivé metody nejsou blíže specifikovány.

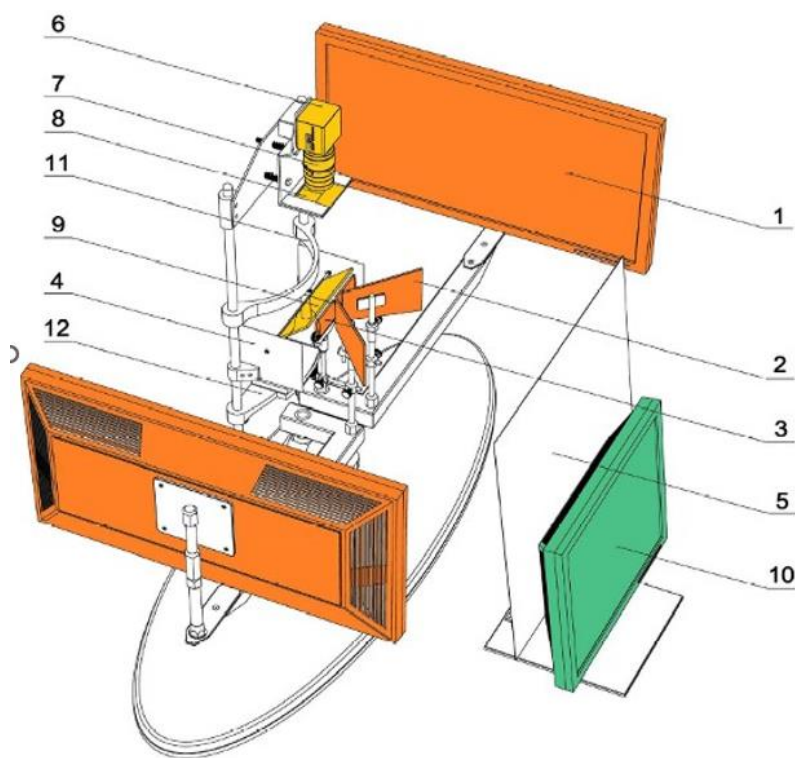
3.4 Dichoptické zobrazovací systémy pro aplikaci ortopticko-pleoptických cvičení

Binokulární vidění je založeno na binokulární fúzi: „zatímco na dvou sítnicích jsou dva fyzické obrazy, ve vizuálním vědomí je pouze jeden virtuální obraz, který vznikl spojením neurálně kódovaných informací z pravého a levého oka“ [66]. Binokulární vjem závisí na fyziologické rovnováze mezi signály vysílaných z pravého a levého oka. Tato rovnováha je často narušena různými patologiemi, jako je strabismus či amblyopie. Binokulární vidění je pak patologicky modifikováno fyziologickými supresními mechanismy. V zásadě jsou supresní mechanismy děleny na dva typy. Prvním z nich je binokulární rivalita. Binokulární rivalita je vizuální jev, jehož aktivaci způsobují rozdílné podněty, které jsou předloženy korespondujícím místům sítnice [67, 68]. Druhým typem je suprese rozdílů rozostření [30, 13]. Aktivaci tohoto jevu způsobují rozdílné kontrasty jinak shodných monokulárních podnětů. Monokulární podnět s menším kontrastem je potlačen druhostranným podnětem s kontrastem vyšším [69].

Níže je porovnání zobrazovacích systémů, které mají potenciál pro využití v ortopticko-pleoptických cvičeních, pro která je zásadní řízené oddělení (stimulační disociace) vizuálního podnětu pro pravé a levé oko. Práce se zabývá studiem supresních mechanismů, především fyziologickým procesem suprese rozdílů rozostření. Pro tento výzkum byl sestaven zrcadlový PC-haploskop a počítačový přístroj na bázi disociace polopropustným zrcadlem. Dále je možné využití systému virtuální reality (např. Vivid Vision System) a jiné.

3.4.1 Zrcadlový PC-haploskop

Disociace v přístrojovém prostoru je vytvářena pomocí zrcadel. Pro pravé a levé oko jsou použity širokoúhlé monitory, které jsou kvůli jejich omezené velikosti předkládány ve virtuálním (opticky vytvořeném) nekonečnu. Díky tomu je možné dosáhnout dostatečně velké úhlové velikosti obrazových podnětů a umožnit tak stimulaci nejen v oblasti centrální sítnice, ale i v oblasti sítnice periferní. Zrcadlový PC-haploskop je složen ze dvou částí – stimulační a záznamové. Stimulační část slouží k ovládnutí pacientovy akomodace avergence a úkolem záznamové části je pacientovu akomodaci a vergenci dokumentovat pro následnou analýzu [30, 69]. Jelikož je každému oku určen vlastní monitor, je možné rozostřit obraz pro dominantní oko nebo jinak obrazy upravovat.



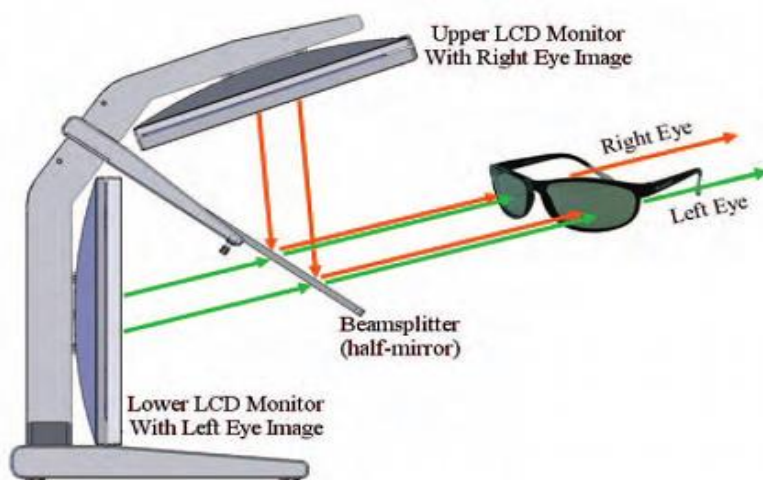
Obrázek 12: PC-haploskop. (1) stimulační monitor, (2) zrcadlo, (3) spojka, (4) stínítko, (5) stínítko, (6) kamera, (7) objektiv, (8) excentrická fotorefrakční předsádka, (9) dichroické zrcadlo, (10) monitor, (11) opěrka čela, (12) opěrka brady. (vlastní schéma)

Díky speciálnímu designu dokáže PC-haploskop ovládat pacientovu akomodaci a vergenci a zároveň vyšetření dokumentovat. PC haploskop byl vytvořen pracovníky z FBMI ČVUT a z Centra dětské oftalmologie BINOCULAR s.r.o. v Litomyšli a je chráněn užitným vzorem [70].

Bohužel je tento design cenově velice nákladný. Robustní konstrukce vyžaduje pevné umístění, a u tohoto specializovaného zařízení je potřeba opticky velmi přesného nastavení. Při vyšetření na PC-haploskopu lze částečně provádět reálnou činnost, jako je čtení, psaní, sledování filmů, ale kvůli přesnému umístění hlavy v opěrkách jsou prováděny pouze předem připravené aktivity.

3.4.2 Disociace obrazů polopropustným zrcadlem

Další možností je použití dvou monitorů a polopropustného zrcadla. Každý ze dvou monitorů vytváří obraz určený pro jedno cílové oko. Úkolem polopropustného zrcadla je propouštět obraz monitoru umístěného za zrcadlem a současně jej v jednom směru polarizovat a zároveň odrážet obraz monitoru umístěného nad zrcadlem, a současně jej polarizovat ve druhém směru pro druhé oko. Za použití vhodných polarizačních brýlí se tedy obraz příslušného monitoru dostane do příslušného cílového oka.

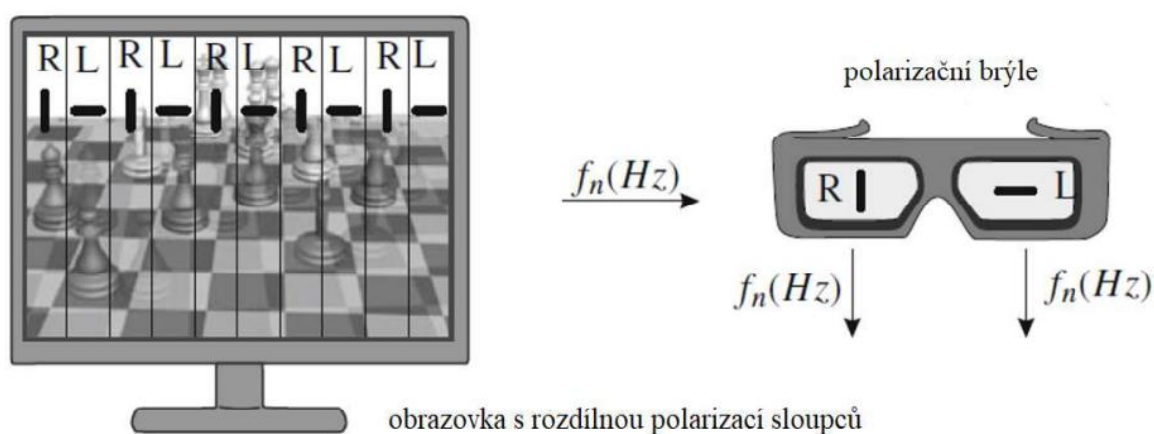


Obrázek 13: Schéma disociace polopropustným zrcadlem [22]

Tento design je středně cenově nákladný, takže je vhodný i pro domácí použití. Vyžaduje minimum mechanického vybavení. Monitory by měly být stejné, abychom co nejvíce eliminovali nestejnost jejich obrazů (jas a barvy). Tento systém je velmi vhodný pro jakoukoli aktivitu spojenou s použitím počítače jako je čtení, psaní i prohlížení internetu.

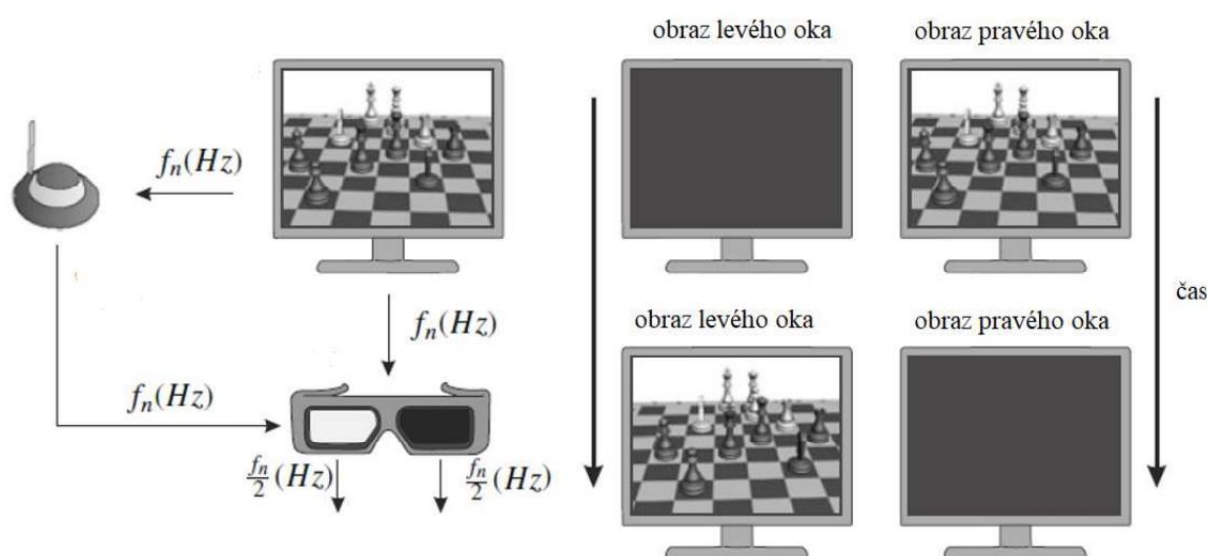
3.4.3 Polarizační disociace

Způsob rozdělení/zobrazení obrazu pro každé oko zvlášť lze v podstatě uskutečnit dvěma možnostmi. První možností je použití 3D televize. Ta je schopna za použití speciálních brýlí disociovat zobrazovanou scénu pro pravé a levé oko. Toto je možné docílit dvěma způsoby. Tzv. pasivní 3D přiřadí jednomu oku pouze liché řádky a druhému oku pouze sudé televizní řádky (Obrázek 14).



Obrázek 14: Rozdělení vjemu pro pravé a levé oko (pasivní 3D) [71]

Nebo lze přiřadit jednomu oku celé liché snímky a pro druhé oko celé sudé snímky obrazu - tzv. aktivní 3D (Obrázek 15).

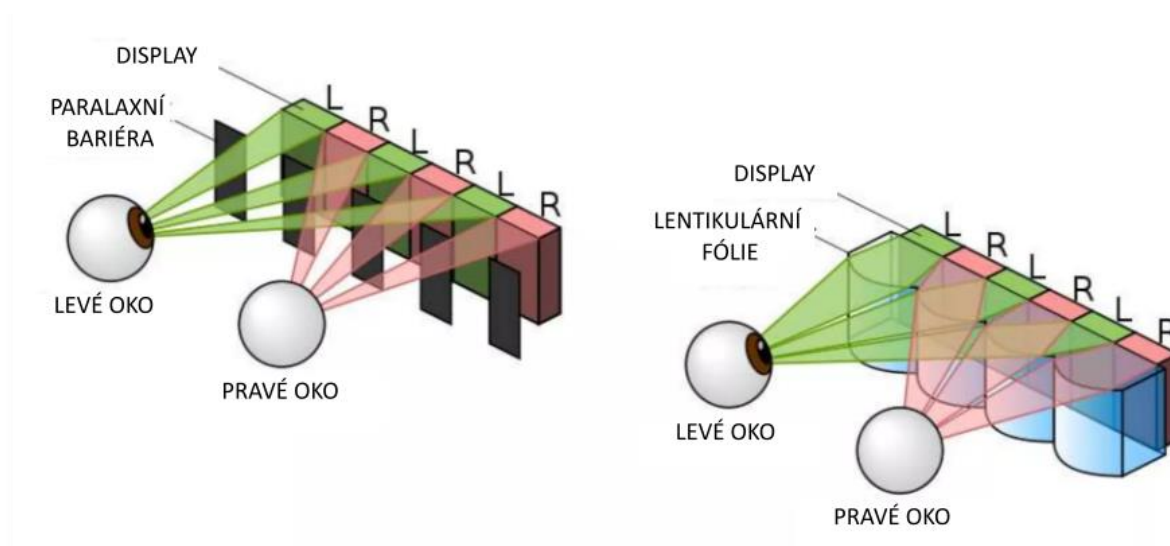


Obrázek 15: Rozdělení vjemu pro pravé a levé oko (aktivní 3D) [71]

Největší problém spočívá v sestavení obrazu zavedeného do TV v podobě signálu tak, aby jej TV reprodukovala (za pomoci polarizovaných brýlí) pro správné oko. [71].

3.4.4 Autostereoskopické displeje

Autostereoskopické displeje umožňují vytvoření prostorového vjemu bez 3D brýlí. Tato technologie pro disociaci vjemu pravého a levého oka využívá optické prvky, které jsou umístěny na přední straně displeje monitoru. Prvním takovým prvkem je lentikulární fólie. Lentikulární fólie je tvořena řadou mikročoček, které jsou svisle orientovány a odklání obraz tak, že je možné ho vidět jen pod určitým úhlem. Druhým prvkem, který se používá pro disociaci vjemu pro pravé a levé oko je parallaxní bariéra. Parallaxní bariéra dělí plochu monitoru na sloupce, které jsou jiné pro každé oko. Obraz určený pro pravé oko dopadne do pravého oka a obraz určený pro levé oko dopadne do oka levého [72].



Obrázek 16: Disociace pomocí parallaxní bariéry (vlevo) a disociace lentikulární fólií (vpravo) [73]

3.4.5 Virtuální realita – Vivid Vision System

Účelem virtuální reality je umožnit provádět smyslové, pohybové a poznávací úkony pro člověka v digitálně vytvořeném umělém světě, který může být imaginární, symbolický anebo simulací určitých prvků reálného světa [74]. Pro léčbu binokulárních poruch, především tupozrakosti, byl navržen terapeutický systém Vivid Vision. U tohoto systému je možné upravit ostrost obrazu pro dominantní oko. Pro virtuální realitu se používá speciální zařízení, které se připevní na hlavu a prezentuje obrazy přímo do očí a také do periferního vidění, tzv. Head Mounted Display (HMD). Aby byl umožněn co nejlepší možný zážitek, používá se řada

technologií. Jednou z těchto technologií jsou senzory. Mezi nejdůležitější parametry HMD zařízení, od kterých se odvíjí míra imerze, patří rozlišení, snímková frekvence, zorné pole a latence [71, 75].



Obrázek 17: Vivid Vision System: rozostření obrazu pro vedoucí oko (vlastní obrázek)

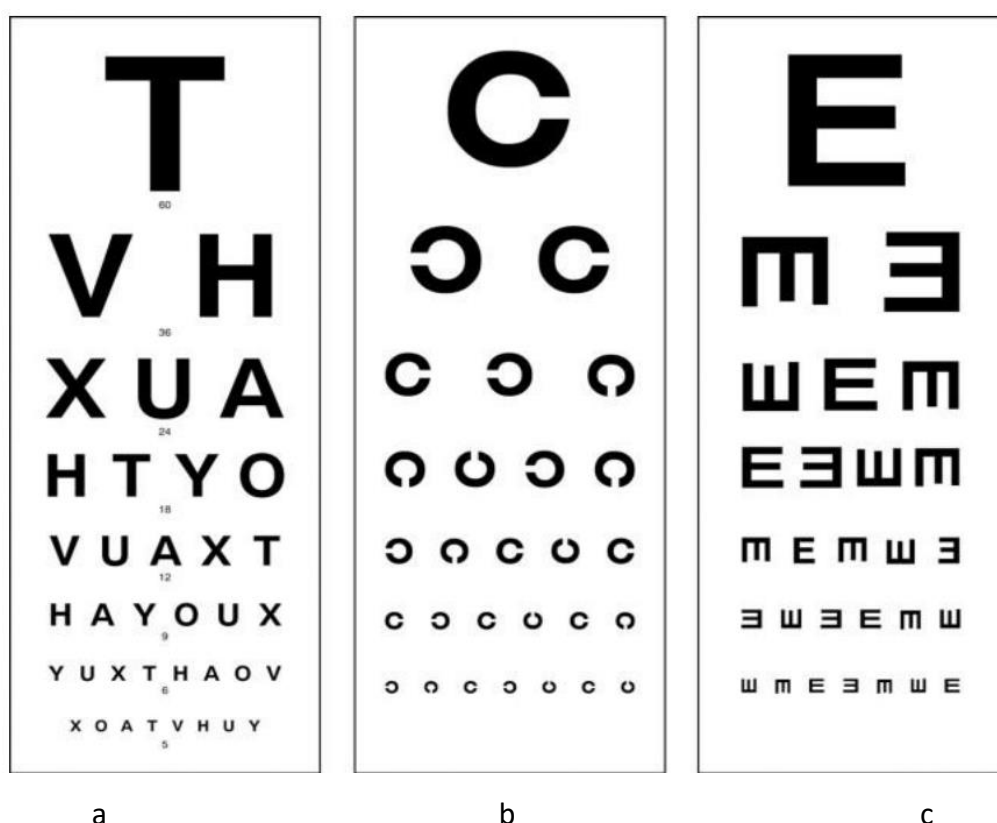
Hardware pro virtuální realitu je cenově velmi dosažitelný. Nynější verze Vivid Vision je dostupná i pro domácí použití, ale stále musí být pacient pod dohledem odborníků. Brýle HMD znemožňují sledovat pacientovi oči, což je nevýhoda oproti předešlým systémům. Software Vivid Vision pro ortopticko-pleoptické cvičení zatím umožňuje jen několik činností v oblasti zábavných her.

3.5 Současné metody pro měření zrakové ostrosti

Zraková ostrost neboli vízus je měřítkem schopnosti oka rozlišovat tvary a detaily objektů v dané vzdálenosti. Zrakovou ostrost je důležité hodnotit konzistentním způsobem, aby byla možná detekce změn vidění. Testuje se vždy monokulárně (jedním okem) či binokulárně (oběma očima současně) [76].

Hodnota vízu je závislá nejen na fyziologii zrakového aparátu (tj. stav sítnice, hustota a velikost fotoreceptorů, stav zrakové dráhy atd.), ale také na optických podmínkách jako je například jas předmětu nebo kontrast pozadí [77, 78].

Měření zrakové ostrosti poskytuje pouze omezené množství informací získaných za umělých podmínek. V klinické praxi se využívají různé druhy optotypů, nejčastěji písmenkové optotypy, tzv. Snellenovy, případně Pflügerovy háky nebo Landoltovy kruhy (Obrázek 18). Všechny tyto optotypy jsou používány k vyšetření centrální zrakové ostrosti, která zachycuje pouze práh vidění vysokých prostorových frekvencí při maximálním luminančním kontrastu [79].



Obrázek 18: Optotypové tabule: a) Snellenovy optotypy, b) Landoltovy kruhy, c) Pflügerovy háky [80]

Standardní vyšetřovací vzdálenost pro měření zrakové ostrosti je 6 metrů (20 stop). Zraková ostrost je často zapisována zlomkem, ve kterém číselník vyjadřuje vyšetřovací vzdálenost a jmenovatel vyjadřuje vzdálenost, ze které by zdravé oko mělo tuto velikost znaků zaznamenat. U zdravého oka je tedy zraková ostrost 6/6 nebo lepší. Tuto hodnotu můžeme také vyjádřit desetinným číslem, tedy vize 6/6 odpovídá vizi 1,0. Další možností je použití dekadického logaritmu minimálního úhlu rozlišení, tedy logMAR (Logarithm of the Minimum Angle of Resolution), který udává převrácenou hodnotu vize [81].

<i>Zlomkový</i>	<i>Desetinný</i>	<i>LogMAR</i>
6/60	0,10	1,00
6/48	0,125	0,90
6/38	0,16	0,80
6/30	0,20	0,70
6/24	0,25	0,60
6/19	0,32	0,50
6/15	0,40	0,40
6/12	0,50	0,30
6/9,5	0,63	0,20
6/7,5	0,80	0,10
6/6	1,00	0,00
6/4,8	1,25	-0,10
6/3,8	1,6	-0,20

Obrázek 19: Možnosti zápisu zrakové ostrosti pro vyšetřovací vzdálenost 6 metrů (vlastní obrázek)

3.6 Současné metody pro měření kontrastní citlivosti

Testování kontrastní citlivosti udává rozsah vizuálního výkonu v reálných podmínkách. Měří nejmenší množství kontrastu potřebného k detekci vizuálního podnětu a umožňuje kvantifikovat sníženou kvalitu vidění i v případě normálních hodnot centrální zrakové ostrosti a citlivěji monitorovat kvalitu vidění [79].

V klinické praxi se pro měření kontrastní citlivosti využívají písmenkové testy a testy na principu sinusoidálních pruhů (sinusové mřížky).

Písmenkové testy používají Weberův vzorec pro výpočet kontrastu. Zde platí:

$$K = \frac{L_p - L_o}{L_p}$$

kde L_p je jas pozadí

L_o je jas písma

U těchto testů se využívá postupného snižování kontrastu znaků (písmen) od nejkontrastnějších po nejméně kontrastní, blížících se 0 % rozdílu mezi jasem pozadí a jasem písmen. Úkolem pacienta je rozeznat co nejvíce jednotlivých písmen. Mezi nejpoužívanější testy tohoto typu patří Pelli-Robson Contrast Sensitivity Test (Haag-Streit, Mason, OH, USA) (Obrázek 20) nebo Reganovy tabule (The National Vision Research Institute, Australia) [82, 83, 84].



Obrázek 20: Pelli-Robson Contrast Sensitivity Test [84]

Pro měření kontrastní citlivosti v širokém rozsahu prostorových frekvencí a luminančních kontrastů se v klinické praxi využívají kontrastní sinusoidální pruhy.

Testy založené na principu detekce kontrastních sinusoidálních pruhů využívají tzv. Michelsonův kontrast. Zde platí:

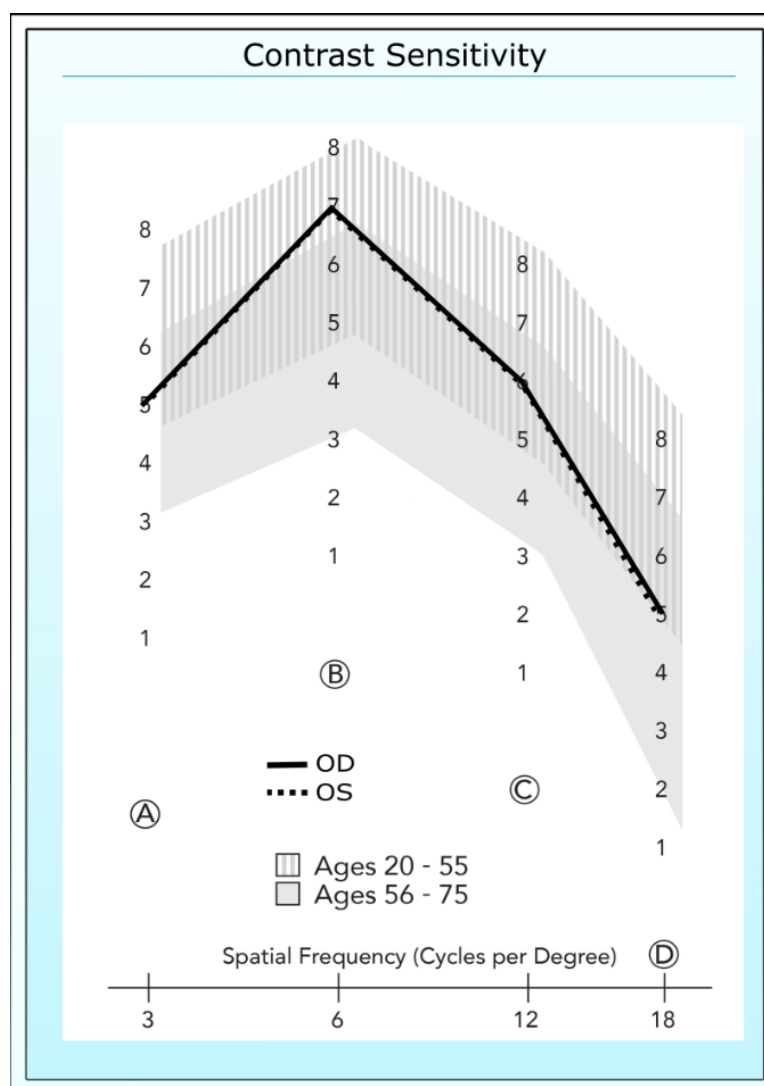
$$K = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

kde L_{max} je maximální kontrast

L_{min} je minimální kontrast

Bylo potvrzeno, že tento typ testů vykazuje vyšší přesnost a citlivost oproti písmenkovým testům, u kterých je výrazně omezen rozsah prostorových frekvencí. Sinusovou mřížku pro měření kontrastní citlivosti jako první použili v roce 1968 Campbell a Green. Závěrem jejich výzkumu bylo zjištění, že kontrastní citlivost je komplexní a diskrétní funkcí sítnice [85]. Prvním typem kontrastního testu na bázi sinusoidálních pruhů uvedeného do praxe byly Ginsburgovy tabule, které se začaly používat od roku 1984. Tyto tabule používají pět prostorových frekvencí (1,5; 3; 6; 12; 18 c/deg) aplikovaných do 45 terčů v pěti řadách (každá řada znázorňuje jednu z prostorových frekvencí). Každá řada obsahuje 9 terčů, ve kterých dochází k nepravidelnému snižování kontrastu.

Cílem pacienta je určit terče s viditelnými pruhy nebo směr orientace pruhů (šikmo doprava, šikmo doleva, vertikálně). Vyšetření se provádí monokulárně a výsledky jsou zaznamenávány do vyšetřovacího archu, ve kterém jsou pro porovnání graficky znázorněny normy (Obrázek 21). Tento test dosud slouží jako předloha k řadě dalších novějších kontrastních optotypů.



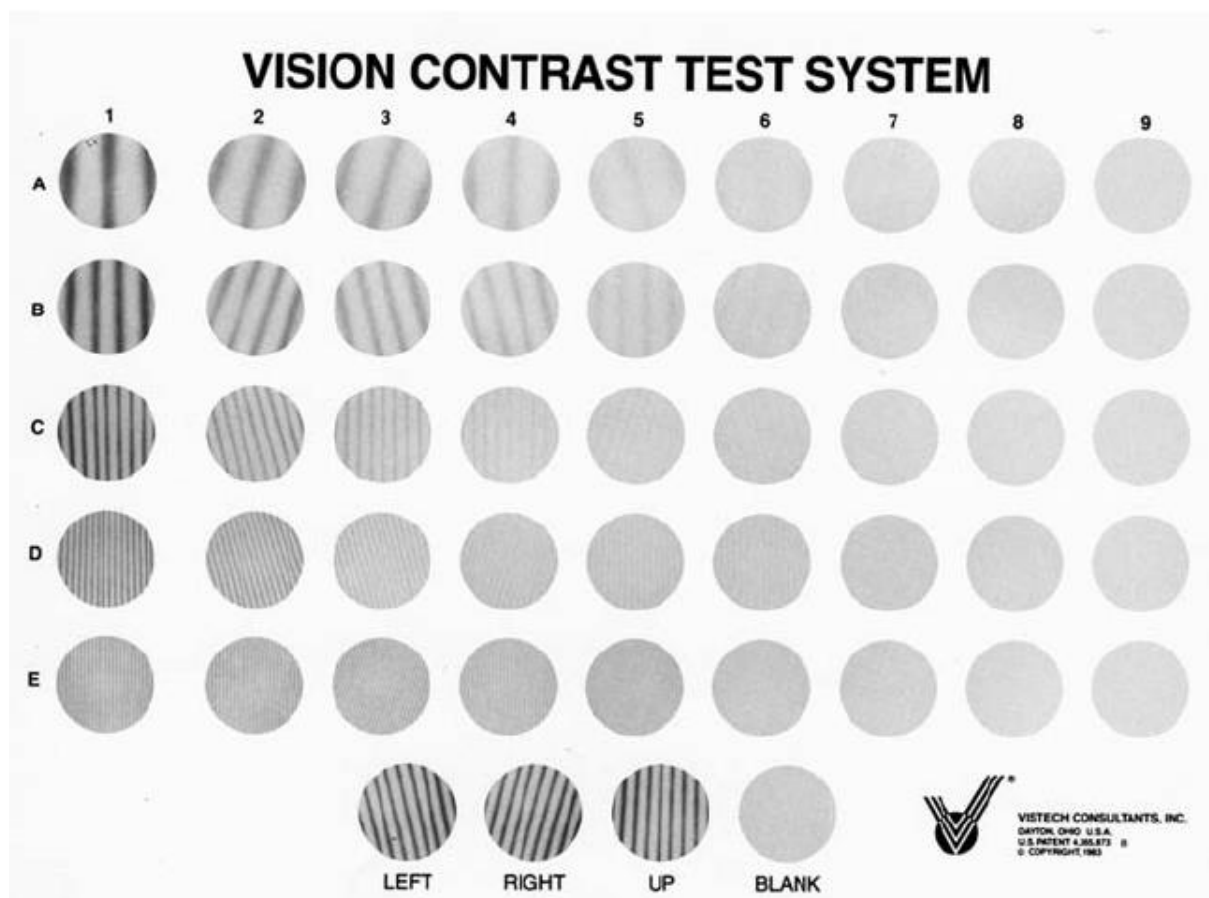
Obrázek 21: Vyšetřovací arch [86]

Mezi nejpoužívanější testy využívané v klinické praxi patří Vision Contrast Test System (VCTS 6500 nebo VCTS 6000), Functional Acuity Contrast Testy (FACT) a CSV-1000 testy [87, 88].

Vision Contrast Test System (Vistech, Dayton, OH, USA)

Tento test je modifikací Ginsburgovy tabule, podobně jako například test FACT. Pro měření kontrastní citlivosti se využívá pěti prostorových frekvencí (1,5; 3; 6; 12; 18 c/deg). Testovací tabule se skládají z 9 sloupečků, kde každý z nich obsahuje černobílé terče s nepravidelným (nelineárním) poklesem kontrastu. Rozdíl mezi kontrastem každého následujícího terče činí v průměru 0,25 logaritmických jednotek. Pruhy mají 3 různé orientace – pruhy svislé, šikmé v úhlu 15 stupňů doprava a šikmé v úhlu 15 stupňů doleva. Cílem pacienta je správně určit orientaci pruhů. Kontrastní citlivost udává poslední terč v každé prostorové frekvenci, který je

pacient ještě schopen rozeznat. Test je konstruován pro měření do dálky pro čtecí vzdálenost 3 metry (VCTS 6500) či do blízka, který je určen pro čtení ze 40 centimetrů (VCTS 6000) [89, 90].



Obrázek 22: Vision Contrast Test System [84]

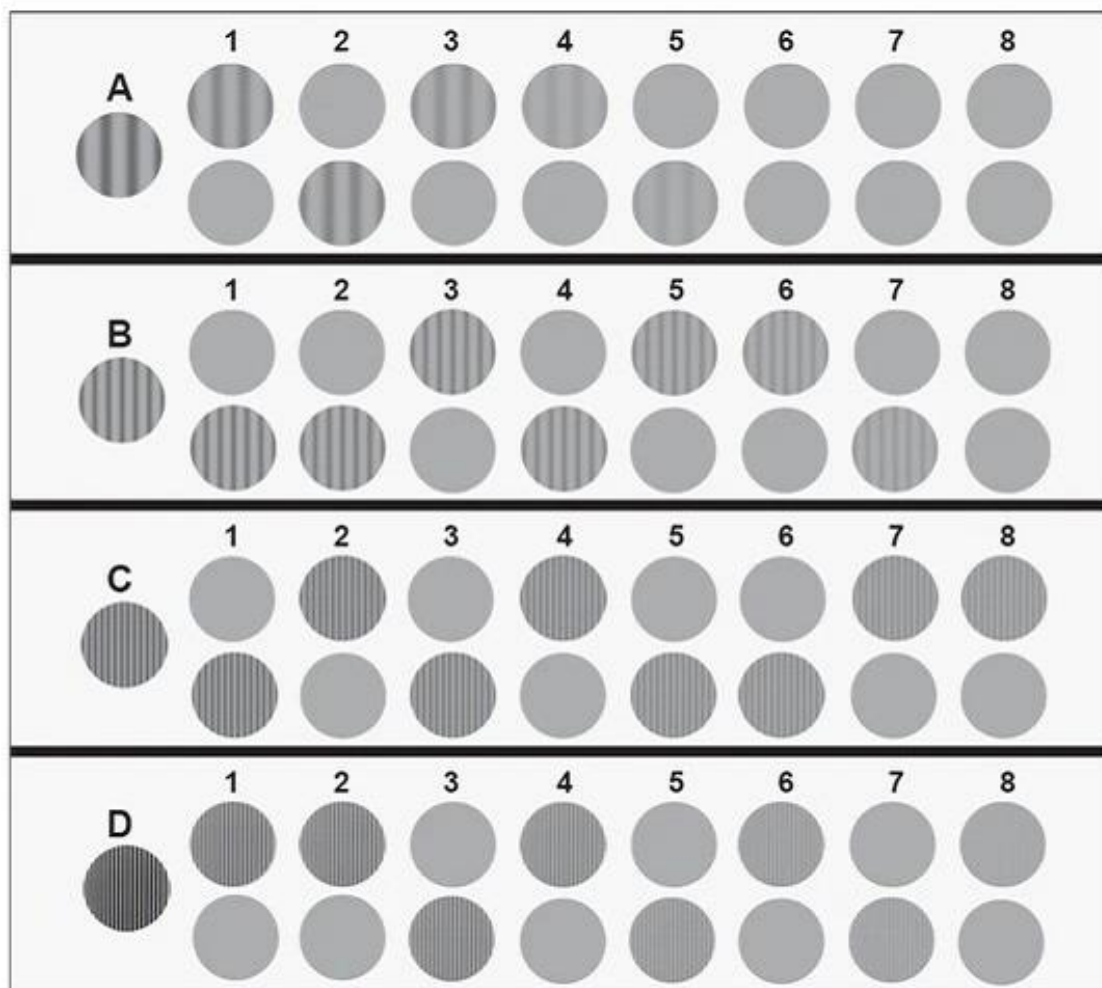
FACT – Functional Acuity Contrast Testy (Vision Science Research Corporation, Walnut Creek, California)

Test FACT pracuje na stejném principu jako test VCTS 6500. Rozdílem je pouze nižší hodnota snižování kontrastu jednotlivých testovacích terčů, který činí 0,15 logaritmických jednotek. Z tohoto důvodu má tento test menší testovací rozsah oproti testovací tabuli VCTS 6500 [90].

CSV-1000E (VectorVision, Greenville OH, USA)

Testovací optotyp CSV-1000E je složen ze 4 dvouřádků složených z černobílých terčů se sinusoidálními pruhy. Každý dvouřádek je označen písmenem (A, B, C nebo D) a znázorňuje konkrétní prostorovou frekvenci (3; 6; 12 nebo 18 c/deg). Pacient má za úkol vybrat z dvojice terčů uložených nad sebou ten, ve kterém dokáže rozpoznat sinusové pruhy (druhý terč

je vždy „prázdný“). Zaznamenána je vždy poslední správná odpověď. Celkem je testováno 8 dvojic terčů pro každou prostorovou frekvenci. Doporučená vzdálenost vyšetřovaného pacienta je 2,5 metru od optotypu [86].



Obrázek 23: CSV-1000E test [86]

4 CÍLE A HYPOTÉZY

Na základě motivace popsané v úvodní části a na základě současného stavu znalostí byly stanoveny cíle disertační práce a vysloveny následující hypotézy.

Hlavním cílem této disertační práce je návrh a ověření nového testu monokulární kontrastní citlivosti za haploskopických binokulárních sledovacích podmínek, který by byl schopný citlivě kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u osob s tupozrakostí. Standardně používané optotypy (Pflüger, Snellen) nejsou k tomuto využití dostatečně vhodné. Měří pouze rozlišení prahové prostorové frekvence při maximálním kontrastu. Dále jsou tyto testy k měření centrální zrakové ostrosti používané oftalmology, optometristy a ortoptisty založeny na paradigmatu monokulárního testování. Neumožňují oddělené měření parametrů pravého a levého oka za binokulárních sledovacích podmínek, kdy se oči navzájem ovlivňují, jako za běžných vizuálních podmínek nebo při binokulárních pleoptických cvičeních (např. při použití virtuální reality).

Druhým cílem je pilotně analyzovat rozdíly v monokulární kontrastní citlivosti za haploskopických binokulárních sledovacích podmínek u anizometropické a strabické formy tupozrakosti.

Třetím cílem je návrh nové metody pleoptického cvičení podporující binokulární spolupráci zdravého a tupozrakého oka při současném zachování binokulární fúze.

Posledním cílem je měření experimentálního souboru pacientů s tupozrakostí a porovnání výsledků klasické monokulární pleoptické léčby totální okluzí a nové binokulární léčebné metody.

HYPOTÉZY:

1. Nově navržený haploskopický test kontrastní citlivosti je schopen kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u pacientů s tupozrakostí.
2. Anizometropická tupozrakost zhoršuje kontrastní citlivost významněji ve vysokých prostorových frekvencích.
3. Strabická forma tupozrakosti zhoršuje kontrastní citlivost významněji v nízkých prostorových frekvencích.

4. Výsledky testování před a bezprostředně po pleoptickém cvičení jsou rozdílné pouze pro tupozraké oko.
5. Účinnost pleoptického cvičení je závislá na věku pacienta. U mladších testovaných subjektů dochází po pleoptickém cvičení k lepším výsledkům v porovnání s výsledky naměřenými u starších testovaných subjektů.
6. Po půlhodinovém binokulárním cvičení na haploskopické soustavě lze dosáhnout zlepšení kontrastní citlivosti také u dospělých subjektů.

5 METODIKA

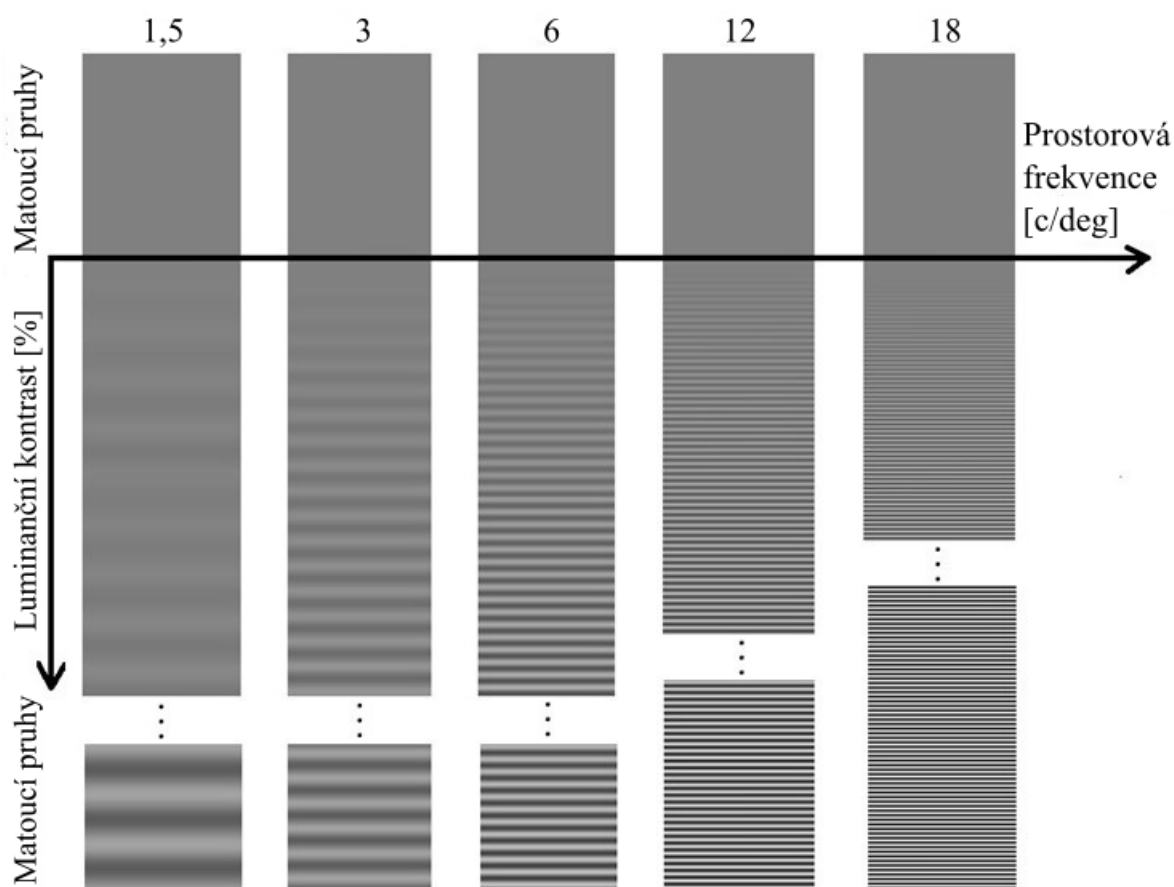
5.1 Haploskopický test kontrastní citlivosti – HTKC

5.1.1 Optotyp pro HTKC

Haploskopický test pro binokulární vyšetření kontrastní citlivosti [91] používá k měření citlivosti na kontrast vertikálně posuvné optotypové sloupce s vodorovnými sinusoidálními kontrastními pruhy v prostorových frekvencích standardně používaných u běžných testů kontrastní citlivosti (tj. 1,5; 3; 6; 12 a 18 c/deg). Kontrast sinusoidálních pruhů se na optotypovém sloupci postupně mění. Velikost dílčí změny kontrastu sousedících sinusoidálních pruhů je konstantní, změna kontrastu v průběhu celého optotypového sloupce je lineární. Základní optotypový sloupec je složen z 500 sinusoidálních pruhů a dílčí změna kontrastu sousedících sinusoidálních pruhů je 0,2 % luminančního kontrastu. Vzorkovací frekvence, tj. počet sinusoidálních pruhů optotypového sloupce, lze měnit zvýšením celkového počtu sinusoidálních pruhů s menší dílčí změnou kontrastu (např. 1000 sinusoidálních pruhů s dílčí změnou 0,1 % luminančního kontrastu mezi sousedícími pruhy).

Optotypové sloupce jsou prezentovány prostřednictvím počítačového monitoru se standardní (8bitovou) hloubkou obrazu, tj. s možností nastavení jasu v 256 úrovních. Pro optotypový sloupec byl použit celkový rozsah zobrazení 0–255 odstínů šedi. Střední hodnota jasu všech sinusoidálních pruhů odpovídá úrovni šedé 128. První sinusoidální pruh má nejmenší luminanční kontrast, tedy nulový rozdíl mezi střední hodnotou jasu a minimálním jasnem, resp. mezi střední hodnotou a maximálním jasnem. Jasové minimum a maximum prvního sinusoidálního pruhu tedy také odpovídá úrovni šedé 128. Poslední sinusoidální pruh má maximální rozdíl mezi střední hodnotou jasu a jasovým minimem, resp. maximem. Minimum odpovídá úrovni šedé 0, tj. černé, a maximum odpovídá úrovni šedé 255, tj. bílé. Nad prvním sinusoidálním pruhem s nejmenším luminančním kontrastem jsou umístěny totožné, tzv. „matoucí pruh“ s nejmenším luminančním kontrastem. Pod poslední sinusoidální pruh s maximálním luminančním kontrastem jsou také umístěny, tzv. matoucí pruh s maximálním luminančním kontrastem (Obrázek 24). Matoucí pruhy umožňují absolvovat test, aniž by byl vyšetřovaný subjekt vizuálně ovlivněn začátkem nebo koncem optotypového sloupce, který by se objevil v pozorovacím okénku (Obrázek 26). Vyšetřovaný subjekt tedy nemůže na

základě logického pochopení podstaty optotypového sloupce předjímat žádoucí (tj. nejlepší, resp. nejhorší např. při simulaci) výsledek testu.



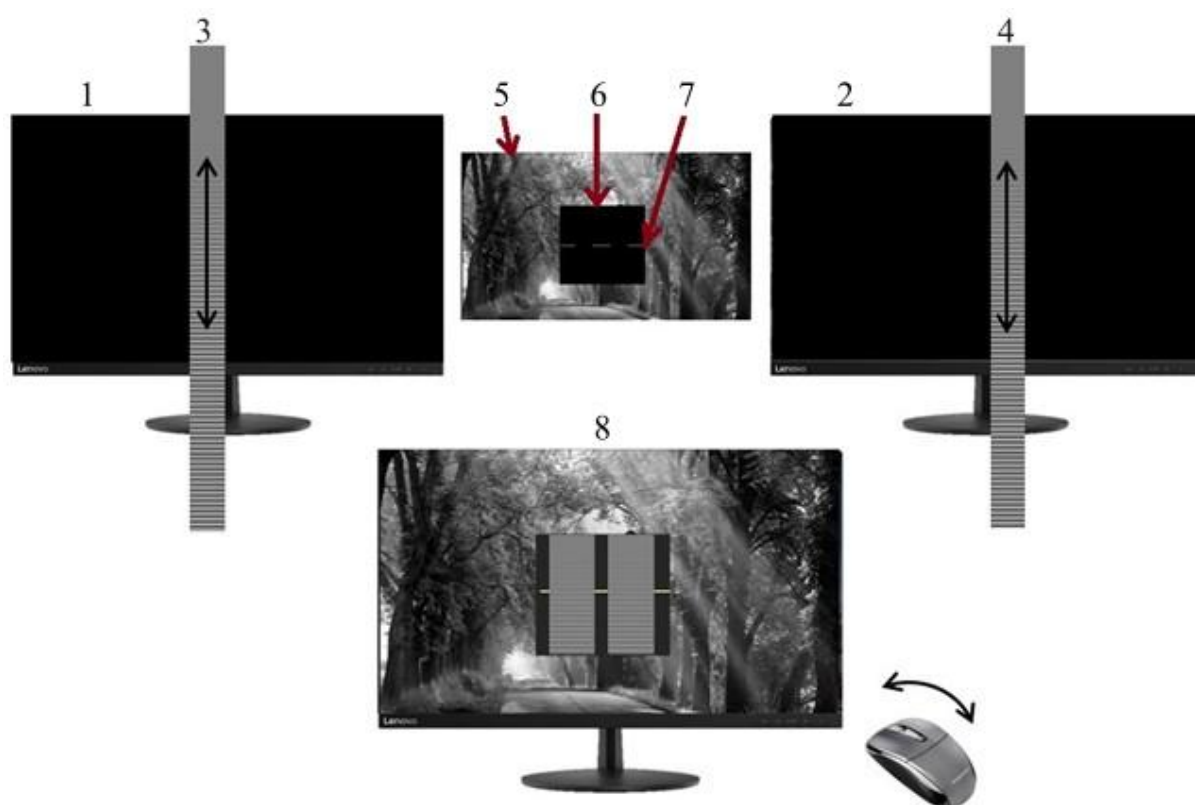
Obrázek 24: Vertikálně posuvné optotypové sloupce s vodorovnými sinusoidálními kontrastními pruhy o daných prostorových frekvencích s lineárním zvyšováním kontrastu a na ně navázané matoucí pruhy (vlastní obrázek)

5.1.2 Technické vybavení – haploskopická prezentace optotypů

Všechna měření jsou prováděna na experimentální haploskopické zobrazovací soustavě založené na principu disociace obrazů pro pravé a levé oko pomocí dvou monitorů a polopropustného zrcadla (Obrázek 25B). Monitory jsou spolu se zrcadlem umístěny v prototypu nosiče (zakázková výroba). Optotypové sloupce o předem zvolené prostorové frekvenci jsou současně předkládány každému oku odděleně (tj. za monokulárních sledovacích podmínek). Projekce optotypových sloupců je realizována prostřednictvím dvou identických LCD monitorů SyncMaster E2220N (Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon, Jižní Korea) s rozlišením 1920×1080. Monitory navzájem svírají úhel 90 stupňů. LCD monitory jsou konstruovány jako zdroj polarizovaného světla. K jejich sledování používá vyšetřovaný subjekt

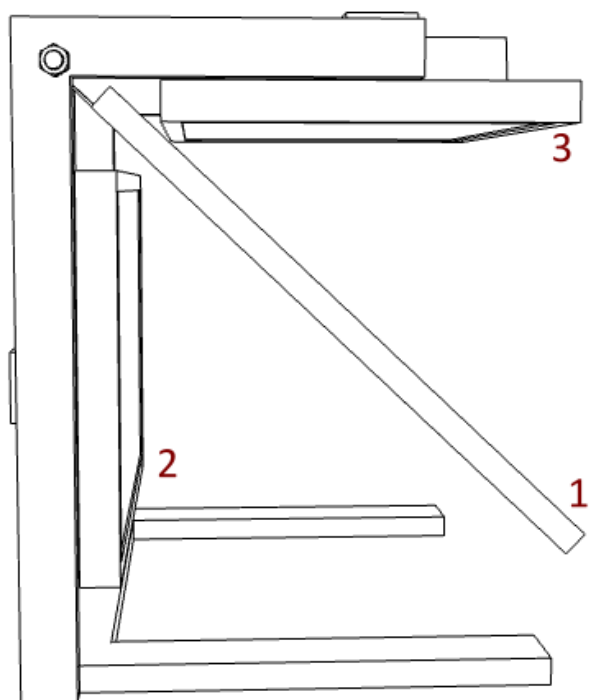
The left image is a schematic diagram of a vision testing setup. It shows a subject's eye (labeled 1) viewing a target (labeled 2) through a series of optical components (labeled 3 and 4). The diagram illustrates the path of light rays and the position of the eye relative to the target. The right image is a photograph of the actual experimental setup, showing a subject's head and eye positioned to view a target through the optical components, with a ruler visible for scale.

Ve vizuálním vědomí vyšetřovaný subjekt vnímá binokulární vjem vytvořený syntézou dvou nezávislých monokulárních obrazů prezentovaných dvěma samostatnými LCD monitory (Obrázek 26). Na monitor pro pravé i levé oko je umístěno stejné nehybné černobílé pozadí (fotografie) se sledovacím okénkem, které umožní pozorovat optotypové sloupce v centrální části monitorů. Posouvací optotypové sloupce jsou umístěny pod černobílým pozadím a vyšetřovaná osoba je vidí pouze ve sledovacím okénku. Černobílé pozadí vytváří podnět pro motorickou binokulární fúzi, která udržuje subjektivní superpozici obrazů z monitoru pro pravé a levé oko a kompenzuje tak případnou forii vyšetřovaného subjektu (Obrázek 26).

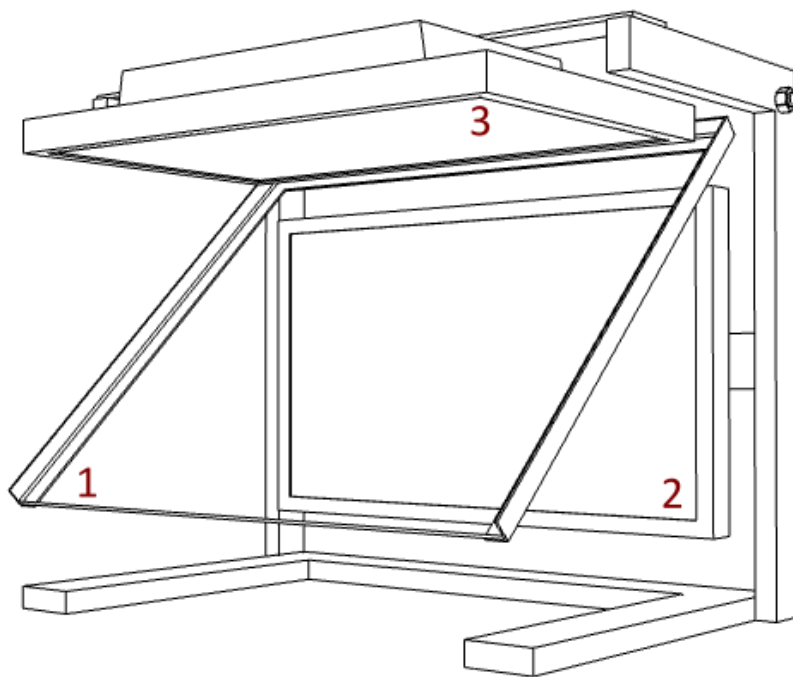


Obrázek 26: Binokulární vjem: 1) monitor pro levé oko, 2) monitor pro pravé oko, 3) optotypový sloupec pro levé oko, 4) optotypový sloupec pro pravé oko, 5) černobílé pozadí, 6) sledovací okénko, 7) referenční ryska, 8) výsledný binokulární vjem (vlastní obrázek)

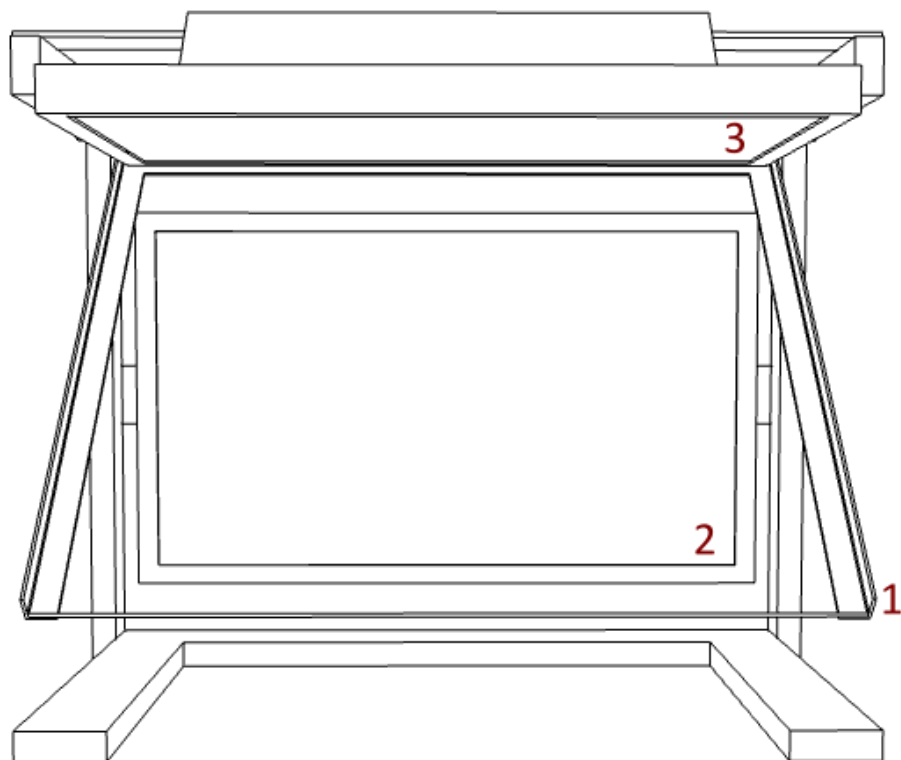
5.1.3 Schéma haploskopické zobrazovací soustavy



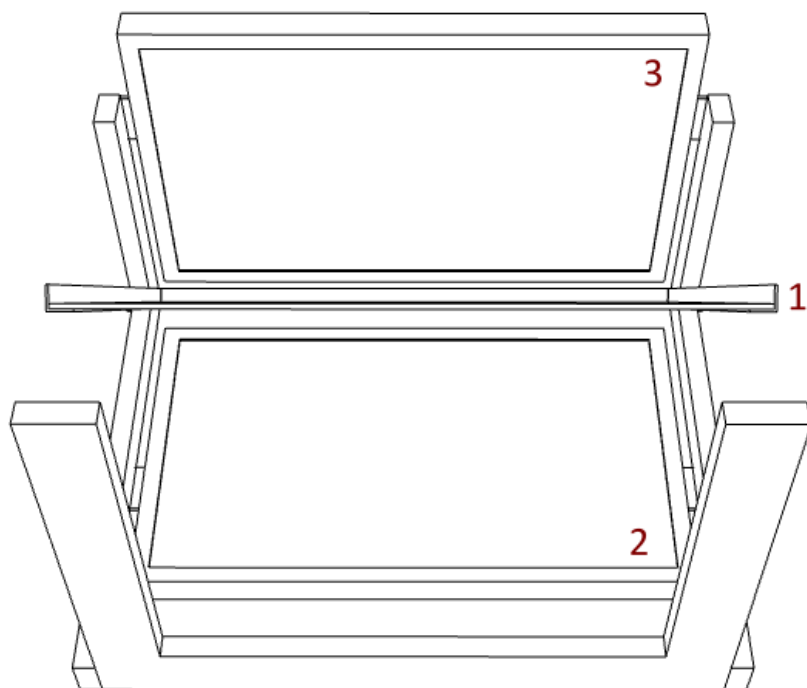
Obrázek 27: Haploskopická zobrazovací soustava – boční pohled zleva
1) Polopropustné zrcadlo; 2) monitor pro levé oko; 3) monitor pro pravé oko (vlastní obrázek)



Obrázek 28: Haploskopická zobrazovací soustava – pohled zprava
1) Polopropustné zrcadlo; 2) monitor pro levé oko; 3) monitor pro pravé oko (vlastní obrázek)



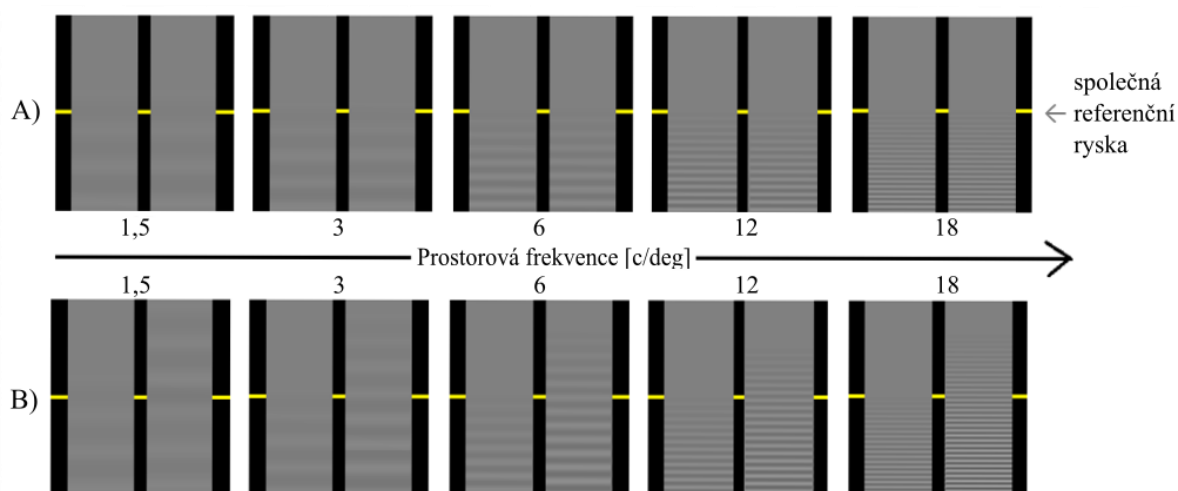
Obrázek 29: Haploskopická zobrazovací soustava – přímý pohled
 1) Polopropustné zrcadlo; 2) monitor pro levé oko; 3) monitor pro pravé oko (vlastní obrázek)



Obrázek 30: Haploskopická zobrazovací soustava – pohled z roviny polopropustného zrcadla
 1) Polopropustné zrcadlo; 2) monitor pro levé oko; 3) monitor pro pravé oko (vlastní obrázek)

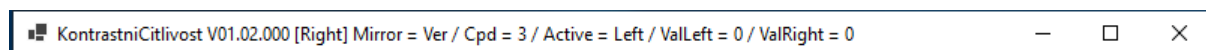
5.1.4 Průběh HTKC

Vyšetřovaný subjekt posouvá kolečkem myši optotypový sloupec ve vertikálním směru tak, aby na společnou vodorovnou referenční rysku umístil sinusoidální pruh s nejmenším kontrastem, který dokáže zaznamenat. Nejprve provede nastavení optotypového sloupce pro pravé a pak pro levé oko. Dosáhne se tím subjektivní rovnováhy mezi prahem kontrastní citlivosti pro pravé a pro levé oko za haploskopických pozorovacích podmínek. Postupně je vytvořena rovnováha pro všech pět prostorových frekvencí. Obrázek 31 část A znázorňuje ideální rovnováhu mezi oběma očima u subjektů se stejnou kontrastní citlivostí obou očí. Obrázek 31 část B představuje příklad rovnováhy vytvořené subjektem s různou kontrastní citlivostí pravého a levého oka (například u amblyopie).



Obrázek 31: Binokulární rovnováha: A) ideální rovnováha mezi oběma očima u subjektů bez amblyopie; B) rovnováha vytvořená subjekty s anizometropickou či strabickou amblyopií (levý sloupec – zdravé vedoucí oko, pravý sloupec – amblyopické oko) (vlastní obrázek)

V záhlaví každého dialogu je zobrazena informace o aktuálním nastavení a výsledcích měření v následujícím tvaru:



- Stručný název a verze aplikace.
- [Left]/[Right] Mirror – Informuje o nastavení zrcadlení monitoru (Hor/Ver/HorVer).
- Cpd – Určuje hodnotu prostorové frekvence zobrazeného optotypového sloupce.
- Active – Určuje, zda je aktivní optotypové sloupec (monitor) pro pravé či levé oko.

- ValLeft/ValRight – Udává kolikátý sinusoidální pruh v levém/pravém posuvném sloupci se právě nachází u společné referenční rysky.

Díky tomuto zobrazení jsou výsledné hodnoty k dispozici vyšetřujícímu personálu bezprostředně po každé otestované prostorové frekvenci (po vytvoření subjektivní rovnováhy mezi prahem kontrastní citlivosti pro pravé a levé oko), aniž by rušily pacienta při měření HTKC.

5.2 Pleoptické cvičení na haploskopické zobrazovací soustavě

Principem pleoptické léčby je omezení vedoucího oka (okluzí, penalizací) a stimulace tupozrakého oka. Trénink spočívá v jednoduchých aktivitách zaměřených na zlepšení orientace v prostoru, rozvoj barvocitu, senzomotoriky apod. [18, 93]

V této práci probíhalo měření HTKC u experimentálního souboru subjektů vždy před a bezprostředně po pleoptickém cvičení. Všechny dětské testované subjekty absolvovaly test HTKC před a po klasickém pleoptickém cvičení s plnou okluzí dominantního oka (Kategorie 1, viz kapitola 5.4). Dvě třetiny všech testovaných subjektů se zúčastnily i podruhé, kdy absolvovaly HTKC před a bezprostředně po pleoptickém cvičení na haploskopické zobrazovací soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka.

5.2.1 Software pro pleoptické cvičení

Pro pleoptické cvičení na haploskopické zobrazovací soustavě byl použit software s názvem „*Diagnostika a rehabilitace strabismu*“ [64], který vznikl v rámci disertační práce pana Ing. Petra Nováka (Český Institut Informatiky, Robotiky a Kybernetiky, ČVUT v Praze, Praha, Česká republika). Tento software byl vytvořen ve spolupráci s oftalmology a ortoptistkami a byl schválen institucí *Česká společnost ortoptistek* [94]. Program nabízí úlohy určené pro pleoptickou léčbu (metody léčby tupozrakosti), ortoptickou léčbu (obnovení narušeného jednoduchého binokulárního vidění) a také úlohy sloužící k diagnostice.

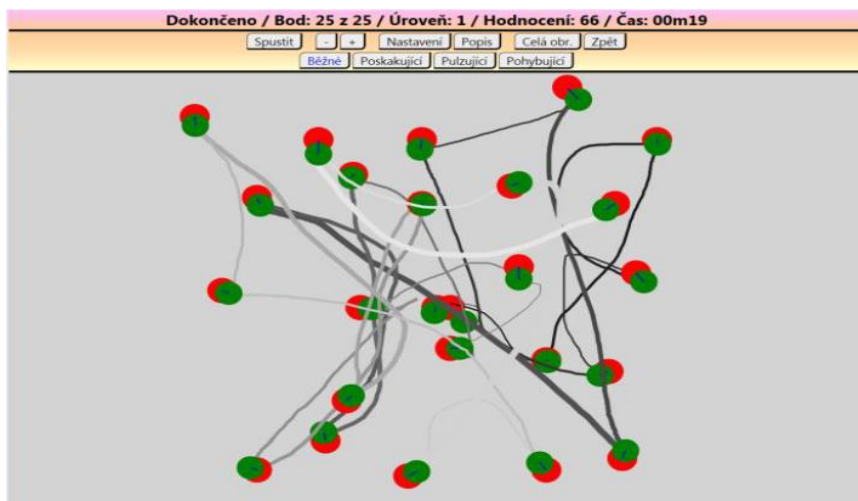
5.2.1.1 Úlohy

Ke cvičení na haploskopické soustavě byly použity výhradně úlohy sloužící k pleoptické léčbě. V této kapitole jsou uvedeny nejčastěji volené úlohy. U každé z nich je možné nastavit úroveň od nejjednodušší (úroveň 1) po nejsložitější (úroveň 9). Lze tak přizpůsobit „hru“ věku či schopnostem pacienta. Dále je možné měřit čas potřebný pro dokončení úlohy a počet omylů v průběhu hry [65].

Lokalizace

Cílem této úlohy je umístit zelený bod na pozici v tu chvíli zobrazeného červeného bodu. Obtížnost úlohy udává velikost zobrazených bodů. Po ukončení úlohy je hodnocena přesnost překrytí obou bodů. Může být vyhodnocena i rychlost reakce a dráha pohybu mezi jednotlivými přechody. Tato úloha funguje na principu lokalizace [65].

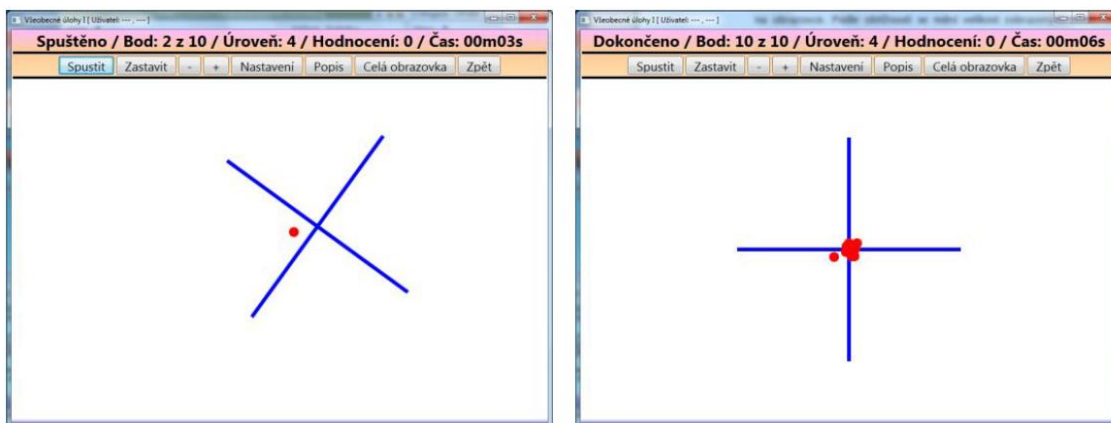
Ve standardních pleoptických cvičeních se k tomuto cvičení využívá přístroj zvaný lokalizátor.



Obrázek 32: Úloha "Lokalizace" [65]

Fixace

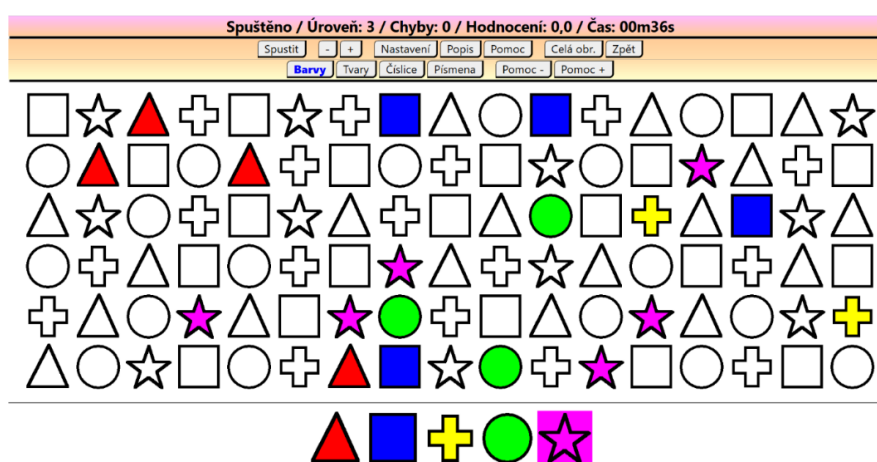
Při této úloze je na obrazovce umístěn modrý kříž, který se postupně otáčí a poskakuje. Úkolem pacienta je umístit červený bod do středu kříže, podle jeho momentální polohy a natočení. Úroveň určuje velikost bodu a kříže. Hodnocena je přesnost polohy červeného bodu umístěného na (či do okolí) modrého kříže [65]. Tato úloha podporuje trénink fixace.



Obrázek 33: Úloha "Fixace" [65]

Doplňování

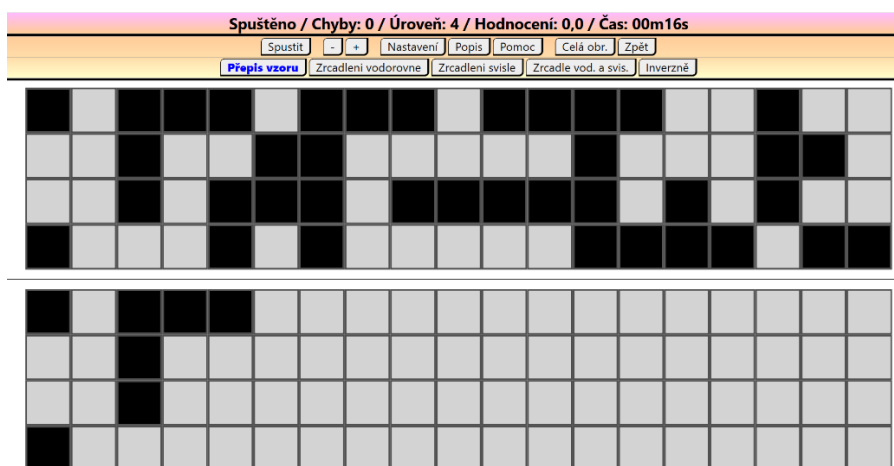
Cílem této úlohy je doplnění barvy do prázdných obrazců. Pacient kliknutím počítačové myši zvolí konkrétní tvar (trojúhelník, čtverec, křížek, kruh, hvězda) ze spodní části obrazovky, a poté myší označuje prázdné obrazce téhož tvaru, které se po označení obarví. Cílem je správně označit všechny obrazce. Vyšší nastavení úrovně znamená zmenšení velikosti obrazců (zvýšení jejich počtu) [65]. Tento typ úlohy byl využit především u nejmladších pacientů a funguje na principu lokalizace.



Obrázek 34: Úloha "Doplňování" [65]

Mozaika

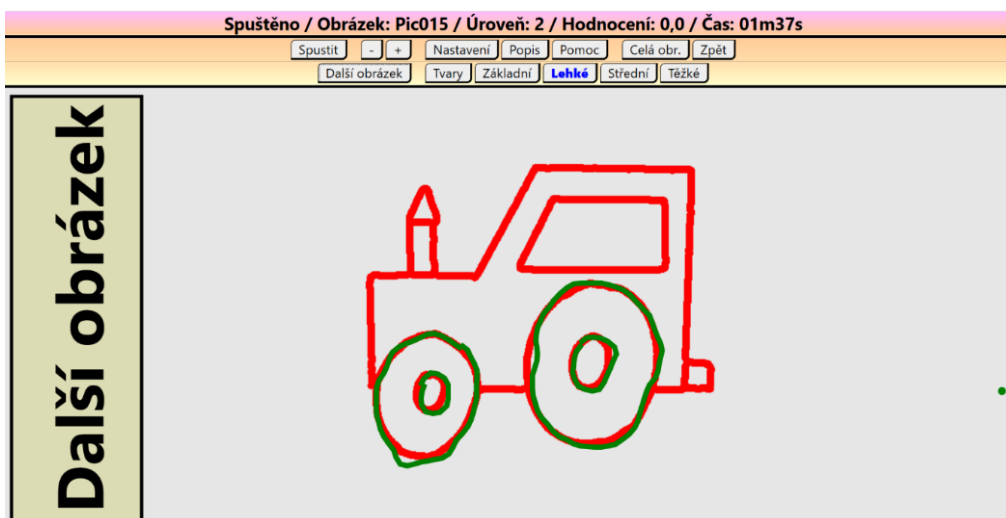
Úkolem pacienta je přepsat vzor mozaiky zobrazené v horní části do spodní části, ve které se nacházejí pouze šedá políčka. Políčko se přebarví kliknutím počítačové myši. Velikost a celkový počet polí určuje úroveň úlohy. Také je možné nastavit, zda se bude mozaika přepisovat identicky, zrcadlově podle horizontální či vertikální osy [65]. Tato úloha je dětmi velmi oblíbená a funguje na principu lokalizace.



Obrázek 35: Úloha "Mozaika" [65]

Obkreslování

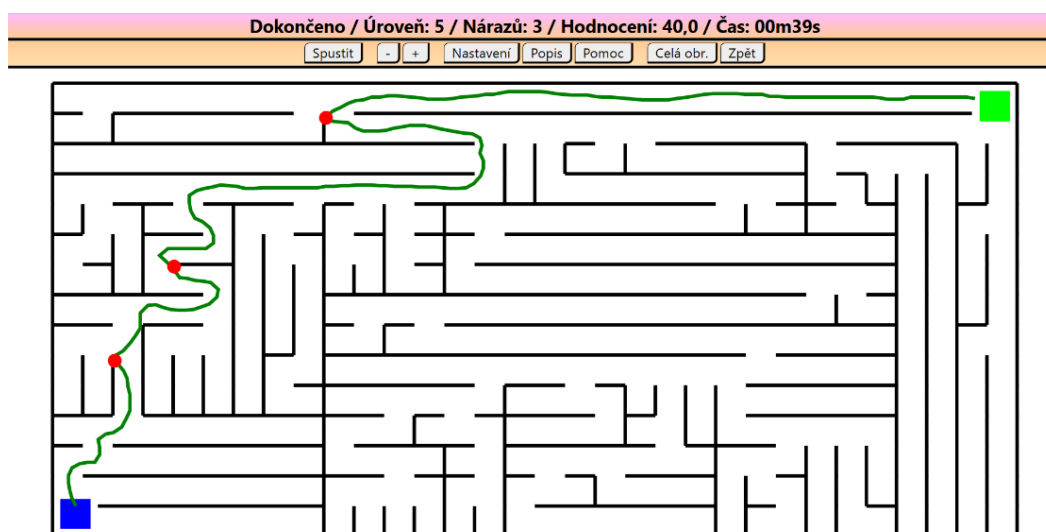
Úkolem této úlohy je obkreslit obrázek, který je zobrazen na pracovní ploše. Lze nastavit tloušťku čáry obrázku a také jeho složitost. Obrázek můžeme zvolit z kategorií „tvary“, „lehké“, „střední“ a „těžké“ [65]. Tato hra funguje na principu přístroje zvaný korektor, který se standardně využívá v pleoptické terapii.



Obrázek 36: Úloha "Obkreslování" [65]

Bludiště

Cílem této hry je projít bludištěm, aniž by došlo ke kolizi se stěnou bludiště. Pokud ke kolizi dojde, musí se pacient počítačovou myší vrátit na místo srážky a poté může pokračovat dále. Cílem je propojit čtverce, které jsou vždy umístěny diagonálně [65]. V této hře se využívá koordinace „oko-ruka“.



Obrázek 37: Úloha "Bludiště" [65]

Počítej

Cílem této úlohy je správně spočítat body na obrázku. Lze zvolit ze tří dostupných variant. V první z nich je úkolem spočítat body v levém poli a označit správný počet z výběru v pravé části. V druhé variantě se porovnává počet bodů v levém a pravém poli a úkolem je určit, ve kterém z nich se nachází více bodů. Ve třetí variantě se nachází celkem 6 polí s různými počty bodů a cílem je postupně označovat daná pole vzestupně, tedy od pole s nejnižším počtem bodů po pole s počtem nejvyšším [65]. Tato úloha je vhodná spíše pro starší děti, které jsou při cvičení donuceni počítat. Tím je zvýšena jejich pozornost, která je při sledování obrazu tupozrakým okem velmi důležitá.



Obrázek 38: Úlohy se sekce "Počítej" [65]

5.2.2 Haploskopická prezentace obrazů

Pro cvičení na haploskopické zobrazovací soustavě byla navržena speciální aplikace, která umožňuje duplikovat obraz z primárního monitoru na sekundární monitor. Na sekundárním monitoru je možné nastavit zrcadlení (vertikální/horizontální) duplikovaného obrazu a součástí této aplikace je také možnost zamlžení (tj. rozmazání) obrazu sekundárního monitoru.

U této aplikace je nutné dopředu zvolit primární monitor (sekundární lze rozostřit). Při standardním uspořádání monitorů a použití polarizačních brýlí se zkříženou polarizací (45 a 135 stupňů) náleží monitor A pravému oku a monitor B oku levému (Obrázek 40). Pokud

je potřeba v průběhu vyšetření prohodit obrazy (například u pacientů s oboustrannou tupozrakostí, u kterých cvičení probíhá postupně u obou očí), musí se aplikace vypnout, změnit nastavení monitorů a aplikaci spustit znovu. To je ale časově náročné. V tomto případě lze jednoduše otočit polarizační brýle o 180 stupňů a tím změnit polarizaci (135 a 45 stupňů). V takovém případě bude obraz z monitoru A pozorován levým okem a obraz z monitoru B pravým okem, tedy přesně opačně.

5.2.3 Zamlžení obrazu monitoru pro dominantní oko

Zamlžení obrazu sekundárního monitoru je provedeno pomocí tzv. Gaussovského rozmazání (Gaussian Blurring) z knihovny OpenCV [95].

Jedná se o lineární filtraci, které se nejčastěji používá pro potlačení šumu nebo potlačení detailů. Obraz je rozostřen pomocí Gaussovy funkce, která má ve 2D následující tvar [96]:

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

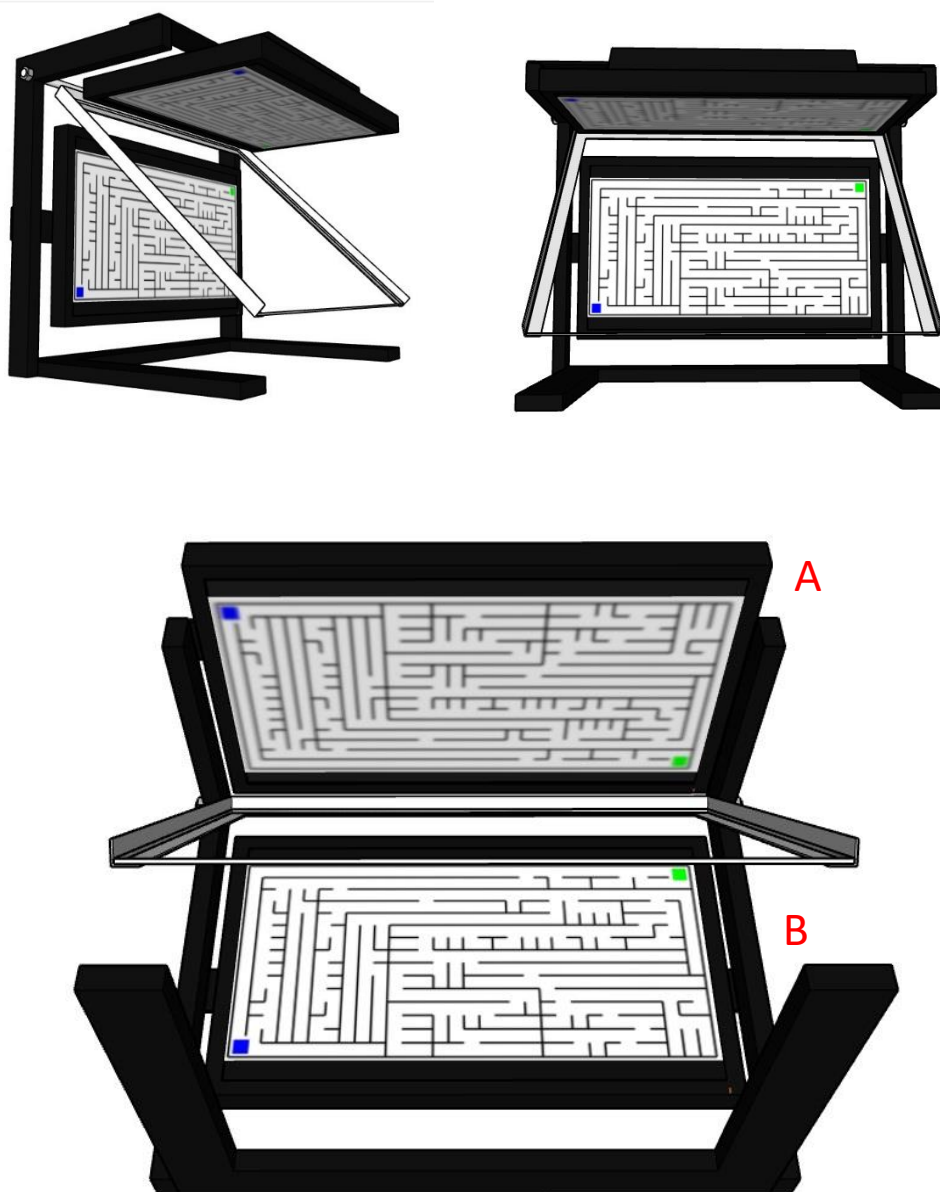
kde σ je směrodatná odchylka Gaussova rozdělení. Hodnoty z této distribuce se používají k vytvoření konvoluční matice, tzv. konvoluční masky (jádra), která se aplikuje na původní obrázek. Velikost použité matice určuje celkové rozostření obrazu [97].

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Obrázek 39: Příklad výpočtu pro různé velké konvoluční matice [98]

Nová hodnota každého pixelu je nastavena na vážený průměr okolí daného pixelu. Výsledný bod tedy není pouze běžný průměr hodnot bodů z jeho okolí, ale jde o vážený průměr těchto bodů z okolí podle přesně stanovených vah, kterými jsou hodnoty prvků konvoluční masky (jádra). Výsledkem je rozostření, u kterého jsou lépe zachovány hrany než u jiných typů filtrů.

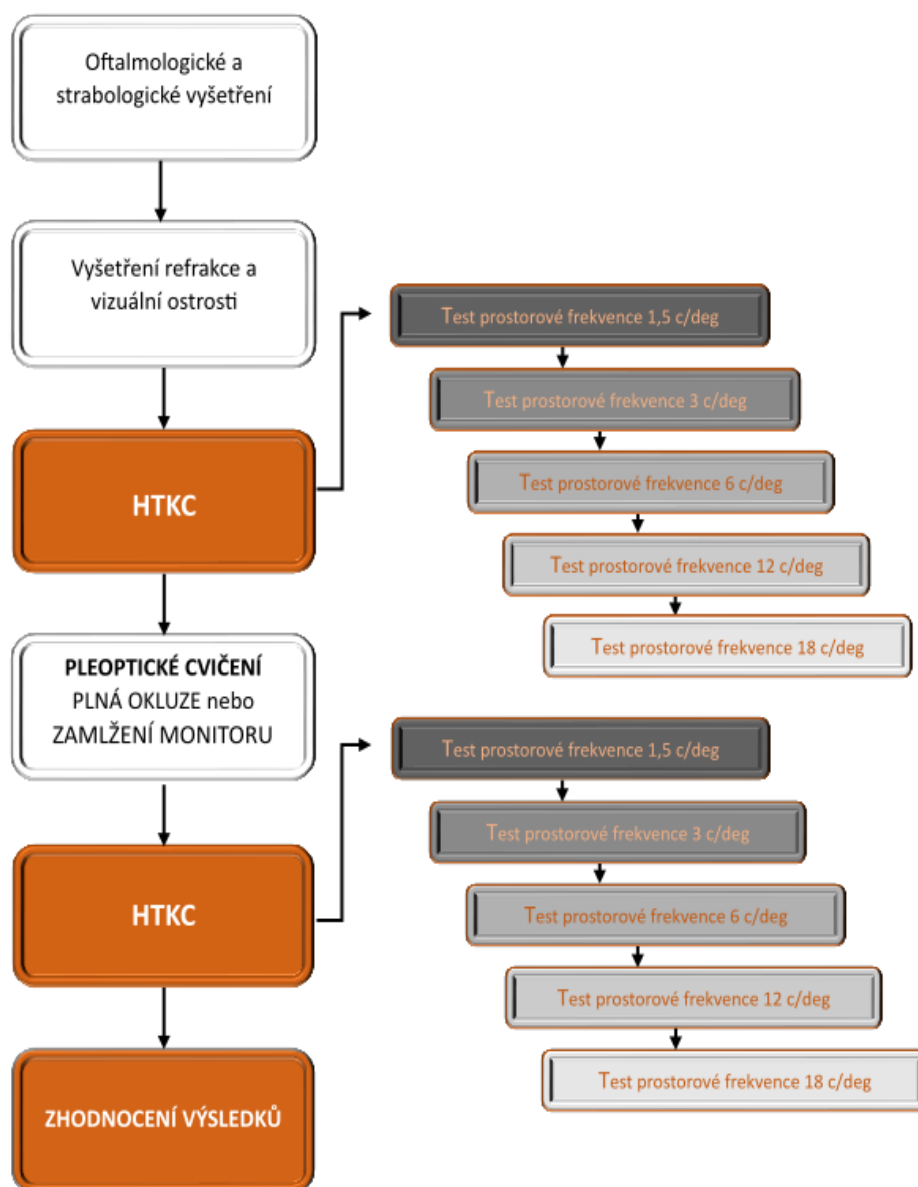
Aplikace vytvořená pro naše experimenty umožňuje nastavení úrovně rozmazání (zamlžení) v rozmezí od 0 do 100. Cílem je degradace obrazu pro dominantní oko lehce pod úroveň tupozrakého oka, aby bylo tupozraké oko v průběhu cvičení donuceno aktivně pracovat. Nejdříve byl pacientovi degradován obraz pro dominantní oko tak, aby byl subjektivně vyrovnán vízus mezi pravým a levým okem. Následně byl obraz pro dominantní oko individuálně rozostřen o 2-5 úrovní. Díky tomuto nastavení pacient vnímá obraz pro tupozraké oko ostřeji, přičemž na monitoru pro dominantní oko je obrazová informace dostatečně zachována. Tato metoda nebrání vzájemné spolupráci obou očí (oproti plné okluzi) a neblokuje binokulární fúzi.



Obrázek 40: Zamlžení (rozostření) obrazu jednoho z monitorů, úloha "Bludiště" (vlastní obrázek)

5.3 Celkový průběh vyšetření

U každého testovaného subjektu musí být k dispozici přiměřená aktuální standardní oční vyšetření (tj. vyšetření, která se běžně provádějí při návštěvách ve strabologické ambulanci), jako je anamnéza, vyšetření očního pozadí, pohyblivosti očí, vyšetření úhlu šilhání a binokularity. Dále musí být změřena aktuální brýlová korekce s následným stanovením zrakové ostrosti obou očí s nejlepší brýlovou korekcí (BCDVA – best corrected distance visual acuity). Poté subjekt se svou nejlepší brýlovou korekcí a s polarizačními brýlemi absoluuje HTKC. Po dokončení testu následuje intenzivní pleoptický trénink v ambulantní cvičebně (či pleoptický trénink na haploskopické soustavě) pod dohledem kvalifikované ortoptistky. Bezprostředně (tj. maximálně do deseti minut) po absolvování cca 15minutového cvičení (tj. aktivní pleoptika) v ortoptické ordinaci následuje opětovné měření HTKC a vyhodnocení výsledků. Ve schématu (Obrázek 41) je uveden přehledný postup vyšetření, která každý dětský subjekt jednorázově absolvoval.



Obrázek 41: Schematické znázornění průběhu celkového vyšetření testované osoby (vlastní obrázek)

5.4 Experimentální soubor

Experimentální soubor byl rozdělen do třech kategorií v závislosti na typu pleoptického cvičení, které testované subjekty v rámci této disertační práce absolvovaly.

Kategorie 1 - Ověření haploskopického testu kontrastní citlivosti

Hlavním cílem této práce bylo ověření nového testu monokulární kontrastní citlivosti za haploskopických binokulárních sledovacích podmínek, který by byl schopný citlivě kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u osob s tupozrakostí.

Ověření probíhalo u souboru dětských subjektů s anizometropickou či strabickou formou tupozrakosti, které procházejí pleoptickou léčbou.

Celkem se zúčastnilo 60 subjektů ve věku od 4 do 11let.

- Anizometropická tupozrakost – 38 subjektů (19 chlapců a 19 dívek)
- Strabická tupozrakost – 22 subjektů (12 chlapců a 10 dívek)

U každého z nich byl změřen HTKC před a bezprostředně po standardním 15minutovém pleoptickém cvičení s úplnou okluzí dominantního oka.



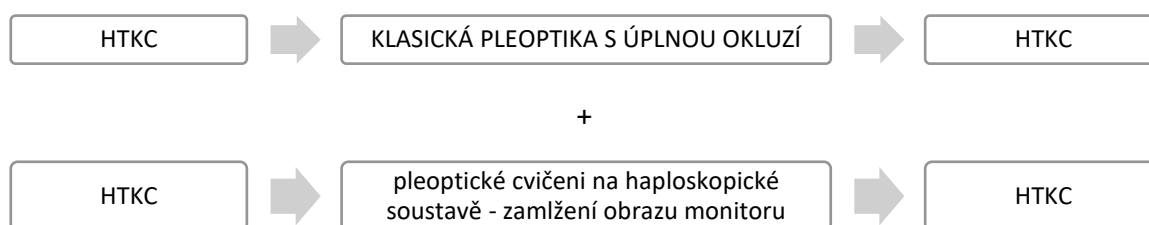
Zároveň byla naměřena kontrolní skupina subjektů bez amblyopie – 7 subjektů. U těchto pacientů byl změřen HTKC před a bezprostředně po jiném cvičení, které se nezaměřuje na zvýšení zrakové ostrosti.

Kategorie 2 – Úplná okluze vs. Zamlžení

Přibližně dvě třetiny subjektů z kategorie 1 (klasická pleoptika s úplnou okluzí) si při další návštěvě ortopticko-pleoptické ordinace vyzkoušely i 15minutové pleoptické cvičení na haploskopické soustavě, při kterém byla úplná okluze dominantního oka nahrazena zamlžením (rozostřením) obrazu monitoru pro dominantní oko. Díky této kategorii lze porovnat obě metody mezi sebou.

Celkem 41 subjektů ve věku od 4 do 11let.

- Anizometropická tupozrakost – 25 probandů (11 chlapců a 14 dívek)
- Strabická tupozrakost – 16 probandů (8 chlapců a 8 dívek)



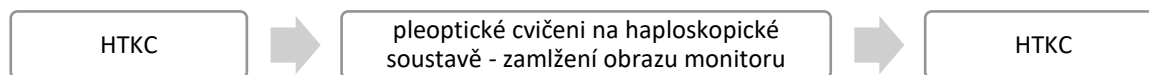
Kategorie 3 – Zamlžení dominantního oka u dospělých subjektů

V této kategorii byl změřen HTKC před a bezprostředně po 30minutovém cvičení na haploskopické zobrazovací soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka. V této

kategorii probíhalo cvičení na haploskopické soustavě odlišným způsobem. Subjektům bylo umožněno provádět různé aktivity na internetu, jako je čtení emailů, zpráv, surfování atd.

Celkem 2 subjekty ve věku 34 a 35 let

- Anizometropická tupozrakost – 1 subjekt
- Strabická tupozrakost – 1 subjekt



5.5 Vyjádření etické komise

Veškerá měření byla provedena v Centru dětské oftalmologie, BINOCULAR, s.r.o. v Litomyšli. Zákonní zástupci testovaných dětských subjektů podepsali informovaný souhlas s účastí ve studii.

Etická komise, Litomyšlská nemocnice, J. E. Purkyně 652, Litomyšl přezkoumala výzkumný projekt s názvem Binokulární testování kontrastní citlivosti u strabické a anizometropické amblyopie. Dne 19. 1. 2023 vydala souhlasné stanovisko, schválila experimentální protokol, formulář Informace a informovaný souhlas pro rodiče a formulář Informace a informované svolení pro dospělé subjekty starší 12 let.

5.6 Statistická analýza

Statistická analýza byla provedena v programu MS Excel v prostředí statistického softwaru XLSTAT (verze 2022.5.1, Addinsoft, Paříž, Francie). Pro každou testovanou prostorovou frekvenci před a po klasickém pleoptickém tréninku s úplnou okluzí dominantního oka byly vykresleny krabicové grafy všech testovaných subjektů s anizometropickou a strabickou amblyopií. K vyhodnocení normality byl použit Shapirov-Wilkův test a byly vykresleny histogramy. Výsledky Shapirova-Wilkova testu nebyly jednoznačné. Na základě vykreslených histogramů bylo usouzeno, že data nepocházejí z výběru s normálním rozdělením dat. Pro testování hypotéz byl tedy použit neparametrický párový Wilcoxonův test pro každou testovanou prostorovou frekvenci. Hladina významnosti byla stanovena na hladině $\alpha < 0,05$.

6 VÝSLEDKY

V této části práce jsou uvedeny výsledky měření, která byla popsána v předchozí kapitole. Výsledky jsou organizovány do několika sekcí.

Kapitola 6.1 je zaměřena na ověření schopnosti HTKC citlivě kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u osob s tupozrakostí (Cíl 1, Hypotéza 1). Výsledky měření HTKC u experimentálních souborů dětí s anizometropickou a strabickou amblyopií (průměr, medián, horní a dolní kvartil, odlehlé hodnoty) a statistické hodnocení významnosti jejich rozdílů prezentují grafy na obrázku 42, 44, 46 a 48. Dále byly vykresleny grafy průměrů naměřených hodnot pro dominantní a tupozraké oko a byly analyzovány rozdíly v monokulární kontrastní citlivosti za haploskopických binokulárních sledovacích podmínek mezi oběma formami amblyopie (Cíl 2, Hypotéza 2, 3 a 4). V této kapitole bylo měření HTKC provedeno před a bezprostředně po standardní pleoptické terapii s úplnou okluzí dominantního oka u 60 subjektů (anizometropická tupozrakost – 38 subjektů; strabická tupozrakost – 22 subjektů).

V kapitole 6.2 byly všechny subjekty rozděleny do dvou věkových kategorií a byla porovnávána efektivita pleoptického cvičení v závislosti na věku měřených subjektů. Do první kategorie byly zařazeny subjekty ve věku od 4 do 7 let (resp. od 5 do 7 let u strabické formy). Do druhé skupiny byly zařazeny subjekty ve věku od 8 do 11 let. Porovnávány jsou grafy průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka (Hypotéza 5).

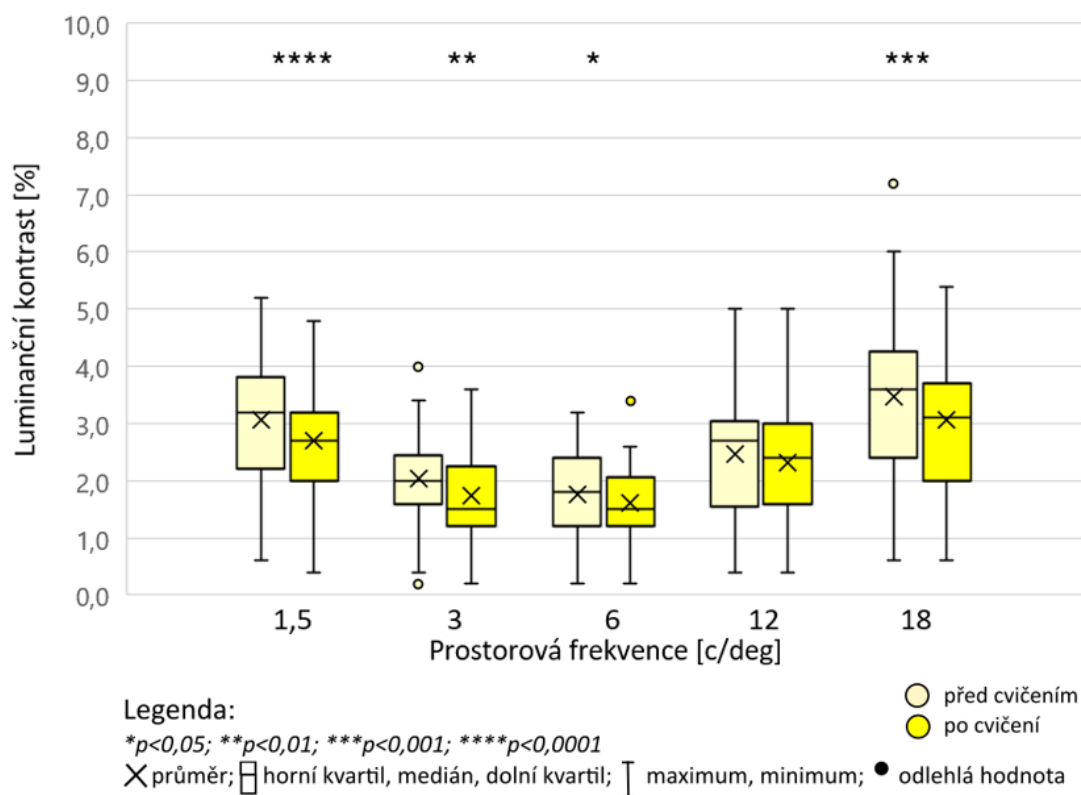
Kapitola 6.3 obsahuje grafy naměřených hodnot kontrolní skupiny bez amblyopie (7 subjektů), které absolvovaly HTKC před a po cvičení nezaměřující se na zvýšení zrakové ostrosti.

V kapitole 6.4 je porovnávána efektivita pleoptického cvičení s úplnou okluzí dominantního oka a efektivita pleoptického cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka pod úroveň zrakové ostrosti oka tupozrakého. Hodnoty v grafech udávají výsledky tupozrakého oka před a po cvičení pro obě metody. Obou typů cvičení se zúčastnilo 25 subjektů s anizometropickou amblyopií a 16 subjektů se strabickou amblyopií (Cíl 3 a 4).

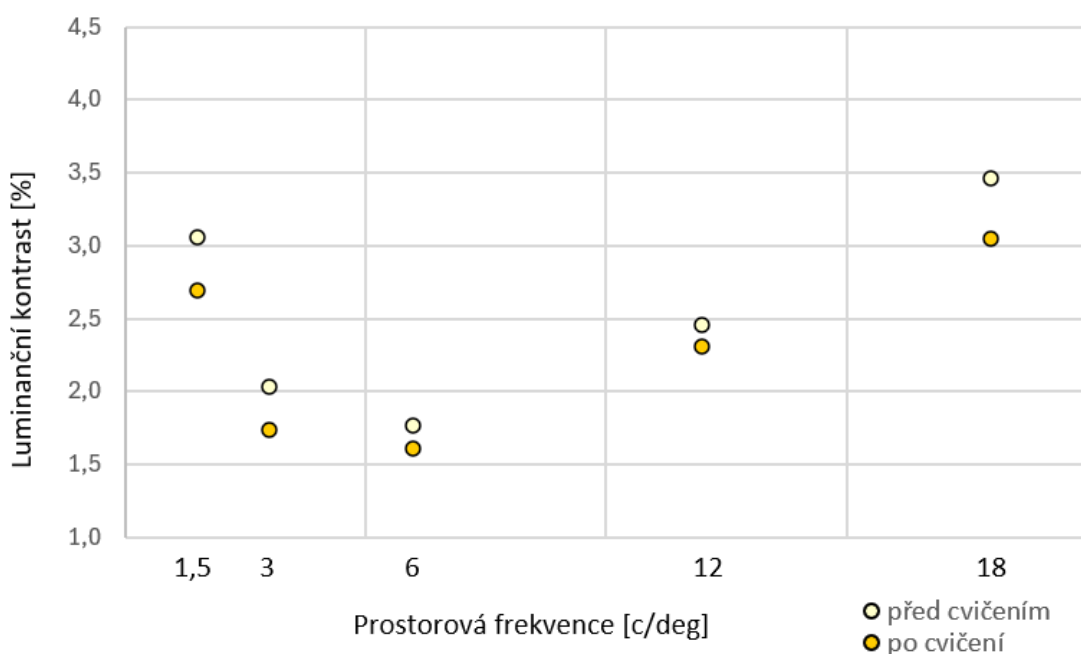
Poslední kapitola 6.5 prezentuje grafy dominantního a tupozrakého oka dvou dospělých subjektů (anizometropická tupozrakost – 1 subjekt; strabická tupozrakost – 1 subjekt), které mohly vykonávat libovolnou činnost na PC (haploskopické soustavě) se současným zamlžením obrazu monitoru dominantního oka (Hypotéza 6).

6.1 Ověření haploskopického testu kontrastní citlivosti

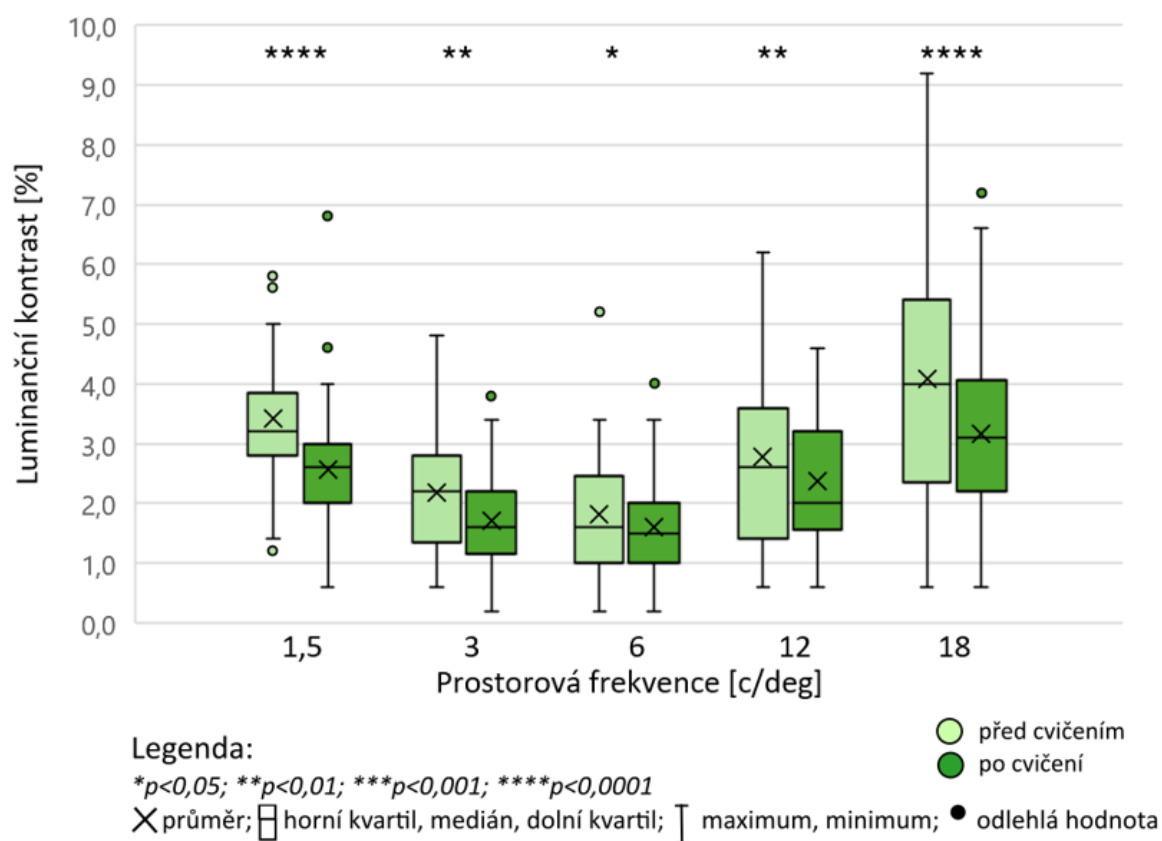
Anizometropická amblyopie



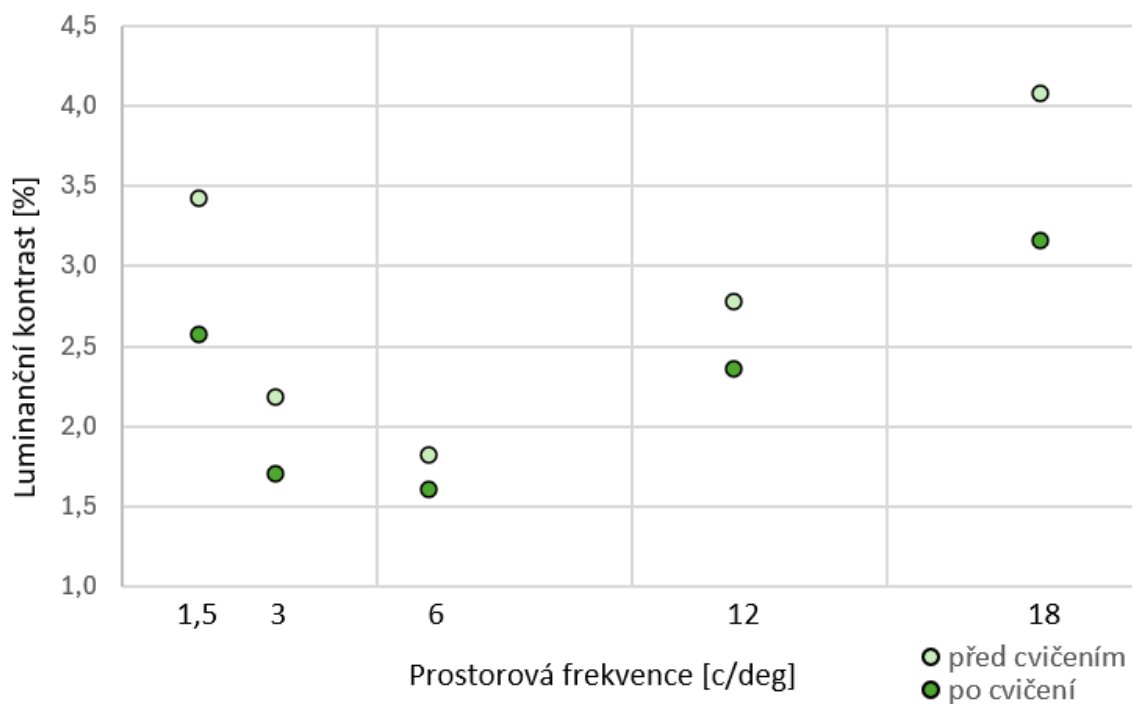
Obrázek 42: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie



Obrázek 43: Graf průměrů naměřených hodnot dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie

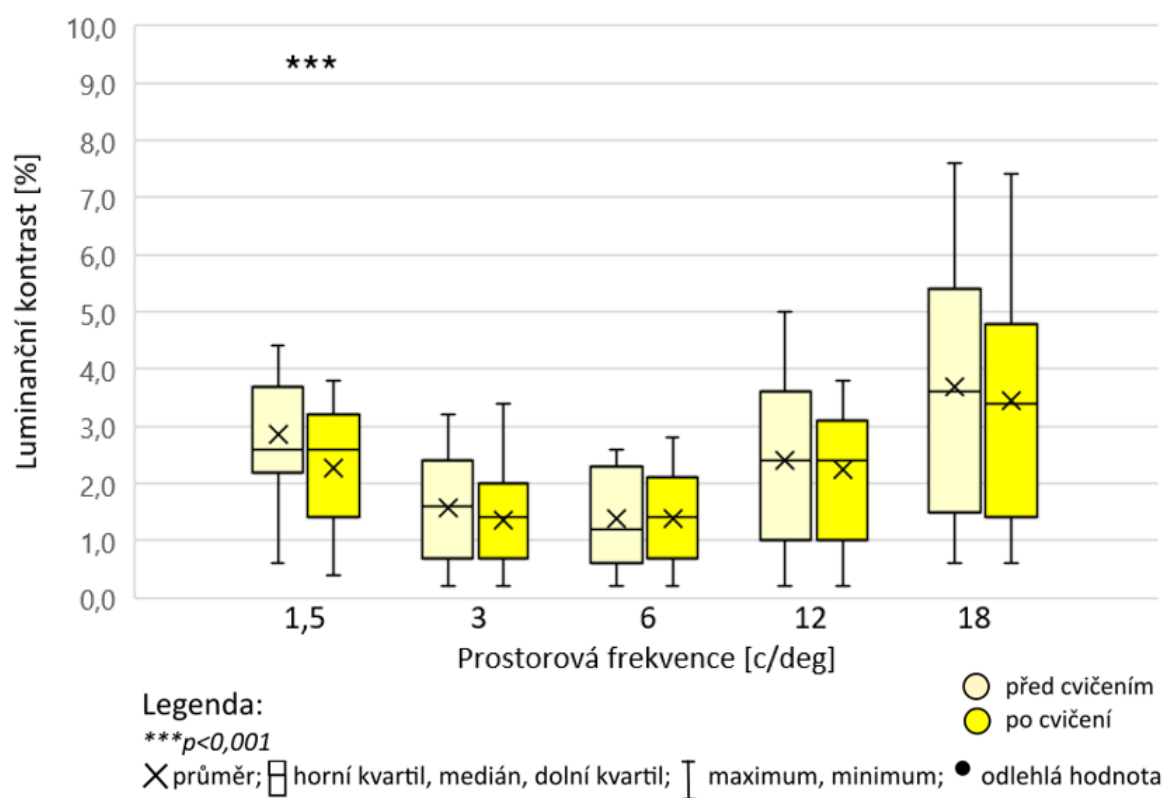


Obrázek 44: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie

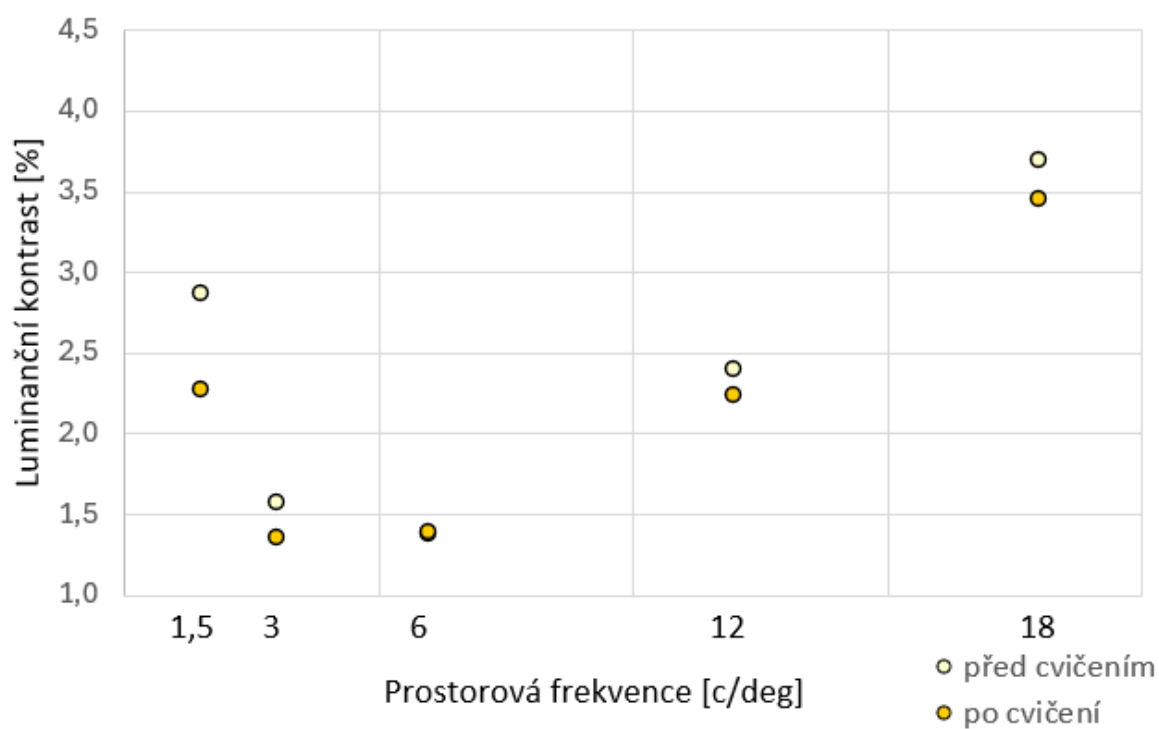


Obrázek 45: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů s anizometropickou formou amblyopie

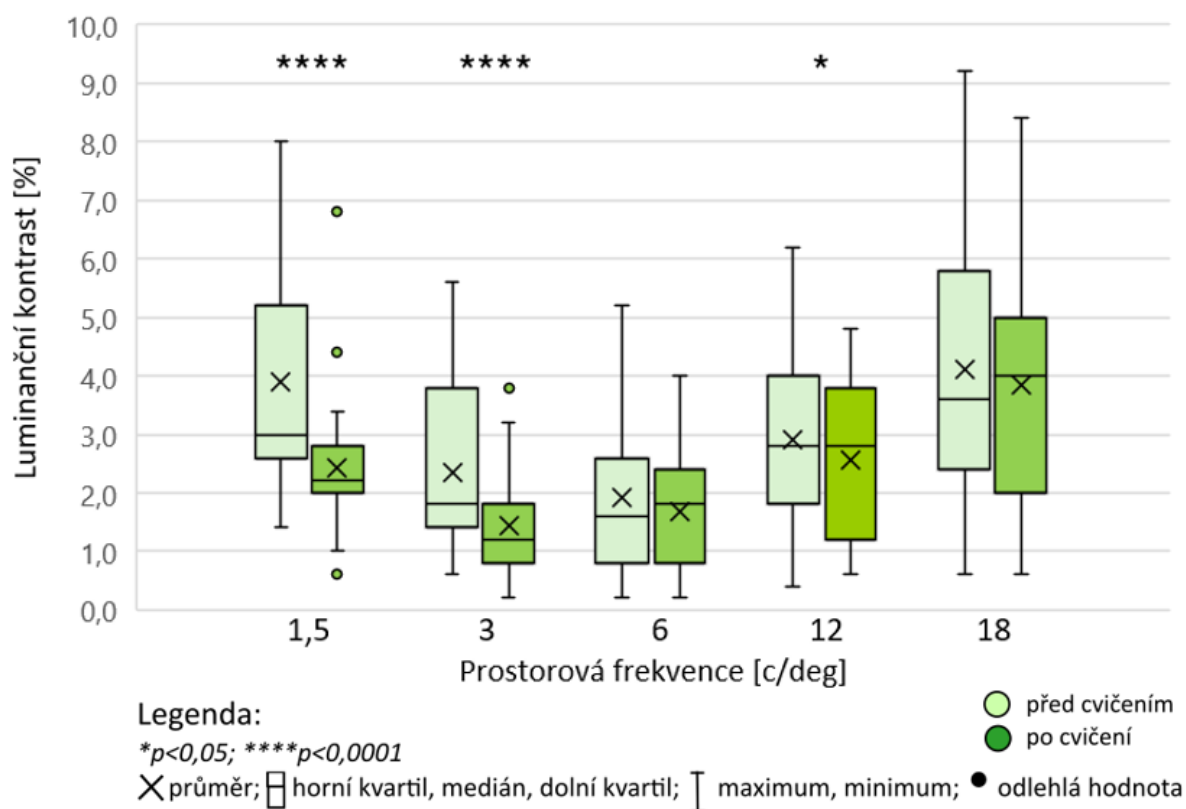
Strabická amblyopie



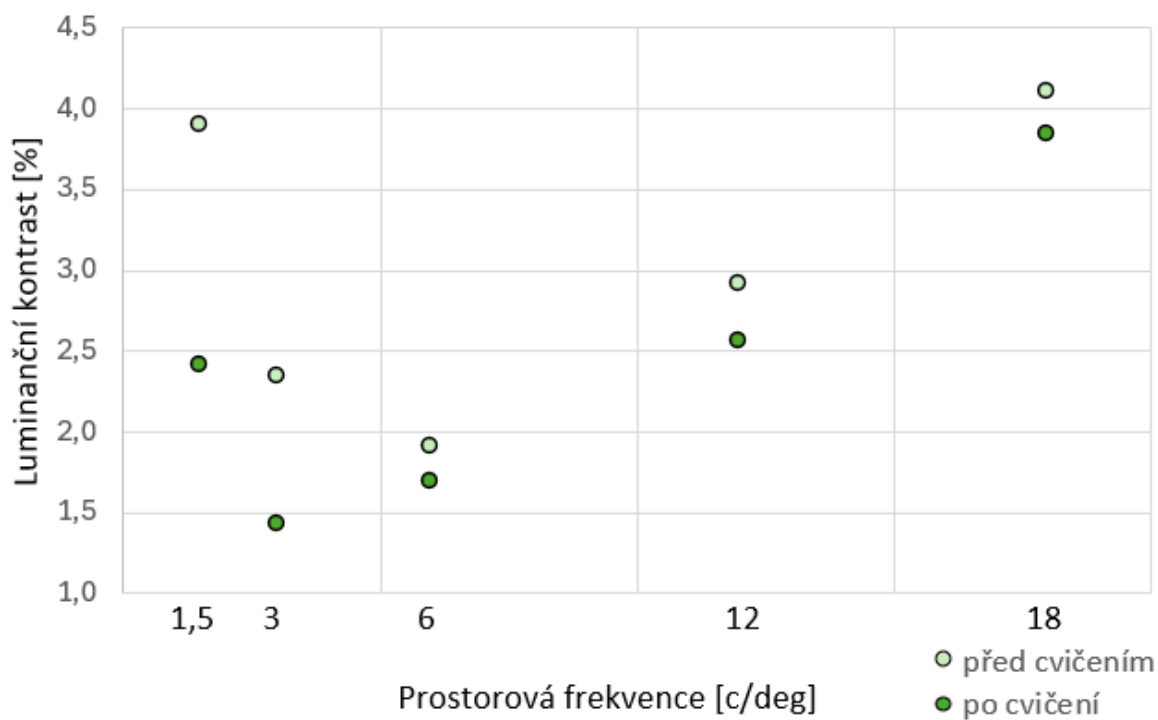
Obrázek 46: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie



Obrázek 47: Graf průměrů naměřených hodnot dominantního oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie



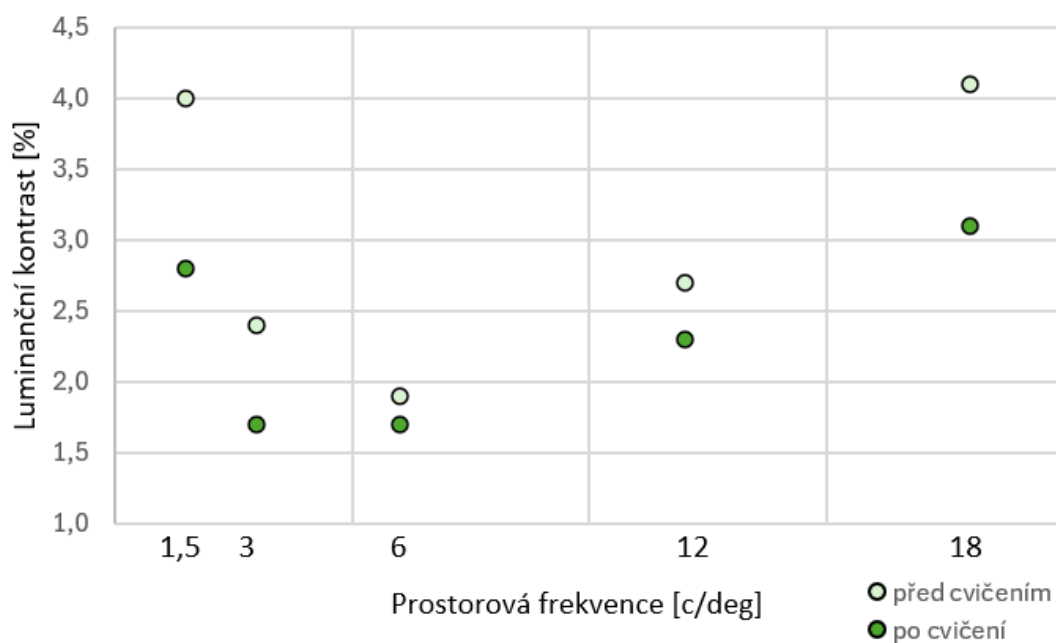
Obrázek 48: Krabicový graf znázorňující naměřené hodnoty tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie



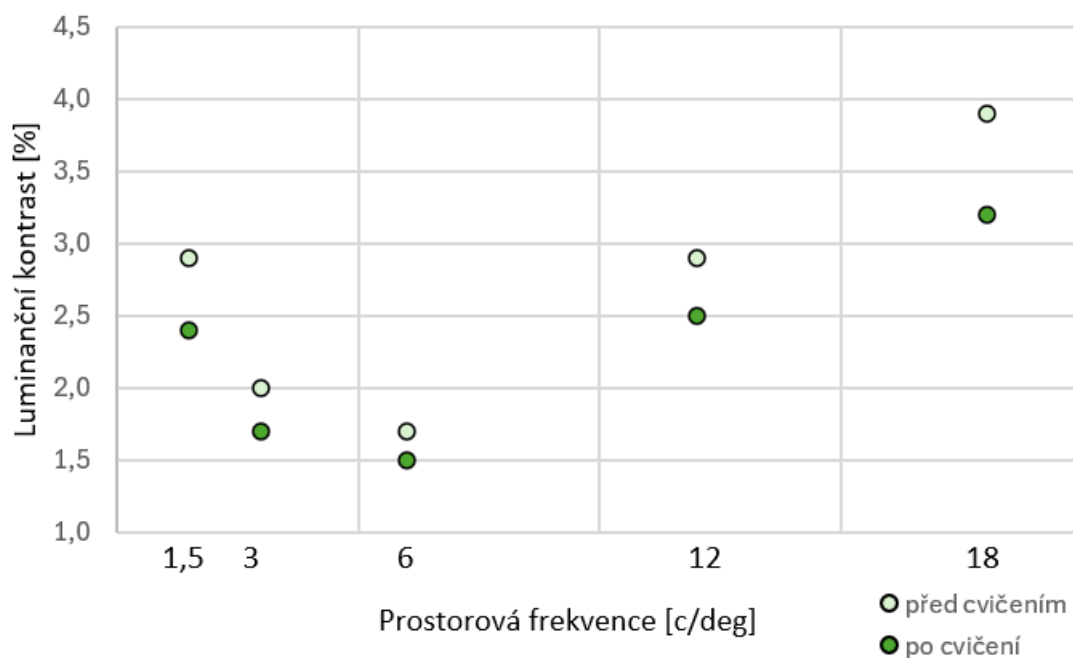
Obrázek 49: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po standardním cvičení u subjektů se strabickou formou amblyopie

6.2 Efektivita pleoptického cvičení dle věku

Anizometropická amblyopie

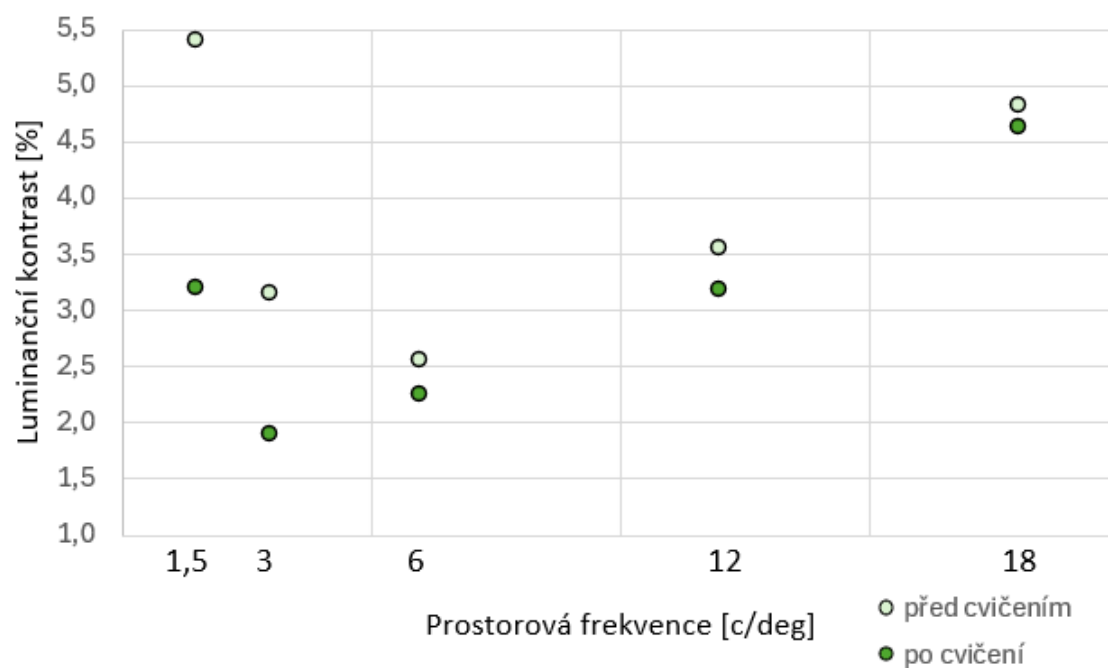


Obrázek 50: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů s anizometropickou amblyopií v kategorii od 4 do 7 let

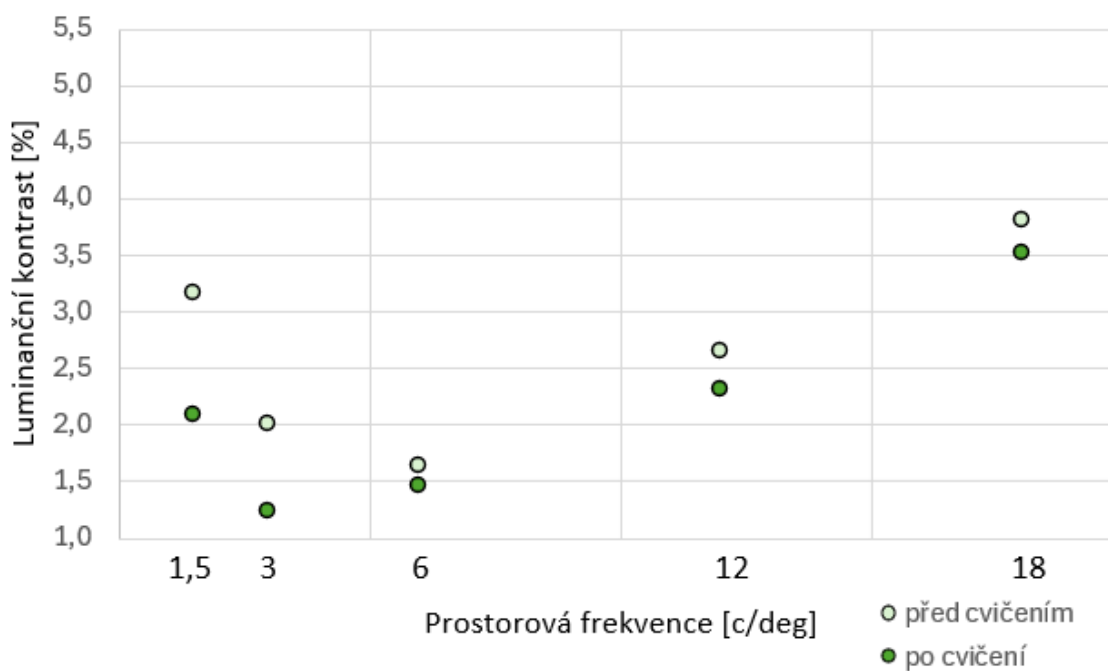


Obrázek 51: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů s anizometropickou amblyopií v kategorii od 8 do 11 let

Strabická amblyopie

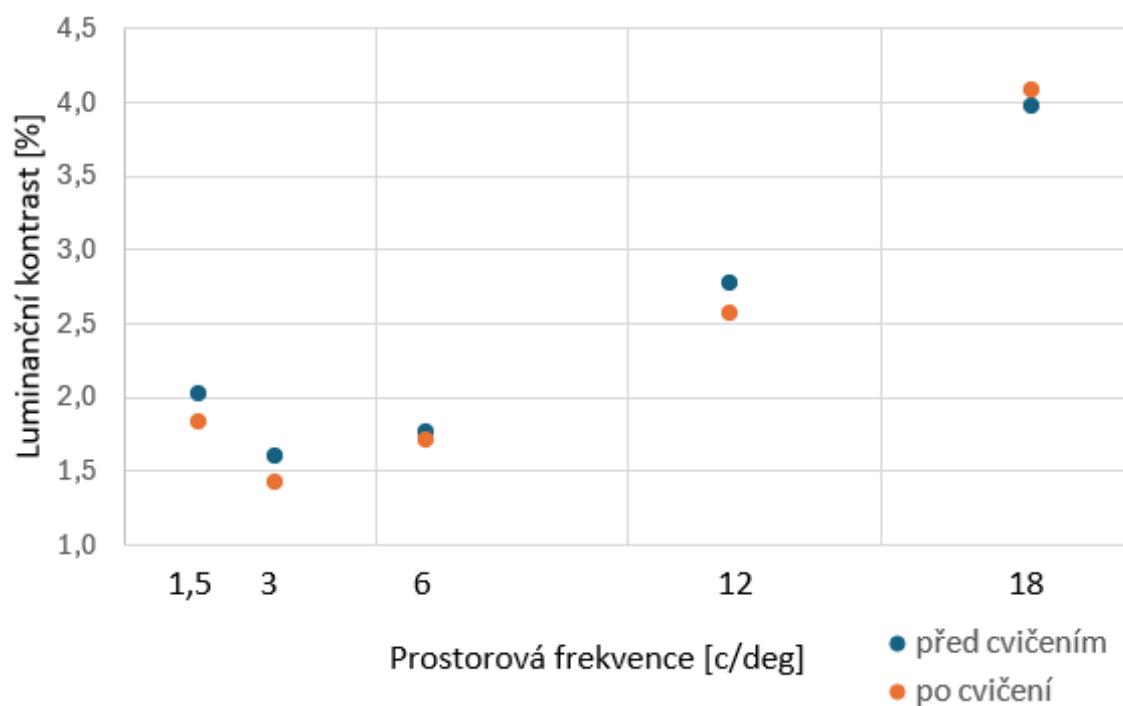


Obrázek 52: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů se strabickou amblyopií v kategorii od 5 do 7 let

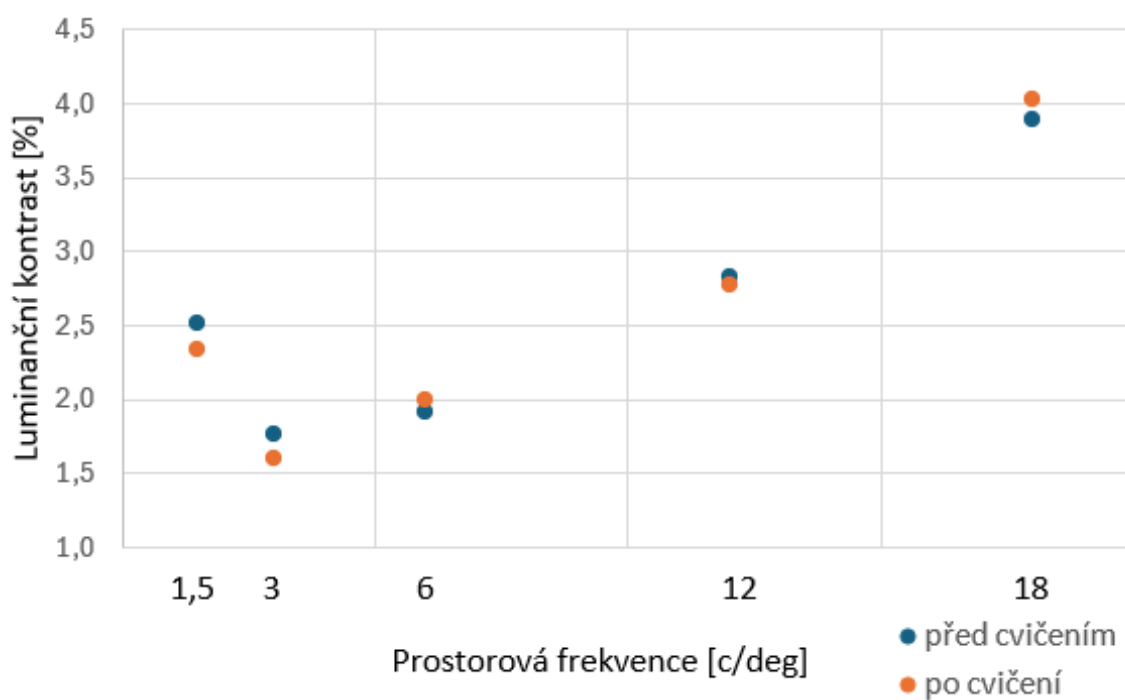


Obrázek 53: Graf průměrů naměřených hodnot tupozrakého oka před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí u subjektů se strabickou amblyopií v kategorii od 8 do 11 let

6.3 Kontrolní skupina

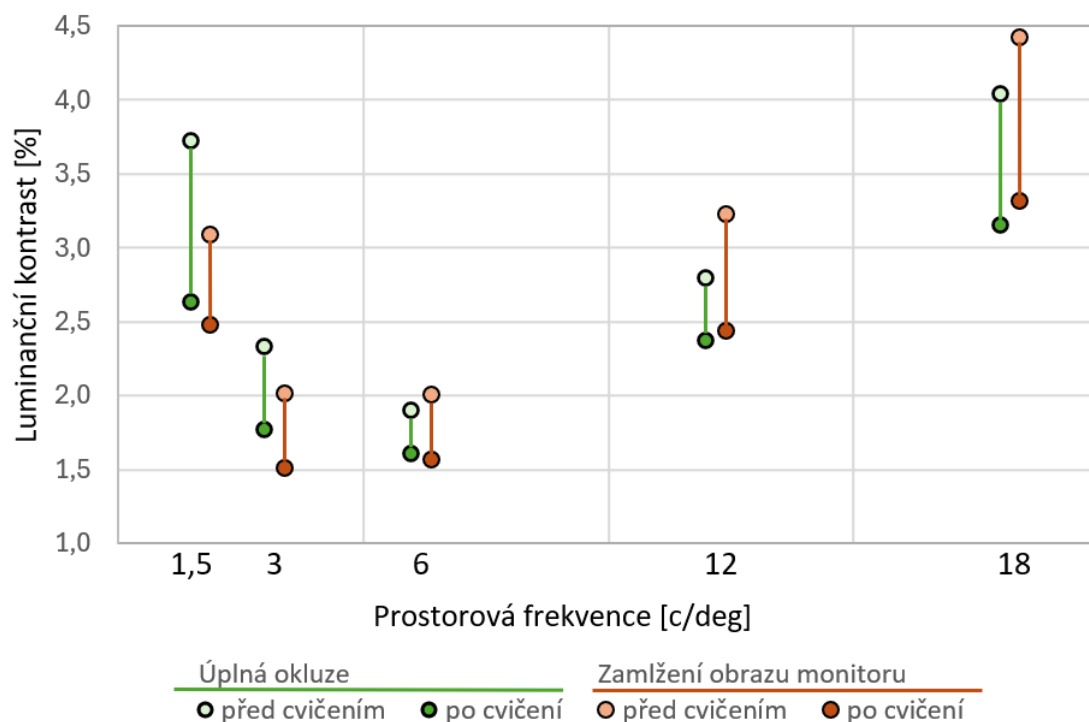


Obrázek 54: Graf průměrů naměřených hodnot pravého oka u subjektů z kontrolní skupiny bez amblyopie, které absolvovaly HTKC před a po cvičení nezaměřující se na zvýšení zrakové ostrosti

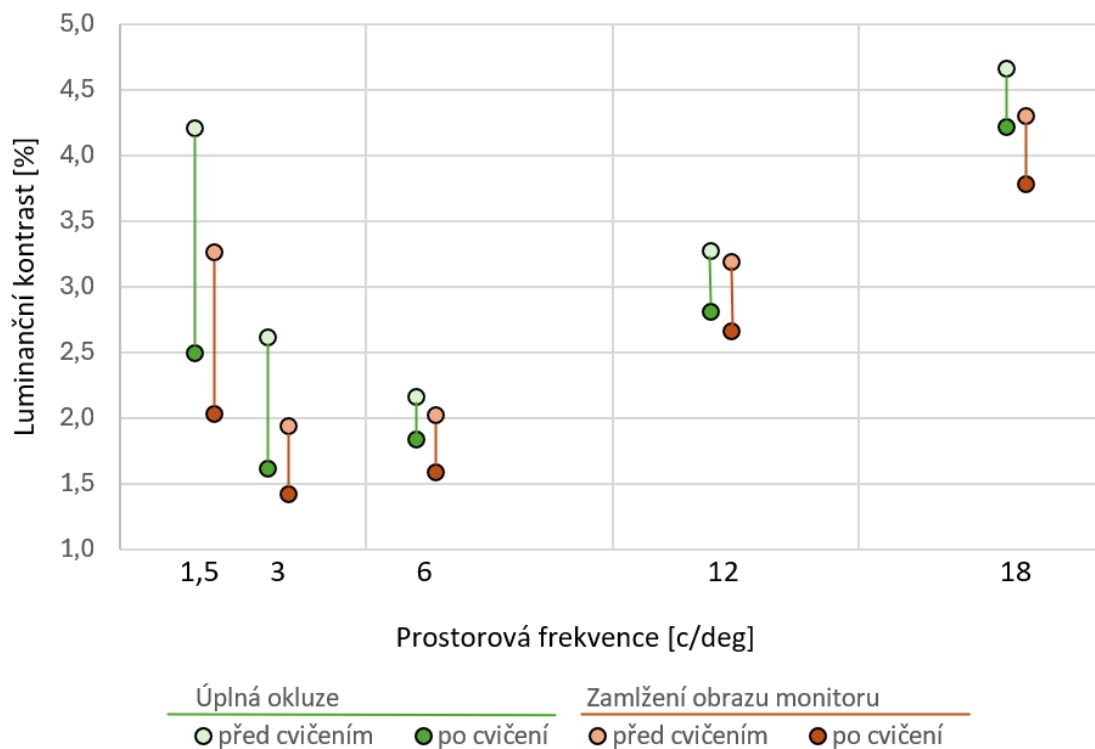


Obrázek 55: Graf průměrů naměřených hodnot levého oka u subjektů z kontrolní skupiny bez amblyopie, které absolvovaly HTKC před a po cvičení nezaměřující se na zvýšení zrakové ostrosti

6.4 Úplná okluze vs. Zamlžení



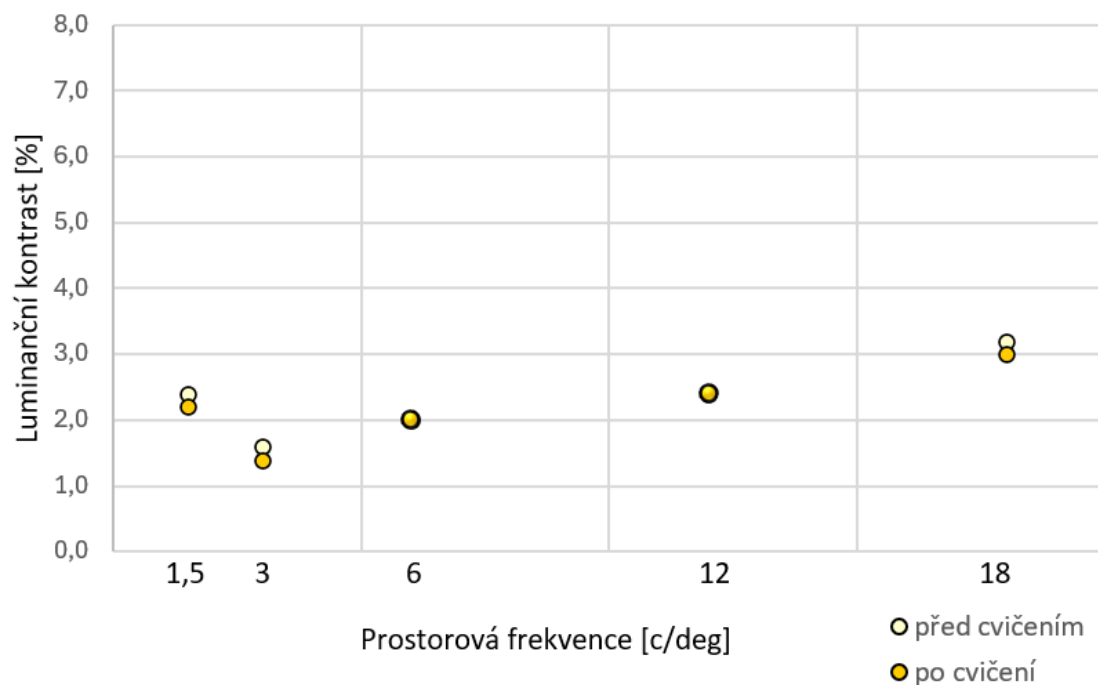
Obrázek 56: Porovnání efektivity pleoptického cvičení s úplnou okluzí a pleoptického cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru u anizometrické formy amblyopie.



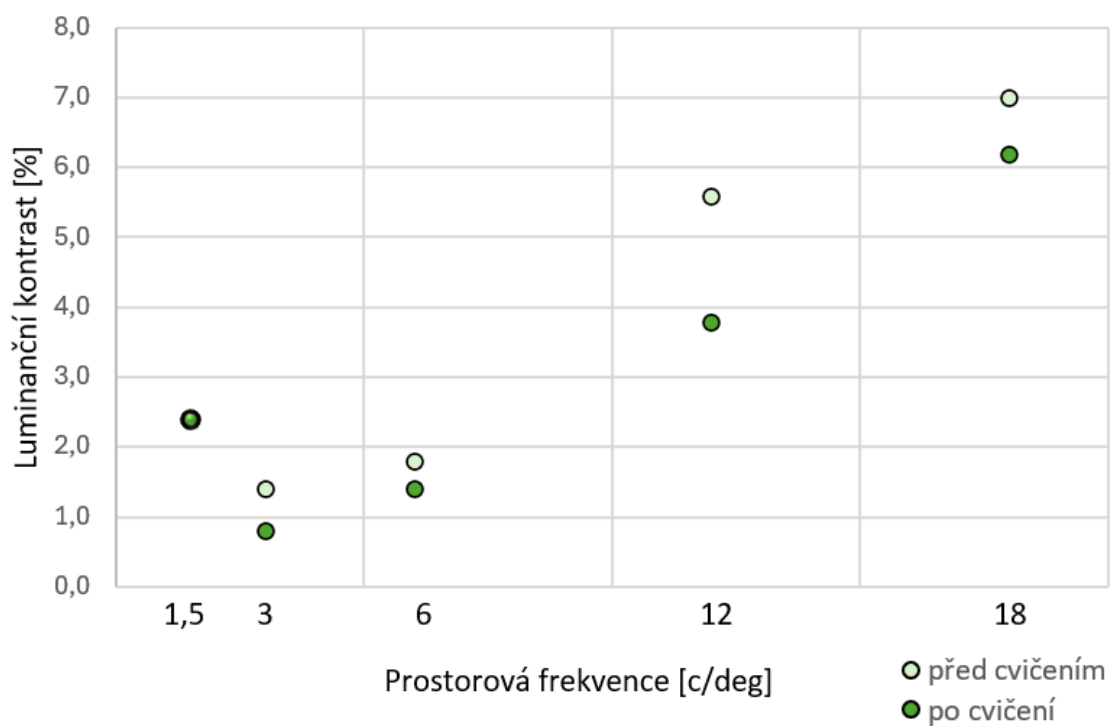
Obrázek 57: Porovnání efektivity pleoptického cvičení s úplnou okluzí a pleoptického cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru u strabické formy amblyopie.

6.5 Zamlžení dominantního oka u dospělých subjektů

Anizometropická amblyopie

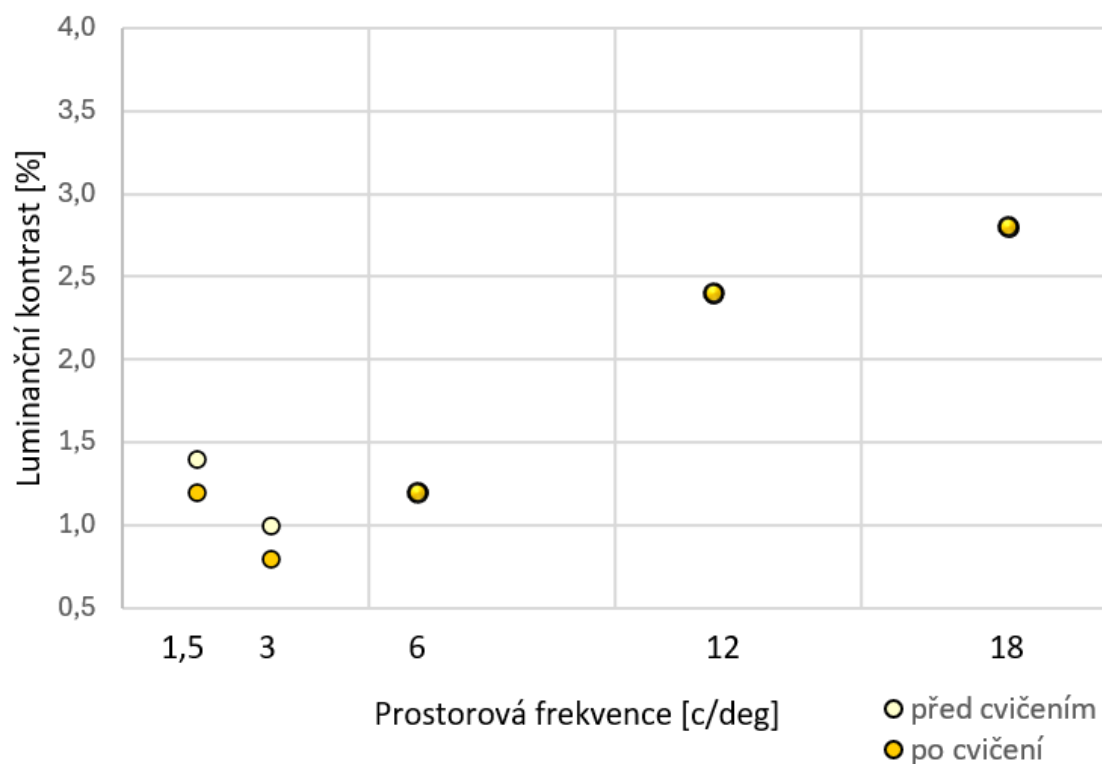


Obrázek 58: Anizometropická amblyopie – dominantní oko před a po cvičení (dospělý subjekt)

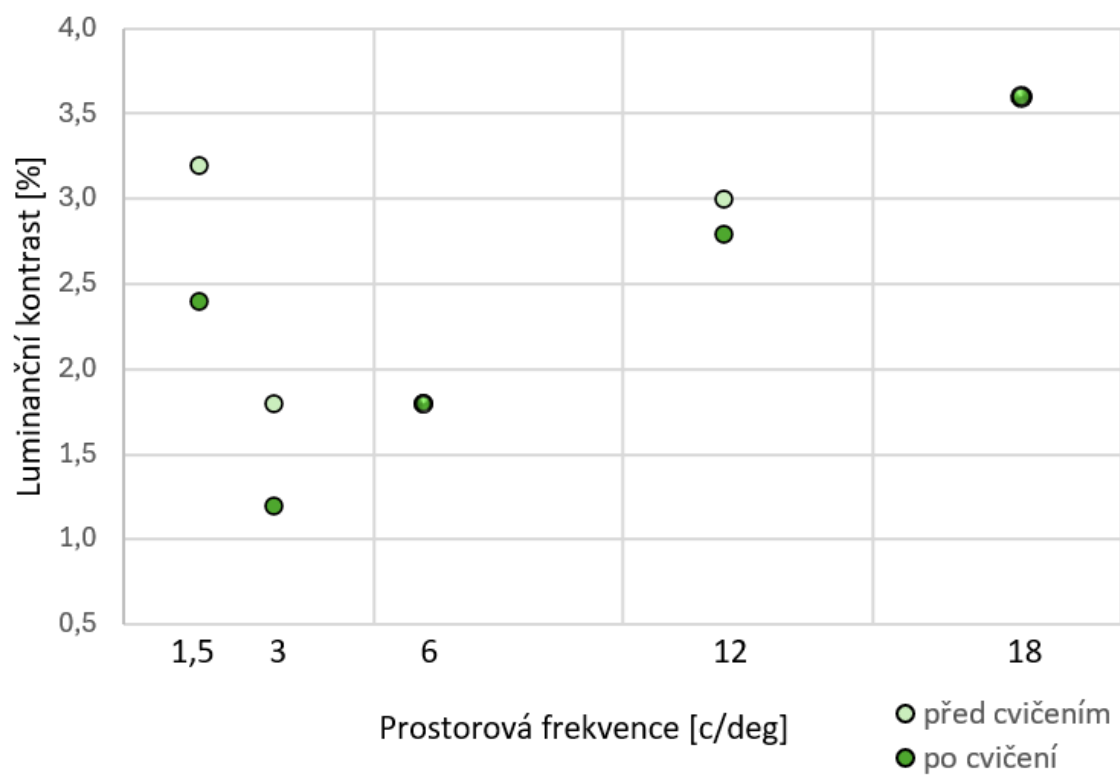


Obrázek 59: Anizometropická amblyopie – tupozraké oko před a po cvičení (dospělý subjekt)

Strabická amblyopie



Obrázek 60: Strabická amblyopie – dominantní oko před a po cvičení (dospělý subjekt)



Obrázek 61: Strabická amblyopie – tupozraké oko před a po cvičení (dospělý subjekt)

7 DISKUZE

Pro lepší přehled a možnost odkazování jsou v níže uvedené tabulce popsány cíle a hypotézy, které se vztahují k aktivitám v rámci disertační práce.

Tabulka 1: Přehled cílů a hypotéz

CÍLE	1	Návrh a ověření nového testu monokulární kontrastní citlivosti za binokulárních sledovacích podmínek, který by byl schopný citlivě kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u osob s amblyopií.
	2	Pilotně analyzovat rozdíly v monokulární kontrastní citlivosti za binokulárních podmínek u anizometropické a strabické formy amblyopie.
	3	Návrh nové metody pleoptického cvičení podporující binokulární spolupráci zdravého a tupozrakého oka při současném zachování binokulární fúze.
	4	Měření experimentálního souboru pacientů s tupozrakostí a porovnání výsledků klasické monokulární pleoptické léčby totální okluzí a nové binokulární léčebné metody.
HYPOTÉZY	1	Nově navržený haploskopický test kontrastní citlivosti je schopen kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u pacientů s tupozrakostí.
	2	Anizometropická tupozrakost zhoršuje kontrastní citlivost významněji ve vysokých prostorových frekvencích.
	3	Strabická forma tupozrakosti zhoršuje kontrastní citlivost významněji v nízkých prostorových frekvencích.
	4	Výsledky testování před a bezprostředně po pleoptickém cvičení jsou rozdílné pouze pro tupozraké oko.
	5	Účinnost pleoptického cvičení je závislá na věku pacienta.
	6	Po půlhodinovém binokulárním cvičení na haploskopické soustavě lze dosáhnout zlepšení kontrastní citlivosti také u dospělých subjektů.

Hlavním zjištěním této disertační práce je, že navržený haploskopický test kontrastní citlivosti (HTKC) je schopen kvantifikovat účinnost pleoptického tréninku u subjektů s anizometropickou a strabickou amblyopií – splněn cíl 1 a potvrzena hypotéza 1 (více v následujících odstavcích).

Jako základ experimentálního designu námi navrženého testu kontrastní citlivosti byl zvolen haploskopický princip disociace obrazů pro pravé a levé oko. Haploskopická projekce umožnila souběžné promítání optotypových sloupců odděleně a nezávisle pro každé oko. K dosažení této projekce byla použita soustava dvou LCD monitorů s polopropustným zrcadlem

a polarizačními brýlemi se zkříženou polarizací. Takové uspořádání projekčního systému umožnilo předložit nově vytvořené, tj. původní optotypové sloupce [91], pro kvantifikaci kontrastní citlivosti oběma očím tak, aby každému oku byl prezentován optotyp nezávisle na prezentaci optotypu pro druhé oko.

U standardně využívaných či experimentálních testů kontrastní citlivosti lze měření provádět monokulárně (jedním okem) či binokulárně (oběma očima současně) [99, 100, 101]. Při vyšetřování za monokulárních podmínek je výsledkem psychofyzikální kvantifikace testované funkce jednoho oka. Výsledek získaný na těchto optotypech za binokulárních podmínek představuje společný výsledek zpracování optotypu oběma očima, resp. nelze oddělit příspěvek pravého a levého oka do společného binokulárního vjemu. Pro některé oftalmologické či ortoptické léčebné postupy je však potřebné dostatečně přesně určit, jak vyváženě přispívá pravé a levé oko do výsledného binokulárního vjemu. Důvodem je skutečnost, že vzájemné interokulární působení monokulárních vstupů ovlivňuje binokulární sensorický výstup [102]. Při absenci monokulárního snížení kontrastní citlivosti, tedy při fyziologické rovnováze monokulárních vstupů, je výsledek binokulární sumace vyšší, než pokud je optotyp pozorován jedním okem. Při monokulárním snížení kontrastní citlivosti (například při tupozrakosti u jednoho oka) dochází ke snížení citlivosti i za binokulárních podmínek. Snížená kontrastní citlivost jednoho oka zhoršuje (tzv. maskuje) normální citlivost druhého oka, především ve vyšších prostorových frekvencích. Pokud se monokulární snížení kontrastní citlivosti dále prohlubuje, binokulární kontrastní citlivost se vrací na monokulární úroveň zdravého oka v důsledku úplného potlačení maskujícího vjemu hendikepovaného oka [102]. Test založený na haploskopické prezentaci umožňuje testovat monokulární kontrastní citlivost obou očí paralelně, ještě před fúzí monokulárních kanálů do binokulární sumace a dokumentovat tak, jakou mírou informací o kontrastu přispívá pravé a levé oko do společného binokulárního vjemu. Tato vlastnost HTKC je unikátní.

Luminanční kontrast je veličina udávající rozdíl mezi jasem nejtmašího a nejsvětějšího bodu hodnocené části vizuálního prostoru. Psychofyzikální testování citlivosti na luminanční kontrast je založeno na detekci prahové hodnoty, tedy nejmenšího kontrastu, který je testovaný subjekt ještě schopen subjektivně rozeznat. Práh kontrastní citlivosti je často popisován jako kontrastní citlivost, která ve skutečnosti představuje převrácenou hodnotu prahu kontrastní citlivosti (f^{-1}) [99]. Kontrastní citlivost je tím vyšší, čím nižší je kontrast (práh),

který je třeba k rozeznání obrazu. Kontrastní citlivost je vyjadřována v logaritmických jednotkách. Kontrastní prahy naměřené na různých prostorových frekvencích tvoří tzv. křivku kontrastní citlivosti. Nejvyšší citlivost na kontrast má lidské oko ve středních prostorových frekvencích (3 až 6 c/deg). U vysokých a nízkých prostorových frekvencí dochází k poklesu, proto má tato funkce zvonovitý tvar (plocha pod křivkou znázorňuje oblast vidění; plocha nad křivkou znázorňuje hodnoty, které jsou pro oko nerozeznatelné). Haploskopický test využívá k měření kontrastní citlivosti stejné hodnoty prostorových frekvencí (1,5; 3; 6; 12 a 18 c/deg) jako standardní vyšetřovací testy [99, 100], ale používá k detekci prahu kontrastní citlivosti inverzní stupnici - lineární zvyšování luminančního kontrastu v procentech (Obrázek 24), tj. plocha pod křivkou znázorňuje oblast hodnot pro oko nerozeznatelné a plocha nad křivkou definuje oblast vidění. Proto by měla mít křivka výsledků obvyklý zvonovitý tvar převrácený (nejnižších prahových hodnot by měly dosahovat střední prostorové frekvence a u nízkých a vysokých frekvencí by mělo docházet k nárůstu). Tento předpokládaný trend vykazují všechny výsledné grafy naměřených hodnot u experimentálních souborů s anizometropickou a strabickou amblyopií (obrázky 42-61).

7.1 Ověření haploskopického testu kontrastní citlivosti

U subjektů s anizometropickou amblyopií se výsledky HTKC bezprostředně po pleoptickém tréninku výrazně liší od výsledků naměřených před ním. Výsledky u amblyopického oka naměřené před cvičením dosahují vyšších hodnot luminančního kontrastu (nižší citlivost na kontrast) než výsledky naměřené po cvičení, a to ve všech testovaných prostorových frekvencích (obrázek 44). Tyto rozdíly jsou vysoce statisticky významné. Největších rozdílů dosahují hodnoty především ve vysokých prostorových frekvencích: 12 c/deg ($p < 0,01$) a 18 c/deg ($p < 0,0001$), ale i u nízkých frekvencí: 1,5 c/deg ($p < 0,0001$), a 3 c/deg ($p < 0,01$). Těmito výsledky byla částečně potvrzena hypotéza 2.

Výsledky subjektů se strabickou formou amblyopie se liší od výsledků subjektů s anizometropickou amblyopií. U strabické formy došlo po pleoptickém cvičení k vysoce statisticky významnému zlepšení hodnot pouze u nízkých prostorových frekvencí: 1,5 c/deg ($p < 0,0001$) a 3 c/deg ($p < 0,0001$). Naše dosavadní výsledky a experimentální výsledky některých studií [103, 104] naznačují, že by se strabická forma amblyopie mohla vyznačovat spíše ztrátou citlivosti na kontrast u nižších prostorových frekvencí, které zpracovává

magnocelulární systém (vysoké prostorové frekvence zpracovává systém parvocelulární)
– splněn cíl 2 a potvrzena hypotéza 3.

Méně výrazný rozdíl mezi hodnotami naměřenými před a po cvičení u obou forem amblyopie vykazalo i dominantní oko, které bylo během cvičení tupozrakého oka zakryto (obrázek 42 a 46). Tento jev by mohl být generován dočasnou obrazovou deprivací dominantního oka s vyšší citlivostí oka na světlo bezprostředně po jeho odkrytí. Experimentální studie ukázaly, že krátkodobá okluze je spojena s dočasnou stimulací plasticity okludovaného (tj. zakrytého) dominantního oka [103, 105]. Dominantní oko, které je okludováno v průběhu cca 15minutového cvičení amblyopického oka, rozlišuje po odkrytí nižší hodnoty luminančního kontrastu, resp. prokazuje vyšší citlivost na kontrast. Krátkodobá monokulární deprivace zvyhodňuje senzorické schopnosti deprivovaného (zakrytého) oka [103, 106, 107, 104]
– vyvrácena hypotéza 4.

Statisticky významné výsledky experimentálního souboru pacientů s anizometropickou a strabickou amblyopií prokázaly, že HTKC dokáže citlivě zachytit změny v kontrastní citlivosti tupozrakého oka, které jsou způsobeny pleoptickým cvičením. Výsledky zaznamenané v procentech umožňují hodnotit stav obou očí před cvičením a po cvičení, také lze bezprostředně určit monokulární příspěvky do výsledného binokulárního vjemu, tedy vzájemně porovnávat příspěvky pravého a levého oka mezi sebou.

7.2 Efektivita pleoptického cvičení dle věku

Jak již bylo v teoretické části zmíněno, úspěšnost pleoptické terapie je závislá na jejím včasném odhalení. U nejmladších pacientů je pravděpodobnost úplného vyléčení tupozrakosti pleoptickou terapií vyšší, než u pacientů staršího věku, u kterých dochází k pomalejší obnově zrakových funkcí. Tento předpoklad potvrdily klinické výzkumy skupiny PEDIG, které se zabývaly porovnáním efektivity léčby mladších a starších pacientů [62]. Pro potvrzení tohoto předpokladu byly v rámci této disertační práce subjekty s anizometropickou i strabickou amblyopií rozděleny do dvou věkových kategorií. U těchto dvou skupin byly následně porovnány výsledky HTKC před a po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí dominantního oka.

U mladších subjektů s anizometropickou tupozrakostí lze pozorovat vyšší efektivitu pleoptického cvičení (obrázek 50), která se v porovnání se starší věkovou kategorií

(obrázek 51) projevila především v oblasti nízkých prostorových frekvencí. Ve vysokých prostorových frekvencích (18 c/deg) pozorujeme jen mírné rozdíly ve prospěch mladší věkové kategorie.

U subjektů se strabickou amblyopií se vyšší efektivita pleoptického cvičení projevila u mladší kategorie především v nízkých prostorových frekvencích (1,5 c/deg a 3 c/deg). Ve středních a vysokých frekvencích nejsou pozorovány signifikantní rozdíly.

Z naměřených výsledků tedy můžeme potvrdit, že u obou forem amblyopie mělo pleoptické cvičení vyšší efekt u mladších subjektů. U této věkové kategorie subjektů s anizometropickou formou tupozrakosti byly více ovlivněny nízké, ale i vysoké prostorové frekvence (magnocelulární i parvocelulární systém). U mladších subjektů se strabickou formou mělo pleoptické cvičení vyšší efekt pouze v nízkých prostorových frekvencích zpracovávaných magnocelulárním systémem. Tyto výsledky potvrdily hypotézu 5.

7.3 Kontrolní skupina

Pro potvrzení správné funkčnosti HTKC byla vytvořena kontrolní skupina dětských pacientů bez amblyopie (diagnóza – exces divergence), kteří absolvovali HTKC před a po cvičení, které se nezaměřuje na zvýšení zrakové ostrosti (ortoptická léčba na posilování konvergence, cvičení šířky fúze a posílení vnitřních přímých svalů). U těchto pacientů byly porovnávány výsledky pravého a levého oka před a bezprostředně po ortoptickém cvičení.

Výsledky pacientů z kontrolní skupiny nevykazují téměř žádné rozdíly v citlivosti na kontrast u pravého a levého oka před a po ortoptickém cvičení (obrázek 54 a 55). Tyto výsledky dopomohly k ověření správné funkčnosti našeho nového haploskopického testu.

7.4 Úplná okluze vs. Zamlžení

Pleoptická terapie s totální okluzí dominantního oka je dosud nejčastěji využívanou metodou pro léčbu tupozrakosti dětských pacientů. Alternativou pak může být farmakologická penalizace či optická penalizace. U těchto metod dochází ke znevýhodnění zdravého oka pomocí cykloplegických látek (případně doplněné brýlovými skly, které neodpovídají aktuální refrakci). Jedná se tedy o tzv. parciální okluze, které podporují binokulární spolupráci očí.

Účinek cykloplegických látek přetrvává až několik dní v závislosti na použité koncentraci. Není tedy možné v případě potřeby léčbu okamžitě ukončit. Cykloplegické látky se tedy využívají u mladších pacientů s lehkou amblyopií a nejsou vhodné pro starší či dospělé pacienty právě z důvodu dlouhodobého snížení zrakové ostrosti zdravého oka, které by pak mohlo být překážkou ve vykonávání různých aktivit (jízda na kole, řízení automobilu atd.).

Z tohoto důvodu byla v rámci této práce navržena metoda, při které je zdravé oko „zamlženo“ pod úroveň tupozrakého oka. Pro tento účel byla využita haploskopická zobrazovací soustava (stejně jako pro HTKC) a byla vyvinuta speciální aplikace, která umožňuje flexibilní manipulaci s obrazy jednotlivých monitorů – splněn cíl 3.

Výsledky subjektů s anizometropickou tupozrakostí (obrázek 56)

Z výsledků HTKC lze pozorovat, že klasická pleoptika s úplnou okluzí i haploskopická pleoptika se zamlžením ovlivňují prostorové frekvence v celém rozsahu (nízké, střední i vysoké). Ve středních a vysokých prostorových frekvencích se projevil vyšší impakt u haploskopické metody se zamlžením oproti klasické pleoptice. Vysoké prostorové frekvence jsou důležité pro praktické vidění (detaily, které zpracovává parvocelulární část zrakové dráhy). U nízkých prostorových frekvencí je efekt haploskopického cvičení nižší, než u vysokých prostorových frekvencí.

Efekt klasické pleoptické léčby je v porovnání s haploskopickou pleoptikou menší ve všech prostorových frekvencích s výjimkou nejnižší prostorové frekvence (1,5 c/deg).

Výsledky subjektů se strabickou tupozrakostí (obrázek 57)

Výsledky HTKC naznačují, že klasická pleoptika s úplnou okluzí má vyšší impakt na zlepšení kontrastní citlivosti v nízkých prostorových frekvencích v porovnání s haploskopickou metodou se zamlžením. Oproti tomu se haploskopická pleoptika vyznačuje vyšší efektivitou ve středních a vysokých prostorových frekvencích.

Na obrázku 57 si lze povšimnout, že průměry testovaných subjektů před pleoptickým tréninkem s okluzí (světle zelené body) dosahují vyšších hodnot (tedy horších výsledků HTKC), než průměry těch stejných subjektů před pleoptickým haploskopickým tréninkem se zamlžením (světle červené body). Tento trend se projevil u všech testovaných prostorových frekvencí u strabické formy tupozrakosti a u nízkých prostorových frekvencí (1,5 a 3 c/deg)

u anizometropické formy tupozrakosti (obrázek 56). Tento jev byl pravděpodobně způsoben tzv. percepčním učením, které zapříčinilo zlepšení senzorického vidění na základě předchozí zkušenosti [108]. Pokud je vizuální podnět repetitivní, dochází ke stimulaci senzorického učení u amblyopického oka. Zde naše použití „naivních“ pozorovatelů, kteří absolvovali haploskopický test pro vyšetření kontrastní citlivosti poprvé, pravděpodobně vedlo k pozorování obecného efektu percepčního učení po dalším testování. Pro budoucí experimenty by tedy bylo třeba experimentální subjekty „předtrénovat“, dokud nebude dosaženo stabilního výkonu. Vliv percepčního učení na testování kontrastní citlivosti potvrdily následující experimentální studie [109, 110].

Rozdíly mezi klasickým monokulárním pleoptickým cvičením a binokulárním haploskopickým cvičením nejsou výrazné. Obě metody pleoptického cvičení vykazaly podobně dobré výsledky u anizometropické i strabické amblyopie. Výhodou haploskopického cvičení se zamlžením dominantního oka je však podpora binokulární spolupráce zdravého a tupozrakého oka za současného zachování binokulární fúze – splněn cíl 4.

7.5 Zamlžení dominantního oka u dospělých subjektů

U testovaného dospělého subjektu s anizometropickou amblyopií se výsledky HTKC u tupozrakého oka liší ve všech prostorových frekvencích s výjimkou nejnižší (1,5 c/deg). Nejvyšší efekt se projevil u vysokých prostorových frekvencí – 12 a 18 c/deg (obrázek 59).

U testovaného dospělého subjektu se strabickou amblyopií se výsledky HTKC u tupozrakého oka liší pouze v nízkých prostorových frekvencích – 1,5 a 3 c/deg (obrázek 61).

Z výsledků je tedy patrné, že haploskopické cvičení se zamlžením dominantního oka je efektivní i u dospělých subjektů – potvrzena hypotéza 6. Nevýhodou terapie dospělých tupozrakých pacientů je její časová náročnost a z ní plynoucí neochota spolupráce. Haploskopická soustava umožňuje využít PC k jakýmkoliv pracovním aktivitám, či běžným aktivitám (práce s emaily, vyhledávání na internetu prostřednictvím www prohlížeče atd.). To by umožnilo dospělým pacientům pravidelně cvičit při současném vykonávání jejich pracovních povinností na počítači, čímž by byla umožněna dostatečná pravidelnost i délka cvičení.

7.6 Limitace

U této disertační práce se projevilo několik limitací.

První limitací je nedostatečná rychlost aplikace, která umožňuje duplikovat obraz z primárního monitoru na sekundární monitor. Obraz sekundárního monitoru se zobrazuje s nepatrným zpožděním, což znemožňuje sledování dynamických dějů v průběhu cvičení (videa atd.).

Ke cvičení na haploskopické soustavě je využívána počítačová myš, což se ukázalo být problematické především u nejmladších subjektů (4-5 let). Z důvodu umístění optického děliče mezi dvěma monitory nelze využít dotykových displejů, které by umožnily lepší spolupráci subjektů nejmladší věkové kategorie.

Poslední zaznamenanou limitací je vliv percepčního učení na výsledky HTKC (viz. kapitola 7.4), který zapříčinil zkreslení výsledků pro porovnávání efektu jednotlivých metod pleoptického cvičení na kontrastní citlivost. Tento jev je třeba vzít v potaz pro další experimenty.

8 PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR BIOMEDICÍNSKÉ INŽENÝRSTVÍ

Léčbou tupozrakosti se zabývají tzv. pleoptické metody v kombinaci s pleoptickým cvičením. Zatím však neexistuje žádná metrika pro ověřování a porovnávání vlivu těchto terapeutických metod na zrakovou ostrost léčeného oka. V průběhu léčby by mělo docházet k postupnému zlepšování zrakové ostrosti tupozrakého oka. Stejného efektu by mělo být docíleno i po intenzivním pleoptickém cvičení v ortopticko-pleoptické cvičebně. Pro vyhodnocování efektivity pleoptického cvičení je tedy velice důležité dostatečně přesně určit zrakovou ostrost před a po cvičení, což klasické písmenové optotypy neumožňují. Vhodnějšími testy pro zachycení změny zrakové ostrosti jsou testy kontrastní citlivosti, které popisují vlastnosti vidění jak ve vysokých prostorových frekvencích, tak i v nízkých prostorových frekvencích. Z tohoto hlediska nám testy založené na kontrastní citlivosti nabízejí daleko více informací o funkcích zrakového systému.

Standardní měření kontrastní citlivosti se provádí monokulárně nebo binokulárně, obdobně jako při vyšetřování centrální zrakové ostrosti. Při vyšetřování za monokulárních podmínek je výsledkem psychofyzikální kvantifikace testované funkce jednoho oka. Výsledek získaný za binokulárních podmínek představuje společný výsledek zpracování optotypu oběma očima, resp. nelze oddělit příspěvek pravého a levého oka do společného binokulárního vjemu).

Především pro metody zabývající se léčbou tupozrakosti je však potřebné dostatečně přesně určit, jak vyváženě přispívá pravé a levé oko do výsledného binokulárního vjemu. Důvodem je skutečnost, že vzájemné interokulární působení monokulárních vstupů ovlivňuje binokulární senzorický výstup.

Z těchto důvodů byl navržen haploskopický test kontrastní citlivosti a zároveň byla využita haploskopická prezentace obrazů pro vytvoření nové metody pleoptického cvičení.

PŘÍNOSY

Haploskopický test kontrastní citlivosti

- Nově navržený HTKC je schopen kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u subjektů s anizometropickou a strabickou amblyopií a podává reprodukovatelné informace o efektivitě samotné ortopticko-pleoptické léčby. Je tak možné individuálně porovnávat vliv jednotlivých metod.

- Inovativní design HTKC používá k měření citlivosti na kontrast vertikálně posuvné optotypové sloupce s vodorovnými sinusoidálními kontrastními pruhy. Kontrast sinusoidálních pruhů se na optotypovém sloupci postupně mění. Velikost dílčí změny kontrastu sousedících sinusoidálních pruhů je stejná, změna kontrastu v průběhu celého optotypového sloupce je lineární a umožňuje tak určit přesnou hodnotu citlivosti na kontrast v rozsahu od 0 do 100 %, což klasické vyšetřovací tabule používané v klinické praxi neumožňují.
- Test založený na haploskopické prezentaci umožňuje testovat monokulární kontrastní citlivost obou očí souběžně pomocí dvou nezávislých optotypových sloupců ještě před fúzí monokulárních kanálů do binokulární sumace a dokumentovat tak, jakou mírou informací o kontrastu přispívá pravé a levé oko do společného binokulárního vjemu. Tato vlastnost HTKC je unikátní.

Haploskopické pleoptické cvičení se zamlžením obrazu monitoru

- Haploskopická prezentace obrazů spolu s nově navrženou aplikací, která umožňuje cíleně manipulovat s obrazy jednotlivých monitorů, umožnila vytvořit novou metodu pleoptického cvičení podporující binokulární spolupráci obou očí se současným zachováním binokulární fúze.

9 ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že byly v rámci disertační práce splněny stanovené cíle a ověřeny hypotézy.

Byl navržen test pro měření monokulární kontrastní citlivosti za haploskopických binokulárních sledovacích podmínek (tj. haploskopický test kontrastní citlivosti – HTKC, užitný vzor: PUV 2024-42026 zn. 73631) a byla testována jeho funkčnost a schopnost kvantifikovat efekt pleoptického cvičení na kontrastní citlivost dětských subjektů v klinických podmínkách. V rámci práce proběhlo měření u pilotního souboru pacientů s anizometropickou a strabickou formou amblyopie. U experimentálního souboru subjektů se prokázalo, že nově navržený HTKC umožňuje citlivě kvantifikovat účinnost pleoptického cvičení u osob s anizometropickou i strabickou amblyopií a podává reprodukovatelné informace o efektivitě samotné ortopticko-pleoptické léčby. Nový HTKC má navíc jedinečnou schopnost testovat monokulární kontrastní citlivost obou očí paralelně, ještě před fúzí monokulárních kanálů do binokulární sumace a dokumentovat tak, jakou mírou informací o kontrastu přispívá pravé a levé oko do společného binokulárního vjemu.

Dále byla navržena nová metoda pleoptického cvičení podporující binokulární spolupráci zdravého a tupozrakého oka při současném zachování binokulární fúze. Byla ověřena její efektivita v porovnání s nejčastěji používanou monokulární metodou s úplnou okluzí dominantního oka. Tato nová binokulární pleoptická terapie vykazala velmi dobré výsledky u obou forem amblyopie a jeví se jako vhodná alternativa k terapii s úplnou okluzí pro děti mladšího i staršího školního věku a pro dospělé pacienty.

10 AUTORŮV PODÍL

Autor v rámci disertační práce samostatně realizoval následující:

- Návrh haploskopického testu kontrastní citlivosti (HTKC),
- koordinace studie,
- měření HTKC u všech testovaných subjektů,
- technická podpora při pleoptickém cvičení testovaných subjektů na haploskopické soustavě,
- kontrola aktuální refrakce testovaných subjektů,
- statistické zpracování naměřených dat,
- publikace technického řešení a pilotních výsledků,
- sepsání této práce.

Spolupráce autora v rámci týmu:

- Návrh speciální aplikace umožňující duplikovat obraz z primárního monitoru na sekundární monitor (aplikace „zamlžení“),
- realizace studie.

11 REFERENCE

- [1] M. Dostálek, J. Hejda, K. Fliegel, M. Ducháčková, L. Dušek, J. Hozman, T. Lukeš a R. Autrata, „Influence of artificially generated interocular blur difference on fusion stability under vergence stress,“ *Journal of Eye Movement Research*, sv. 12, č. 4, 2019.
- [2] J. Bullier, „Integrated model of visual processing,“ *Brain Research Reviews*, sv. 36, č. 2-3, pp. 96-107, 2001.
- [3] A. De Cesarei a G. R. Loftus, „Global and local vision in natural scene identification,“ *Psychonomic Bulletin & Review*, sv. 18, č. 5, pp. 840-847, 2011.
- [4] A. De Cesarei, S. Mastria a M. Codispoti, „Early spatial frequency processing of natural images: an ERP study,“ *PLoS One*, sv. 8, č. 5, 2013.
- [5] L. Kauffmann, S. Ramanoel a C. Peyrin, „The neural bases of spatial frequency processing during scene perception. Frontiers in Integrative,“ *Neuroscience*, sv. 8, č. 37, 2014.
- [6] M. de Buffon, „Dissertation on the cause of strabismus or squint. Translated from: "Dissertation,“ *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1743.
- [7] A. M. F. Wong, „Implications of interocular suppression in the treatment of amblyopia,“ *Journal of AAPOS : the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, sv. 15, č. 5, pp. 417-8, 2011.
- [8] B. J. W. Evans, *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*, 6th edition, Elsevier, 2021.
- [9] P. Rozsival, *Oční lékařství*, 1. vydání, Praha: Galén-Karolinum, 2006.
- [10] G. Divišová, *Strabismus*, 2. vydání, Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1979.
- [11] L. Hromádková, *Šilhání*. 2. vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995.
- [12] F. J. Rowe, *Clinical Orthoptics*, 3rd Edition, Oxford: Wiley-Blackwell, 2012.
- [13] M. Dostálek a M. Petrišáková, „Senzorická fúze,“ *Folia strabologica et neuroophthalmologica*, č. 11 (suppl.1), pp. 28-36, 2008.
- [14] Y. Boger, „The VRguy's Blog,“ 10 05 2013. [Online]. Available: <https://vrguy.blogspot.com/2013/05/what-is-binocular-overlap-and-why.html>. [Přístup získán 02 06 2024].
- [15] D. Stidwill a R. Fletcher, *Normal Binocular Vision: Theory, Investigation and Practical Aspects*, Hoboken: Wiley, 2017.
- [16] A. Anzai a G. C. DeAngelis, „Neural computations underlying depth perception,“ *Current Opinion in Neurobiology*, sv. 20, č. 3, pp. 367-375, 06 2010.

- [17] S. B. Steinman, B. A. Steinman a R. P. Garza, *Foundations of Binocular Vision: A Clinical Perspective*, New York: McGraw-Hill Companies, 2000.
- [18] P. Kuchyňka, *Oční lékařství*. 1.vyd., Praha: Grada, 2007, pp. 645-725.
- [19] G. K. von Norden a E. C. Campos, *Binocular Vision and Ocular Motility: theory and management of strabismus*. 6th edition, St. Louis: Mosby, 2002.
- [20] K. W. Wright, P. H. Spiegel a L. S. Thompson, *Handbook of Pediatric Strabismus and Amblyopia*, New York: London: Springer, 2006.
- [21] K. W. Wright a P. H. Spiegel, *Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 2nd edition, New York: Springer NY, 2012.
- [22] M. Vaziri-Pashkam, J. Taylor a Y. Xu, „Spatial Frequency Tolerant Visual Object Representations in the Human Ventral and Dorsal Visual Processing Pathways,“ *Journal of Cognitive Neuroscience*, sv. 31, č. 1, p. 49–63, 2019.
- [23] B. R. Sheth a R. Young, „Two Visual Pathways in Primates Based on Sampling of Space: Exploitation and Exploration of Visual Information,“ *Front Integr Neurosci*, 2016.
- [24] E. H. F. de Haan a A. Cowey, „On the usefulness of ‘what’ and ‘where’ pathways in vision,“ *Trends in Cognitive Sciences*, sv. 15, č. 10, pp. 460-466, 2011.
- [25] M. S. Livingstone a D. H. Hubel, „Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth,“ *Journal of Neuroscience*, sv. 7, č. 11, pp. 3416-3468, 1987.
- [26] J. Bullier, „Integrated model of visual processing,“ *Brain Research. Brain Research Reviews*, sv. 36, č. 2-3, pp. 96-107, 2001.
- [27] P. G. Schyns a A. Oliva, „From blobs to boundary edges: Evidence for time- and spatial-scale-dependent scene recognition,“ *Psychological Science*, sv. 5, č. 4, pp. 195-200, 1994.
- [28] L. Kauffmann, S. Ramanoël a C. Peyrin, „The neural bases of spatial frequency processing during scene perception,“ *Front. Integr. Neurosci*, sv. 8, 2014.
- [29] D. Alais a R. Blake, *Binocular rivalry*, Cambridge: MIT Press, 2005.
- [30] M. Dostálek, P. Betlachová, R. Autrata, J. Řehůřek a M. Petrišćáková, „Supresní mechanismy ve fyziologii binokulárního vidění,“ *Folia strabologica et neuroophthalmologica*, č. 13 (suppl.1), pp. 21-30, 2012.
- [31] H. M. Burian a G. K. von Noorden, *Binocular vision and ocular motility. Theory and management of strabismus*, St. Louis: C. V. Mosby Company, 1974.
- [32] L. A. Levin, S. F. E. Nilsson, J. V. Hoeve, S. Wu, P. L. Kaufman a A. Alm, *Adler's Physiology of the Eye*, 11th Edition, Elsevier, 2011.

- [33] M. Dostálek, J. Hejda, K. Fliegel, M. Ducháčková, L. Dusek, J. Hozman, T. Lukeš a R. Aufrata, „Influence of artificially generated interocular blur difference on fusion stability under vergence stress,” *Journal of Eye Movement Research*, sv. 12, č. 4, 2019.
- [34] R. Harrad, „Psychophysics of suppression,” *Eye*, p. 270–273, 1996.
- [35] D. M. Levi, „Amblyopia,” *Handbook of clinical neurology*, sv. 178, pp. 13-30, 2021.
- [36] F. Sengpiel, „Amblyopia: Out of the Dark, Into the Light,” *Current Biology*, sv. 23, č. 5, pp. R195-R196, 03 2013.
- [37] E. E. Birch, V. Subramanian a D. R. Weakley, „Fixation instability in anisometropic children with reduced stereopsis,” *J AAPOS*, sv. 17, č. 3, pp. 287-290, 2013.
- [38] A. L. Webber, „The functional impact of amblyopia,” *Clinical & experimental optometry*, sv. 101, č. 4, pp. 443-450, 2018.
- [39] K. Blair, G. Cibis, M. Zeppieri a A. C. Gulani, „Amblyopia,” *StatPearls Publishing*, 2024.
- [40] B. J. W. Evans, „Amblyopia and Eccentric Fixation, 6th edition,” v *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*, Elsevier, 2021, pp. 173-197.
- [41] R. M. B. Zagui, „Amblyopia: Types, Diagnosis, Treatment, and New Perspectives,” *American Academy of Ophthalmology*, 2019.
- [42] D. J. M. Godts a D. G. P. Mathysen, „Amblyopia with Eccentric Fixation: Is Inverse,” *Journal of Binocular Vision and Ocular Motility*, pp. 131-135 , 2018.
- [43] D. M. S. S. Levi a D. G. Pelli, „Amblyopic reading is crowded,” *Journal of Vision*, sv. 7, č. 2, 10 2007.
- [44] A. Hill, „Strabismic Surgery,” Vision Center, 21 02 2024. [Online]. Available: <https://www.visioncenter.org/surgery/strabismus/>. [Přístup získán 05 05 2024].
- [45] R. J. Babu, S. R. Clavagnier, W. Bobier, B. Thompson a R. F. Hess, „The Regional Extent of Suppression: Strabismics Versus Nonstrabismics,” sv. 54, č. 10, 2013.
- [46] S. J. Murray a C. J. Codina, „The Role of Binocularity in Anisometropic Amblyopia,” *Journal of Binocular Vision and Ocular Motility*, sv. 69, č. 4, pp. 141-152, 2019.
- [47] R. Harrad, F. Sengpiel a C. Blakemore, „Physiology of suppression in strabismic amblyopia,” *The British journal of Ophthalmology*, sv. 80, č. 4, pp. 373-7, 1996.
- [48] M. Pianta a M. Kalloniatis, „Characteristics of anisometropic suppression: simple reaction time measurements,” *Percept Psychophys*, sv. 60, č. 3, pp. 491-502, 1998.
- [49] T. Hensch a E. Quinlan, „Critical periods in amblyopia,” *Visual Neuroscience*, 2018.
- [50] C. N. Levelt a M. Hübener, „Critical-period plasticity in the visual cortex,” *Annu Rev Neurosci*, sv. 35, pp. 309-330, 2012.

- [51] R. F. Hess a B. Thompson, „New insights into amblyopia: binocular therapy and noninvasive brain stimulation,“ *J AAPOS*, sv. 17, č. 1, pp. 89-93, 2013.
- [52] C. De Buffon, *Disseration sur la cause du strabisme ou des yeux louches*, Paris: Me. Acad Roy Sci, 1743.
- [53] S. Bhattarai, A. Chandan a A. Subedi, „Amblyopia : classification & Occlusion therapy,“ 17 05 2019. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/slideshow/amblyopia-classification-occlusion-therapy-141098270/141098270>. [Přístup získán 04 05 2024].
- [54] B. Evans a S. Doshi, *Binocular Vision & Orthoptics, Investigation and Management*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [55] Centro Style S.p.A., „Bangerter Filter,“ [Online]. Available: <https://www.centrostyle.com/en/bangerter-filter/product.php?cod=00052&ccod=18014>. [Přístup získán 04 06 2024].
- [56] G. M. Pérez, S. M. Archer a P. Artal, „Optical Characterization of Bangerter Foils,“ *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, pp. 609-613, 01 2010.
- [57] M. Ducháčková, „Dichoptické maskování jako indikátor suprese technicky degradovaného monokulárního obrazu v prostředí PC haploskopu,“ *Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta biomedicínského inženýrství. Katedra biomedicínské techniky*, Kladno, 2013.
- [58] M. G. Rees, C. L. Woo a B. Optom, „Pediatric eye disease investigator group amblyopia treatment review,“ *The American orthoptic journal*, sv. 57, pp. 99-103, 2007.
- [59] D. DeSantis, „Amblyopia,“ *Pediatric Clinics of North America*, sv. 61, č. 3, pp. 505-518, 2014.
- [60] M. Buckle, C. S. P. Billington a J. D. Ferris, „Treatment outcomes for amblyopia using PEDIG amblyopia protocols: a retrospective study of 877 cases,“ *Journal of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, sv. 32, č. 2, 05 2019.
- [61] Pediatric Eye Disease Investigator Group, „Risk of amblyopia recurrence after cessation of treatment,“ *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, sv. 8, č. 4, pp. 420-428, 10 2004.
- [62] Pediatric Eye Disease Investigator Group, „Randomized trial of treatment of amblyopia in children aged 7 to 17 years,“ *Arch Ophthalmol*, sv. 123, č. 4, pp. 437-447, 04 2005.
- [63] Pediatric Eye Disease Investigator Group, „A randomized trial comparing Bangerter filters and patching for the treatment of moderate amblyopia in children,“ *Ophthalmology*, sv. 117, č. 5, pp. 998-1004, 05 2010.
- [64] P. Novák, „Cvičení a diagnostika strabismu (šilhavosti),“ 16 11 2015. [Online]. Available: <https://cyber.felk.cvut.cz/novakpe/Projekty/Strabismus/PhpXmlTextToHtml.php?fileTexts=TextsPageInsWinStrabRehab&fileLog=WinStrabRehab&usrType=GuestDoctor&usrCode=None&usrPsw=None>. [Přístup získán 01 03 2024].

- [65] P. Novák, „Cvičení a diagnostika strabismu (šilhavosti) - Popis úloh,“ 03 02 2021. [Online]. Available: [https://cyber.felk.cvut.cz/novakpe/Projekty/Strabismus/Installs/StrabRehabA/Docs/StrabRehab%20A%20\(2021-02-03\).pdf](https://cyber.felk.cvut.cz/novakpe/Projekty/Strabismus/Installs/StrabRehabA/Docs/StrabRehab%20A%20(2021-02-03).pdf). [Přístup získán 01 03 2024].
- [66] P. Kuchyňka, Oční lékařství, Praha: Grada Publishing, a.s., 2007.
- [67] D. Baker a E. Graf, „Natural Images dominate in binocular rivalry,“ *Proc.Natl.Acad.Sci USA*, č. 106(13):5436-41, 31 March 2009.
- [68] D. Baker a E. Graf, „On the relation between dichoptic masking and binocular rivalry,“ *Vision Res.*, sv. 49, č. 4, pp. 451-459, 20 February 2009.
- [69] M. Ducháčková, *Dichoptické maskování jako indikátor suprese technicky degradovaného monokulárního obrazu v prostředí počítačového haploskopu.*, Kladno: České vysoké učení technické, 2013.
- [70] J. Hozman, M. Dostálek a J. Hejda, *Haploskop. Industrial Property Office of the Czech republic: The utility model CZ 25479*, 2013.
- [71] M. Mihejl, D. Novak a S. Begus, *Virtual Reality Technology and Applications (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*, 2014th editor, Springer, 2013.
- [72] I. Hloušková, *Vliv 3D technologií na vidění*, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014.
- [73] Wikipedia, „Parallax barrier,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Parallax_barrier. [Přístup získán 25 November 2022].
- [74] P. Fuchs, G. Moreau a P. Guitton, *Virtual reality: concepts and technologies*, 2. editor, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2011.
- [75] „Reality Technologies, The Ultimate Guide To Virtual Reality Technologies,“ [Online]. Available: <http://www.realitytechnologies.com/virtualreality>. [Přístup získán 5 srpen 2018].
- [76] J. Marsden, S. Stevens a A. Ebri, „How to measure distance visual acuity,“ *Community Eye Health*, č. 27(85): 16, 2014.
- [77] S. Synek a Š. Skorkovská, *Fyziologie oka a vidění. 2., doplněné a přepracované vydání*, Praha: Grada Publishing a.s., 2014.
- [78] M. Anton, *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody - Třetí přepracované vydání*, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2004.
- [79] L. F. Jindra a V. Zemon, „Contrast sensitivity testing: a more complete assessment of vision,“ *Journal of cataract and refractive surgery*, č. 15(2): 141-8., March 1989.
- [80] „Vyšetření zrakové ostrosti,“ *Fyziologický ústav LF MU*, 2016. [Online]. Available: https://is.muni.cz/el/med/jaro2016/VSNV041c/um/prXXXIII-Visual_Acuity.pdf. [Přístup získán 27 2 2024].

- [81] P. Veselý a P. Beneš, *Vyšetřovací metody v optometrii a interpretace jejich výsledků v praxi*, Praha: Grada, 2019.
- [82] P. Rozsival, *Trendy soudobé oftalmologie: svazek 4*, Praha: Galén, 2007, p. 325.
- [83] B. E. Dougherty, R. E. Flom a M. A. Bullimore, „An evaluation of the Mars Letter Contrast Sensitivity Test,“ *Optometry and vision science*, č. 82(11), 970–975, November 2005.
- [84] T. Parede, A. Torricelli, A. Mukai, M. Netto a S. Bechara, „Quality of vision in refractive and cataract surgery, indirect measurers,“ *Arquivos brasileiros de oftalmologia*, č. 76, pp. 386–390, 2013.
- [85] C. E. Leroux, E. Bouchet, E. Pauline, C. Fontvieille a F. Bardin, „Correlation between Contrast Sensitivity and Modulation Transfer Functions,“ *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*, č. 98(11), 1263–1269, November 2021.
- [86] VectorVision, „Standardized Contrast Sensitivity Tests,“ Greenville.
- [87] F. Vlk a E. Vlková, *Lexikon očního lékařství – výkladový ilustrovaný slovník. vid.1*, Brno: František Vlk, 2008, p. 607.
- [88] E. M. Hitchcock, R. B. Dick a E. F. Krieg, „Visual contrast sensitivity testing: a comparison of two F.A.C.T. test types,“ *Neurotoxicology and teratology*, č. 26(2), 271–277, March 2004.
- [89] S. Franco, A. C. Silva, A. S. Carvalho, A. S. Macedo a M. Lira, „Comparison of the VCTS-6500 and the CSV-1000 tests for visual contrast sensitivity testing,“ *Neurotoxicology*, č. 31(6), 758–761, December 2010.
- [90] J. Ventruba, „Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení,“ *Česká oční optika*, č. 1/2008, pp. 70–71, únor 2008.
- [91] J. Hozman, M. Dostálek a M. Borůvková, *Zařízení a počítačový program pro haploskopické binokulární vyšetření kontrastní citlivosti obou očí. Česká republika. Užité vzor PUV 2024-42026 (zn. 73631)*.
- [92] F. Zafar a A. Badano, „Characterization of crosstalk in stereoscopic display devices: Characterization of crosstalk in stereo displays,“ *Journal of the Society for Information Display*, 05 2015.
- [93] P. Rozsival, *Trendy soudobé oftalmologie*, Praha: Galén, 2010, pp. 54–99.
- [94] „Česká společnost ortoptistek,“ [Online]. Available: <http://www.ortoptika.cz/web/ceska-spolecnost-ortoptistek>. [Přístup získán 01 03 2024].
- [95] OpenCV(byDoxygen), „OpenCV documentation,“ 03 06 2015. [Online]. Available: <http://docs.opencv.Org/3.0.0/index.html>. [Přístup získán 02 04 2024].
- [96] L. G. Shapiro a G. C. Stockman, *Computer vision*, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2001.
- [97] L. Day, „What exactly is a gaussian blur?,“ 21 06 2021. [Online]. Available: <https://hackaday.com/2021/07/21/what-exactly-is-a-gaussian->

blur/#:~:text=Each%20pixel%20in%20the%20image%20we%20wish%20to,AKA%20a%20normal%20distribution%2C%20or%20a%20bell%20curve.. [Přístup získán 21.06.2024].

- [98] O. Shipitko a A. Grigoryev, „Gaussian filtering for FPGA based image processing with High-Level Synthesis tools,“ v *IV International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2018)*, Samara, Russia, 2018.
- [99] G. Karetsos a A. Chandrinos, „Contrast Sensitivity Measurement Tests and Methods,“ *Ophthalmology Research An International Journal*, pp. 7-18, 2021.
- [100] J. Ventruba, „Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení,“ *Česká oční optika*, pp. 70-71, 2008.
- [101] D. B. Elliott, *Clinical Procedures in Primary Eye Care*, 4th Edition, Edinburgh: Elsevier, 2014.
- [102] S. Pardhan a J. Gilchrist, „Binocular contrast summation and inhibition in amblyopia. The influence of the interocular difference on binocular contrast sensitivity,“ *Documenta Ophthalmologica*, sv. 82, č. 3, pp. 239-248, 1992.
- [103] Y. Chen, Y. Mao, J. Zhou, Z. He a R. F. Hess, „The shift in sensory eye dominance from short-term monocular deprivation exhibits no dependence on test spatial frequency,“ *Eye Vis*, sv. 9, č. 1, p. 32, 2022.
- [104] L. Shuai, Z. Leilei, W. Wen, W. Shu, L. Gangsheng, L. Yinglong, Y. Guoke, C. Xinrong, L. Hong a L. Rongfeng, „Binocular treatment in adult amblyopia is based on parvocellular or magnocellular pathway,“ *Eur J Ophthalmol*, sv. 30, č. 4, pp. 658-667, 2020.
- [105] M. Wang, P. McGraw a T. Ledgeway, „Short-term monocular deprivation reduces inter-ocular suppression of the deprived eye,“ *Vision Res.*, sv. 173, pp. 29-40, 2020.
- [106] C. Lunghi, D. C. Burr a C. Morrone, „Brief periods of monocular deprivation disrupt ocular balance in human adult visual cortex,“ *Current Biology*, sv. 21, č. 14, pp. R538-9, 2011.
- [107] J. Zhou, Z. He, Y. Wu, Y. Chen, X. Chen, Y. Liang, Y. Mao, Z. Yao, F. Lu, J. Qu a R. F. Hess, „Inverse Occlusion: A Binocularly Motivated Treatment for Amblyopia,“ *Neural Plasticity*, 2019.
- [108] E. J. Gibson, „Perceptual Learning,“ *Annual Review of Psychology*, sv. 14, pp. 29-56, 1963.
- [109] A. T. Astle, B. S. Webb a P. V. McGraw, „Spatial frequency discrimination learning in normal and developmentally impaired human vision,“ *Vision research*, sv. 50, č. 23, pp. 2445-54, 11 2010.
- [110] P. T. Sowden, D. Rose a I. R. L. Davies, „Perceptual learning of luminance contrast detection: specific for spatial frequency and retinal location but not orientation,“ *Vision Research*, sv. 42, č. 10, pp. 1249-1258, 05 2002.

PŘÍLOHA A – Tabulky

Tabulka 2: Výsledky subjektů s anizometropickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí dominantního oka

ANIZOMETROPICKÁ AMBLYOPIE – KLASICKÁ PLEOPTIKA S PLNOU OKLUZÍ

subjekt č.	věk	PROSTOROVÁ FREKVENCE [c/deg]																			
		1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18
		DOMINANTNÍ OKO					DOMINANTNÍ OKO					AMBLYOPICKÉ OKO					AMBLYOPICKÉ OKO				
		PŘED CVIČENÍM					PO CVIČENÍ					PŘED CVIČENÍM					PO CVIČENÍ				
01	6	4,2	1,6	1,2	0,8	4,0	3,8	1,4	1,2	0,8	2,0	4,4	1,2	1,2	0,8	4,0	2,4	0,8	0,8	0,8	1,0
02	7	2,0	1,8	2,0	3,0	4,2	1,6	2,0	2,0	3,0	3,4	3,2	1,4	2,2	3,0	5,0	2,0	0,8	2,0	2,4	4,8
03	10	1,8	1,8	1,8	5,0	6,0	1,6	1,4	1,4	3,8	5,4	5,6	3,8	2,6	6,2	9,2	3,2	3,2	1,8	4,2	7,2
04	6	1,8	0,6	0,4	0,6	2,4	1,8	1,6	1,2	1,6	2,4	4,4	2,8	1,2	3,4	6,6	3,0	2,0	2,4	2,6	3,4
05	9	2,2	1,6	2,0	3,0	3,6	2,0	1,0	1,0	2,4	2,8	3,8	2,2	2,2	3,6	5,4	2,6	1,8	1,2	1,4	2,6
06	5	4,0	2,6	2,2	3,0	4,0	3,2	2,4	2,4	3,0	4,0	10,6	4,2	5,2	5,4	5,8	6,8	3,8	4,0	4,2	5,0
07	7	3,2	2,0	2,8	3,0	3,4	2,6	2,8	2,4	2,6	3,4	3,4	2,8	2,6	3,0	3,6	1,6	2,8	1,4	2,8	3,6
08	5	3,6	1,8	2,4	3,8	4,6	3,4	1,2	1,6	3,0	3,6	3,6	2,4	2,6	2,6	4,2	2,6	1,0	1,8	1,8	2,6
09	9	3,6	2,4	2,8	2,8	5,0	3,0	1,4	1,4	3,0	3,6	2,8	4,2	3,4	5,6	6,4	1,8	1,2	2,2	4,6	5,6
10	11	2,0	1,4	1,0	2,6	3,6	1,4	1,0	1,0	2,6	3,6	3,0	2,4	1,4	2,8	3,0	2,0	1,2	1,4	3,2	3,0
11	6	3,4	2,0	2,8	3,2	4,4	2,8	2,0	2,4	3,8	4,6	4,0	1,6	2,8	3,2	4,6	3,0	1,2	1,8	3,4	4,2
12	7	4,4	3,2	1,2	4,0	7,2	2,8	2,6	2,2	3,2	4,0	5,8	4,8	3,0	6,2	7,6	1,6	2,6	3,0	4,0	4,4
13	8	3,4	2,4	2,0	2,6	4,0	3,0	2,2	1,8	2,4	4,0	3,2	2,4	1,6	3,6	5,4	3,2	2,2	1,6	2,8	3,4
14	6	3,4	2,0	1,2	1,4	2,0	3,0	1,8	1,2	1,2	1,6	3,4	3,4	1,4	1,8	4,4	3,2	3,4	1,6	1,8	1,6
15	4	3,2	1,6	1,0	1,2	2,6	2,4	1,2	1,0	1,2	2,0	3,6	1,6	1,0	1,6	2,8	2,0	1,2	1,0	1,6	2,4
16	5	3,8	2,0	1,6	2,2	2,0	3,8	1,2	1,8	1,8	2,0	3,8	2,0	1,4	1,4	2,2	2,2	1,2	1,4	1,8	2,2
17	8	2,6	2,2	1,2	1,2	1,8	2,6	2,2	1,2	1,2	1,8	2,6	2,2	1,0	1,4	1,6	2,8	1,4	1,0	1,4	1,6
18	6	3,8	2,6	2,4	3,2	4,2	3,2	2,6	2,4	3,2	4,0	3,0	2,6	2,2	2,2	3,6	3,0	2,2	1,8	1,6	3,2
19	7	3,2	2,6	2,8	2,8	3,8	3,2	1,2	2,4	2,6	3,4	4,2	3,2	2,2	2,6	3,2	2,4	1,2	1,8	1,6	3,4
20	6	2,2	1,6	1,2	2,4	3,0	3,2	1,4	1,2	2,4	2,8	3,4	2,6	1,0	2,4	3,8	2,8	2,2	1,2	2,0	3,4
21	8	2,2	1,2	1,2	2,0	2,4	2,2	1,4	1,2	1,8	2,2	3,2	1,8	1,6	3,0	3,2	2,6	1,4	1,2	2,0	2,4
22	5	2,2	1,8	1,8	2,0	2,2	2,0	1,6	1,4	2,0	2,2	3,0	2,0	2,2	3,4	4,8	2,6	1,8	2,0	2,6	3,8
23	5	4,2	2,4	1,2	1,6	2,4	4,2	2,4	2,0	1,6	2,0	4,4	2,2	1,0	1,4	2,4	4,6	2,2	1,8	1,8	2,2
24	8	oboustranná tupozrakost					oboustranná tupozrakost					1,2	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,6	0,2	2,0	1,6
												3,2	0,8	1,4	1,0	1,4	2,2	1,6	0,6	2,4	2,8
25	8	oboustranná tupozrakost					oboustranná tupozrakost					1,8	0,8	1,0	1,4	1,8	1,8	0,8	1,2	1,6	1,8
												1,8	0,8	1,0	1,4	1,8	1,8	0,8	1,0	1,4	1,8
26	9	4,0	4,0	2,6	3,0	5,2	4,0	3,2	2,0	3,0	5,0	3,6	3,4	3,2	3,4	4,8	3,6	3,4	2,6	3,4	4,2
27	9	3,2	3,2	2,6	3,3	2,6	3,2	3,2	2,6	2,0	2,6	3,2	2,6	2,4	2,6	3,6	3,2	2,6	2,6	1,4	2,2
28	8	0,6	0,2	0,2	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,4	0,6	1,4	0,6	0,2	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,6	0,6

29	8	2,2 1,4 1,8 2,0 3,2	1,8 1,4 1,6 2,0 3,2	2,6 2,2 1,8 2,6 4,4	2,0 1,0 2,4 2,6 4,2
30	5	2,8 1,8 1,0 1,0 3,6	2,4 0,6 0,2 0,8 2,8	2,8 1,8 1,0 1,4 4,0	2,4 0,6 0,2 0,8 1,6
31	6	3,6 3,4 2,4 2,8 3,8	2,2 1,4 1,8 2,4 3,4	3,4 2,0 1,2 3,8 5,0	3,0 2,0 3,4 4,6 4,0
32	10	1,8 0,4 1,4 2,8 3,0	1,6 1,4 1,4 2,8 3,0	2,2 0,8 1,6 4,4 4,8	1,8 1,8 1,4 3,2 4,6
33	5	4,4 2,4 2,4 3,4 4,8	3,4 1,8 1,6 2,6 3,6	5,0 3,4 3,4 5,2 5,6	2,4 1,0 1,6 2,4 3,4
34	9	5,2 3,4 3,2 4,4 4,8	4,8 3,6 3,4 5,0 5,0	4,0 3,2 2,6 5,4 8,6	4,0 3,4 3,0 4,6 6,6
35	8	3,0 1,4 1,0 1,0 1,2	2,4 0,6 0,8 1,6 1,8	2,8 1,8 0,6 1,4 1,8	2,6 0,8 1,0 1,6 1,6
36	6	2,8 2,2 1,4 2,0 2,2	2,6 1,8 1,2 1,8 2,0	2,8 2,2 2,0 2,8 3,6	3,0 1,6 1,2 2,6 3,2
37	7	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost	2,8 1,2 0,8 0,8 2,2	3,0 1,2 0,8 1,0 2,4
				2,8 1,2 1,0 0,8 2,2	2,8 1,2 1,0 1,4 2,4
38	11	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost	2,2 1,4 2,0 3,8 6,0	2,0 1,6 2,0 3,8 3,8
				1,8 1,0 1,4 2,4 5,4	0,8 1,6 0,8 1,4 3,0

Tabulka 3: Výsledky subjektů s anizometropickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka

ANIZOMETROPICKÁ AMBLYOPIE – ZAMLŽENÍ OBRAZU MONITORU

subjekt č.	věk	PROSTOROVÁ FREKVENCE [c/deg]																			
		1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18
		DOMINANTNÍ OKO					DOMINANTNÍ OKO					AMBLYOPICKÉ OKO					AMBLYOPICKÉ OKO				
		PŘED CVIČENÍM					PO CVIČENÍ					PŘED CVIČENÍM					PO CVIČENÍ				
01	6	5,0	3,4	3,2	4,6	4,8	2,8	1,2	2,0	3,4	3,6	6,2	3,2	3,0	3,4	5,8	3,2	1,2	1,8	2,4	3,4
02	7	2,8	2,0	2,2	3,2	4,2	2,8	2,0	2,2	2,8	4,0	2,2	1,6	2,0	3,6	4,8	2,2	1,6	1,6	2,2	3,8
03	10	1,8	1,2	1,4	3,4	6,0	1,6	1,0	1,4	2,6	5,4	2,2	1,2	1,6	4,0	8,2	1,8	1,2	0,8	2,6	5,4
04	6	2,0	1,4	1,8	1,8	2,4	2,0	1,2	1,8	1,8	2,4	4,6	2,8	2,0	3,4	6,6	4,6	3,0	2,4	2,6	3,4
05	9	2,6	2,0	1,6	3,0	3,4	2,2	0,8	2,0	2,0	3,0	3,0	2,2	1,6	3,6	5,4	1,4	0,4	0,6	1,6	1,8
06	5	5,0	3,0	3,4	4,0	5,0	4,0	2,4	2,4	4,0	4,2	7,2	4,2	5,2	5,0	5,8	5,6	3,0	3,8	4,4	4,6
07	7	2,8	1,8	2,0	3,0	3,6	2,8	1,6	1,8	2,8	3,6	2,6	1,2	1,2	2,8	3,2	2,2	1,0	1,2	2,4	3,0
08	5	3,4	1,8	2,2	2,8	4,2	3,2	1,6	2,0	2,4	4,0	3,0	2,0	2,2	3,0	4,2	2,6	1,0	1,6	2,0	2,8
09	9	3,2	2,4	3,6	3,2	4,8	2,8	2,0	3,0	3,4	4,8	2,8	2,4	3,6	5,2	5,6	1,8	2,0	1,6	3,0	4,7
10	11	2,0	1,0	1,0	2,8	4,0	1,8	1,0	1,2	3,0	3,6	2,6	2,0	1,8	3,0	4,0	2,0	1,0	1,2	2,8	3,4
11	6	3,4	2,0	3,0	3,2	4,4	2,6	1,8	2,0	3,8	4,6	4,0	2,0	3,0	3,2	4,4	3,0	2,0	1,8	3,2	4,2
12	7	3,4	2,4	2,4	3,2	4,8	2,2	1,6	2,0	3,0	4,6	3,4	2,4	3,0	6,4	7,8	1,0	1,6	2,4	4,2	5,6
13	8	2,8	2,2	1,6	3,2	3,4	2,6	2,0	1,6	2,8	3,4	2,8	2,2	2,0	4,0	6,0	2,6	2,0	2,0	3,0	4,8
14	6	2,8	1,4	1,4	3,2	3,4	2,6	1,4	1,2	3,2	3,4	2,0	1,0	1,4	2,4	3,4	1,6	0,6	1,2	2,0	3,0
15	4	2,4	0,6	0,8	1,8	2,8	1,2	0,4	0,8	1,2	1,8	2,2	1,2	1,2	2,2	3,8	1,6	0,6	0,8	1,4	2,4
16	5	3,0	2,0	1,6	3,0	3,2	2,8	1,8	1,6	2,8	3,0	3,4	2,0	1,4	2,6	3,0	2,8	1,2	1,4	2,0	2,4
17	8	2,6	2,0	1,2	2,8	3,6	2,4	2,2	1,4	2,8	3,6	2,6	2,2	1,4	2,6	3,4	2,4	2,2	1,4	2,6	3,4
18	6	3,6	2,6	2,0	3,6	4,4	3,2	1,8	1,8	3,6	4,2	2,8	2,6	2,0	2,8	3,4	2,6	2,0	1,4	2,6	3,2

19	7	3,0 2,2 2,0 2,8 3,0	3,0 2,0 1,4 2,8 3,6	2,2 2,2 2,0 3,2 5,2	2,2 2,0 2,4 3,2 3,6
20	6	2,6 1,6 1,4 2,4 3,0	2,6 1,4 1,2 2,0 3,0	2,6 2,4 1,2 2,4 3,8	2,6 1,6 1,0 1,4 2,6
21	8	2,0 1,6 1,4 2,4 3,4	1,8 1,2 1,4 2,2 3,2	2,2 1,4 1,4 2,4 4,0	1,6 1,2 1,2 1,8 3,0
22	5	2,2 1,2 1,2 2,0 2,2	1,8 1,0 1,0 2,0 2,0	3,8 2,2 2,0 4,2 4,6	2,8 1,0 2,0 2,0 3,4
23	5	3,2 2,4 1,4 1,8 3,4	3,2 2,2 1,4 1,8 3,2	3,6 2,2 2,0 1,8 3,2	3,6 2,0 1,8 1,6 2,6
24	8	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost	2,6 1,6 1,0 2,0 1,8	2,6 1,4 0,8 2,0 1,6
				2,6 1,6 2,6 2,8 2,0	2,6 1,4 1,2 2,6 2,0
25	8	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost	2,2 1,4 1,0 2,8 3,2	2,0 1,4 1,6 2,6 3,0
				2,0 1,0 1,2 2,2 2,8	1,8 1,0 1,2 1,6 2,4

Tabulka 4: Výsledky subjektů se strabickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení s úplnou okluzí dominantního oka

STRABICKÁ AMBLYOPIE – KLASICKÁ PLEOPTIKA S PLNOU OKLUZÍ

subjekt č.	věk	PROSTOROVÁ FREKVENCE [c/deg]																			
		1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18
		DOMINANTNÍ OKO PŘED CVIČENÍM					DOMINANTNÍ OKO PO CVIČENÍ					AMBLYOPICKÉ OKO PŘED CVIČENÍM					AMBLYOPICKÉ OKO PO CVIČENÍ				
39	6	3,4	2,0	2,6	3,6	4,2	2,6	2,0	2,2	3,2	4,2	3,8	3,0	3,4	4,2	4,8	2,4	2,2	2,6	3,8	5,0
40	7	2,2	0,2	0,2	0,2	1,2	1,2	0,2	0,2	0,2	0,8	2,8	1,8	0,6	0,6	1,4	2,0	0,4	0,6	0,6	1,0
41	8	2,2	0,6	1,2	2,4	3,0	1,8	1,2	1,2	2,4	3,0	1,6	1,2	0,8	2,8	3,2	1,4	1,2	1,2	3,0	2,0
42	6	3,4	1,6	1,2	2,2	7,6	3,0	1,4	1,8	2,0	7,4	2,8	2,0	2,6	4,0	6,2	1,2	1,0	3,0	4,0	6,0
43	9	2,6	1,6	0,8	0,8	1,4	2,8	0,2	0,2	1,0	1,6	3,0	1,6	0,8	1,2	1,6	1,0	0,2	0,4	1,0	1,2
44	8	2,2	0,6	0,4	0,2	1,2	1,8	0,8	0,6	1,0	1,2	3,2	0,8	0,8	0,4	1,8	1,6	1,0	0,8	1,0	1,8
45	5	3,4	1,6	2,6	4,6	6,6	3,2	1,4	1,4	3,0	6,0	6,8	5,6	4,2	4,8	8,2	4,4	3,0	2,8	3,8	8,2
46	10	1,8	1,8	1,8	5,0	6,0	1,6	1,4	1,4	3,8	5,4	5,6	3,8	2,6	6,2	9,2	3,2	3,2	1,8	4,2	7,2
47	8	4,4	2,2	2,4	3,0	4,4	3,2	2,2	2,8	2,6	4,2	6,8	4,0	2,8	2,8	4,0	3,0	2,6	1,8	1,8	4,0
48	6	4,0	2,6	2,2	3,0	4,0	3,2	2,4	2,4	3,0	4,0	10,6	4,2	5,2	5,4	5,8	6,8	3,8	4,0	4,2	5,0
49	9	2,4	1,2	1,2	1,4	2,8	1,6	1,0	1,4	2,4	3,4	2,6	1,4	1,4	3,0	3,6	2,2	0,8	2,2	3,0	4,2
50	9	2,6	2,6	1,4	4,6	7,6	0,8	2,0	2,0	3,4	4,6	2,6	1,8	2,2	3,2	8,4	2,0	2,0	2,0	3,0	3,4
51	8	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									5,4	4,0	3,0	4,8	6,8	2,0	1,0	1,8	4,8	6,8
												3,0	2,8	3,6	5,4	8,4	2,0	1,0	1,8	4,2	8,4
52	6	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									8,0	3,2	1,4	3,4	4,4	3,4	1,6	1,6	3,2	4,2
												5,2	4,0	1,4	3,4	4,0	2,6	1,6	1,8	3,2	4,2
53	8	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									2,4	1,4	1,2	2,6	2,6	1,4	1,0	0,6	0,8	1,8
												2,6	1,2	1,6	2,4	2,8	2,4	1,4	1,0	1,2	2,0
54	10	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									2,8	2,0	1,8	2,4	3,0	2,6	1,6	2,4	2,8	4,0
												2,6	2,6	1,8	2,4	3,0	2,4	1,8	2,6	2,6	4,0

55	8	oboustranná tupozrakost					oboustranná tupozrakost					2,4	1,0	1,2	1,8	2,4	2,2	0,8	1,4	1,4	3,2
												2,2	1,8	1,2	2,0	2,0	2,2	0,8	1,2	1,8	3,0
56	5	3,4	3,0	1,4	3,0	3,6	2,8	1,8	1,6	3,0	3,0	5,2	1,4	1,6	2,6	3,8	2,8	1,6	1,6	2,6	3,4
57	11	4,4	0,8	0,6	1,6	1,6	3,8	0,6	0,8	1,0	1,2	3,4	1,4	0,8	1,0	1,6	2,0	0,6	0,6	1,0	1,2
58	8	4,0	3,2	2,6	3,6	4,8	3,8	3,4	2,6	3,4	5,0	4,0	3,8	2,6	3,6	4,8	3,2	1,4	3,0	3,4	5,0
59	10	1,6	0,8	0,6	1,2	2,2	1,0	0,8	0,8	2,2	3,0	2,6	0,8	0,8	1,6	2,4	2,2	0,8	0,8	2,2	3,0
60	8	0,6	0,2	0,2	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,4	0,6	1,4	0,6	0,2	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,6	0,6

Tabulka 5: Výsledky subjektů se strabickou amblyopií před a bezprostředně po pleoptickém cvičení na haploskopické soustavě se zamlžením obrazu monitoru dominantního oka

STRABICKÁ AMBLYOPIE – ZAMLŽENÍ OBRAZU MONITORU

		PROSTOROVÁ FREKVENCE [c/deg]																			
subjekt č.	věk	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18	1,5	3	6	12	18
		DOMINANTNÍ OKO					DOMINANTNÍ OKO					AMBLYOPICKÉ OKO					AMBLYOPICKÉ OKO				
		PŘED CVIČENÍM					PO CVIČENÍ					PŘED CVIČENÍM					PO CVIČENÍ				
39	6	3,4	2,0	2,6	3,4	4,4	2,6	2,0	2,4	3,4	4,4	3,6	2,6	2,6	3,4	4,8	1,8	1,6	2,4	3,4	4,4
40	7	2,0	1,0	0,4	1,6	2,8	2,0	0,8	0,8	1,6	2,6	2,6	1,6	0,8	2,0	3,4	1,2	1,0	1,0	2,2	2,0
41	8	2,6	2,0	2,2	3,2	3,4	1,6	1,6	1,4	3,2	3,0	2,0	1,6	2,0	2,8	3,0	1,8	1,4	0,8	2,2	3,4
42	6	3,2	1,2	1,2	1,8	2,6	2,0	1,0	1,2	2,0	3,0	3,0	1,2	0,8	2,6	4,2	1,4	0,8	1,0	2,0	2,2
43	9	2,2	1,2	1,6	2,2	2,8	1,6	1,0	1,8	2,0	2,4	2,0	1,0	1,2	2,4	2,6	0,6	0,8	1,4	2,4	2,4
44	8	2,0	0,6	1,2	1,8	1,4	1,0	0,4	0,6	1,4	1,8	3,4	1,2	1,2	2,4	2,0	1,6	0,6	0,8	1,8	2,4
45	5	3,8	2,0	2,0	4,0	6,6	2,6	1,2	1,6	2,6	6,0	3,8	2,2	3,8	4,8	8,2	2,6	1,4	1,8	2,6	7,8
46	10	1,8	1,2	1,4	3,4	6,0	1,6	1,0	1,4	2,6	5,4	2,2	1,2	1,6	4,0	8,2	1,8	1,2	0,8	2,6	5,4
47	8	3,4	2,4	2,8	3,6	4,2	3,0	2,0	3,0	3,6	4,6	4,4	3,8	2,2	3,6	4,2	1,6	1,8	2,4	3,4	4,2
48	6	5,0	3,0	3,4	4,0	5,0	4,0	2,4	2,4	4,0	4,2	7,2	4,2	5,2	5,0	5,8	5,6	3,0	3,8	4,4	4,6
49	9	1,8	1,2	1,2	2,6	3,6	1,4	1,2	1,2	2,8	3,6	2,0	1,2	1,4	2,8	4,2	1,0	1,0	1,4	2,6	4,2
50	9	2,6	1,8	1,4	3,6	4,4	0,8	0,8	1,0	1,6	2,8	2,6	1,4	2,6	3,4	4,8	2,0	0,4	1,0	1,4	2,6
51	8	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									4,2	2,0	2,4	4,2	4,6	2,2	1,8	1,8	2,8	4,2
												3,8	2,4	2,4	5,2	5,8	2,4	2,0	2,4	3,4	4,8
52	6	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									4,4	2,2	1,4	3,0	4,2	2,8	2,2	1,4	3,0	4,0
												4,4	3,4	2,8	3,0	4,0	2,4	3,0	1,6	3,0	4,0
53	8	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									2,0	0,8	1,0	2,6	2,4	1,4	0,6	1,0	2,2	2,2
												2,8	1,0	1,8	2,0	2,4	2,8	0,8	1,2	2,4	2,6
54	10	oboustranná tupozrakost	oboustranná tupozrakost									2,8	2,0	1,6	2,2	4,2	1,8	1,8	2,0	2,6	4,8
												2,0	1,8	1,6	2,4	3,0	1,8	1,2	1,8	2,8	3,4

PŘÍLOHA B – Protokol k měření

SUBJEKT_XX

věk	
typ amblyopie	anizometropická / strabická
oko amblyopické	OP / OL

REFRAKCE	sféra	cylindr	osa	Viz D
oko pravé				
oko levé				

PLEOPTICKÉ CVIČENÍ S ÚPLNOU OKLUZÍ

HTKC před cvičením			HTKC po cvičení		
prostorová frekvence	OP	OL	prostorová frekvence	OP	OL
1,5 c/deg			1,5 c/deg		
3 c/deg			3 c/deg		
6 c/deg			6 c/deg		
12 c/deg			12 c/deg		
18 c/deg			18 c/deg		

PLEOPTICKÉ CVIČENÍ NA HAPLOSKOPICKÉ SOUSTAVĚ SE ZAMLŽENÍM

HTKC před cvičením			HTKC po cvičení		
prostorová frekvence	OP	OL	prostorová frekvence	OP	OL
1,5 c/deg			1,5 c/deg		
3 c/deg			3 c/deg		
6 c/deg			6 c/deg		
12 c/deg			12 c/deg		
18 c/deg			18 c/deg		

PŘÍLOHA C – Informovaný souhlas

Informace pro rodiče a informovaný souhlas rodičů s účastí dítěte v klinické výzkumné studii

verze 1.0., 21.11.2022

● **Podrobné informace pro rodiče, zákonného zástupce:**

Binokulární testování kontrastní citlivosti u strabické a anizometropické amblyopie

Vedoucí lékař výzkumné studie:

MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D.

Centrum dětské oftalmologie, BINOCULAR, s.r.o.

Smetanovo nám. 67, 570 01 Litomyšl

Tel.: 461 612 727, 604 148 517, E-mail: dostalek@binocular.cz

Řešitel:

Ing. Michaela Borůvková

Katedra biomedicínské techniky, FBMI ČVUT Praha;

BINOCULAR s.r.o., Litomyšl

Tel.: 724 653 409, Email: michaela.duchackova@gmail.com

Optometristé/ortoptisté:

Ing. Michaela Borůvková

Katedra biomedicínské techniky, FBMI ČVUT Praha,

BINOCULAR s.r.o., Litomyšl

Mgr. et Bc. Barbora Čáslavská

Katedra optometrie a ortoptiky LF MU Brno,

BINOCULAR s.r.o., Litomyšl

Mgr. et Bc. Marcela Kudová

BINOCULAR s.r.o., Litomyšl

Mgr. et Bc. Kateřina Malá

BINOCULAR s.r.o., Litomyšl

Mgr. Lucie Vávrová

BINOCULAR s.r.o., Litomyšl

Informace o výzkumné studii:

Kontrastní citlivost je jedním z komplexních klinických deskriptorů kvality kortikálního zpracování vizuálních informací. Popisuje jak analýzu vysokých prostorových frekvencí (detaily obrazu) parvocelulárním systémem, tak také detekci nízkých prostorových frekvencí (tj. kompozice celého zorného pole) systémem magnocelulárním. V rámci výzkumu proběhne porovnání vizuální kontrastní citlivosti v různých prostorových frekvencích binokulárně. Cílem je vytvořit rovnováhu mezi zdravým a amblyopickým okem, odhalit případné odchylky kontrastní citlivosti, kterými by se odlišovaly kontrastní citlivost u anizometropické a strabické amblyopie a zjistit, zda budou výsledky před pleoptickým tréninkem odlišné od výsledků naměřených bezprostředně po tréninku.

Popis výzkumných procedur:

Experimentální binokulární měření kontrastní citlivosti

Měření bude prováděno na experimentálním počítačovém haploskopu s pacientovou nejlepší korekcí (BCVA = *best corrected visual acuity*). K měření kontrastní citlivosti budou použity speciální stupnice v prostorových frekvencích 1,5; 3; 6; 12 a 18 cyklů na stupeň s plynulým snižováním kontrastu. Každá stupnice se skládá ze sta vlnek, z nichž každá vlnka představuje snížení kontrastu o jedno procento. Pomocí PC haploskopu, polopropustného zrcadla a polarizačních brýlí bude předkládána jedna stupnice zvlášť pro dominantní oko a druhá (stejná) stupnice pro oko nedominantní (amblyopické). Cílem pacienta je postupné "zhoršování" (posun sloupce – snížení kontrastu) pro dominantní oko (lepší vize), dokud nedojde k rovnováze s okem nedominantním (amblyopickým). Postupně pacient vytvoří rovnováhu mezi dominantním a nedominantním (amblyopickým) okem u pěti různých prostorových frekvencí.

Před experimentálním měřením Vás vyšetřující specialista podrobně poučí o celém experimentálním měření. Celková doba experimentálního měření bude cca 2krát 5 minut. Mezi jednotlivými měřeními bude pacient absolvovat 30minutový pleoptický trénink.

Běžné oční vyšetření:

U každého dítěte zařazeného do výzkumné studie musí být k dispozici přiměřeně aktuální standardní oční vyšetření (tj. vyšetření se běžně provádějí při návštěvách ve strabologické ambulanci). Je proto možné, že u některých dětí bude před nebo po experimentálním měření provedeno částečné oční vyšetření k aktualizaci údajů v ambulantní zdravotnické dokumentaci.

Standardní dětské oční vyšetření zahrnuje soubor vyšetření přiměřený věku dítěte:

- záznam anamnézy (historie očních potíží)
- stanovení zrakové ostrosti obou očí s i bez korekce
- vyšetření očního pozadí
- vyšetření pohyblivosti očí
- vyšetření úhlu šilhání
- vyšetření binokularity (spolupráce obou očí při vidění)

Rizika účasti ve studii:

Rizika poškození zdraví plynoucí pro Vás z účasti na výzkumné studii **jsou následující:**

- běžná rizika typická pro krátkodobý (ambulantní) pobyt ve zdravotnickém zařízení (např. riziko kapénkové infekce v čekárně atp.)

Přínos účasti ve studii pro Vás a Vaše dítě:

Vedle obecného přínosu pro rozvoj budoucí oftalmologické/ortoptické péče o pacienty s amblyopií, není nepodstatný ani individuální přínos experimentálních vyšetření pro děti, které se studie účastní. Jednoduché, nebolestivé a bezpečné experimentální oční vyšetření může u Vašeho dítěte zpřesnit a individualizovat jeho stávající ortoptickou terapii.

Obecné informace o studii:

- Alternativní diagnostické metody, které by byly schopné zaznamenávat námi sledované údaje s dostatečnou přesností, nejsou v České republice ani v zahraničí dostupné.
- Osobní data budou považována za plně důvěrná a jako taková budou uchovávána v souladu se Zákonem 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů. S ohledem na výzkumnou povahu studie mohou do dokumentace pokusných osob nahlédnout zástupci nezávislých etických komisí, odboru zdravotnictví Krajského úřadu v Pardubicích, Ministerstva zdravotnictví, Státního ústavu pro kontrolu léčiv a ev. dalších místních nebo zahraničních kompetentních úřadů a to výhradně za účelem ověření dat. Pro tyto případy je však zaručena ochrana důvěrnosti osobních dat: při provádění výzkumné studie bude pokusná osoba vedena pouze pod číselným kódem a svými iniciálami. Spojení jména pokusné osoby a tohoto kódu bude k dispozici pouze vedoucímu lékaři výzkumné studie a pracovníkům Centra dětské oftalmologie (všichni jsou vázáni povinností mlčenlivosti ve smyslu zák. 101/200 Sb.) Plné jméno pokusné osoby se nebude nikdy vyskytovat v referátech a publikacích o této studii.
- Výsledky této studie budou publikovány, použity v klinické praxi a ve vysokoškolské a postgraduální výuce.
- Vaše cestovní náklady nemůžeme t.č. refundovat. Náhradu za ztrátu času t.č. nemůžeme poskytovat.
- Adresy osob nezávislých na výzkumné studii (vč. institucí, kde působí), které Vám mohou poskytnout informace o Vašich právech i o výzkumné studii samotné:

Doc. Mgr. Pavel Beneš, Ph.D.

Vedoucí Katedry optometrie a ortoptiky LF MU Brno, Komenského nám. 220/2, Brno-město, Brno,
Tel.: 603 965 373

Ing. Rostislav Staněk, M.A.

kazatel sboru Církve bratrské, Tykačova 1183, Česká Třebová, Tel.: 602 323 941

K této *Informaci* je přiložen formulář *Informovaného souhlasu rodičů (zákonného zástupce) s účastí v klinickém výzkumu*. Souhlas s účastí Vašeho dítěte v klinickém výzkumu vyjádřený Vaším podpisem tohoto dokumentu před zahájením vyšetření je především prohlášením o **dobrovolnosti** účasti a o vědomí práva kdykoliv souhlas s další účastí ve studii odmítnout. Toto případné odmítnutí neovlivní jakkoli negativně další vztah mezi zaměstnanci Centra dětské oftalmologie BINOCULAR s.r.o. a Vámi. Tato zásada platí i v případě, že nebudete souhlasit ani s Vaším vstupem do výzkumné studie.

● **Informovaný souhlas rodičů (zákonného zástupce) s účastí dítěte v klinické výzkumné studii (nahrazující Informovaný souhlas dospělého probanda) KOPIE PRO ZÁKONNÉHO ZÁSTUPCE**

(Prosíme, políčka označené **žlutě** vyplňte hůlkovým písmem):

Jméno dítěte: _____
Rodné číslo dítěte: _____
Dítě bylo do studie zařazeno pod číslem: _____
Odpovědný vedoucí lékař výzkum. studie: MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D.

Tímto **souhlasím** s účastí mého dítěte v klinické výzkumné studii **Binokulární testování kontrastní citlivosti u strabické a anizotropické amblyopie** (dále studie).

1. Byl/a jsem informován/a o cílech výzkumné studie, o procedurách a o nárocích, které na mé dítě lékař klade. Lékař pověřený touto studií mi vysvětlil případné problémy, které mohou vyvstat během účasti mého dítěte ve studii, a vysvětlil mi způsoby, kterými budou tyto případné problémy řešeny. Měl/a jsem možnost osobně si prohlédnout počítačové zařízení, které bude použito při experimentálním měření našeho dítěte.
2. Před provedením experimentálního měření jsem informoval/a odpovědného vedoucího lékaře výzkumné studie o všech lécích, ev. léčebných procedurách, které mé dítě užívá či absolvovalo a o všech dalších významných okolnostech jeho zdravotního stavu (např. úraz hlavy, otřes mozku, bezvědomí, prodělaná onemocnění, vážná onemocnění u pokrevních příbuzných atp.).
3. Byl/a jsem informován/a, že účast mého dítěte ve výzkumné studii má dvě části. Byl/a jsem seznámen/a se skutečností, že mé dítě podstoupí opakované binokulární měření kontrastové citlivosti na experimentálním počítačovém zařízení (v prostorových frekvencích 1,5, 3, 6, 12 a 18 cyklů na stupeň) před a po třiceti minutovém pleoptickém cvičení indikovaném lékařem. Tento Informovaný souhlas se vztahuje na všechna experimentální měření a na všechna oční vyšetření provedená v rámci studie.
4. Byl/a jsem informován/a, že účast mého dítěte na studii je dobrovolná a může být kdykoli zrušena, aniž to jakkoliv ovlivní jeho ev. další léčbu. Vím, že můžu kdykoliv toto experimentální vyšetření přerušit, aniž to jakkoliv ovlivní ev. další léčbu mého dítěte.
5. Při zařazení do výzkumné studie budou všechna osobní data uchovávána s plnou ochranou důvěrnosti, v souladu se Zákonem 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů. Do této dokumentace mohou nahlédnout za účelem ověření získaných dat zástupci nezávislých etických komisí a zahraničních nebo místních kompetentních úřadů, pro tyto případy je však zaručena ochrana důvěrnosti osobních dat dítěte. Při vlastním provádění výzkumné studie bude mé dítě vedeno pouze pod číselným kódem a/nebo iniciálami jména a příjmení. Porozuměl/a jsem tomu, že jméno mého dítěte se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti dalšímu použití výsledků této studie pro vědecké a edukační účely.

● **Prohlášení**

(Prosíme, políčka označené **žlutě** vyplňte hůlkovým písmem, do dalších políček označených **modře**, prosíme Váš podpis)

Porozuměl/a jsem smyslu a okolnostem klinické výzkumné studie ve všech bodech, jak je uvedeno výše v Informaci pro rodiče, které mi mohly být osobně vysvětleny MUDr. M. Dostálkem, Ph.D. Dobrovolně souhlasíme s účastí našeho dítěte (jméno v hlavičce) v této klinické výzkumné studii. Bereme na vědomí, že náš podpis v žádném případě nepopírá kterékoli z našich práv.

Podpis osoby mající plnou moc (matky)

Jméno _____ Vlastnoruční podpis: _____
V Litomyšli dne: _____

Podpis osoby mající plnou moc (otce)

Jméno _____ Vlastnoruční podpis: _____
V Litomyšli dne: _____

Podpis lékaře odpovědného za studii

MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D.: _____ V Litomyšli dne: _____

● **Informovaný souhlas rodičů (zákonného zástupce) s účastí dítěte v klinické výzkumné studii (nahrazující Informovaný souhlas dospělého probanda) KOPIE PRO LABORATOŘ**

(Prosíme, políčka označené **žlutě** vyplňte hůlkovým písmem):

Jméno dítěte:
Rodné číslo dítěte:
Dítě bylo do studie zařazeno pod číslem: _____
Odpovědný vedoucí lékař výzkum. studie: MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D.

Tímto **souhlasím** s účastí mého dítěte v klinické výzkumné studii **Binokulární testování kontrastní citlivosti u strabické a anizometropické amblyopie** (dále studie).

1. Byl/a jsem informován/a o cílech výzkumné studie, o procedurách a o nárocích, které na mé dítě lékař klade. Lékař pověřený touto studií mi vysvětlil případné problémy, které mohou vyvstat během účasti mého dítěte ve studii, a vysvětlil mi způsoby, kterými budou tyto případné problémy řešeny. Měl/a jsem možnost osobně si prohlédnout počítačové zařízení, které bude použito při experimentálním měření našeho dítěte.
2. Před provedením experimentálního měření jsem informoval/a odpovědného vedoucího lékaře výzkumné studie o všech lécích, ev. léčebných procedurách, které mé dítě užívá či absolvovalo a o všech dalších významných okolnostech jeho zdravotního stavu (např. úraz hlavy, otřes mozku, bezvědomí, prodělaná onemocnění, vážná onemocnění u pokrevních příbuzných atp.).
3. Byl/a jsem informován/a, že účast mého dítěte ve výzkumné studii má dvě části. Byl/a jsem seznámen/a se skutečností, že mé dítě podstoupí opakované binokulární měření kontrastové citlivosti na experimentálním počítačovém zařízení (v prostorových frekvencích 1,5, 3, 6, 12 a 18 cyklů na stupeň) před a po třiceti minutovém pleoptickém cvičení indikovaném lékařem. Tento Informovaný souhlas se vztahuje na všechna experimentální měření a na všechna oční vyšetření provedená v rámci studie.
4. Byl/a jsem informován/a, že účast mého dítěte na studii je dobrovolná a může být kdykoli zrušena, aniž to, jakkoliv ovlivní jeho ev. další léčbu. Víím, že můžu kdykoliv toto experimentální vyšetření přerušit, aniž to jakkoliv ovlivní ev. další léčbu mého dítěte.
5. Při zařazení do výzkumné studie budou všechna osobní data uchovávána s plnou ochranou důvěrnosti, v souladu se Zákonem 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů. Do této dokumentace mohou nahlédnout za účelem ověření získaných dat zástupci nezávislých etických komisí a zahraničních nebo místních kompetentních úřadů, pro tyto případy je však zaručena ochrana důvěrnosti osobních dat dítěte. Při vlastním provádění výzkumné studie bude mé dítě vedeno pouze pod číselným kódem a/nebo iniciálami jména a příjmení. Porozuměl/a jsem tomu, že jméno mého dítěte se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti dalšímu použití výsledků této studie pro vědecké a edukační účely.

● **Prohlášení**

(Prosíme, políčka označené **žlutě** vyplňte hůlkovým písmem, do dalších políček označených **modře**, prosíme Váš podpis)

Porozuměl/a jsem smyslu a okolnostem klinické výzkumné studie ve všech bodech, jak je uvedeno výše v Informaci pro rodiče, které mi mohly být osobně vysvětleny MUDr. M. Dostálkem, Ph.D. Dobrovolně souhlasíme s účastí našeho dítěte (jméno v hlavičce) v této klinické výzkumné studii. Bereme na vědomí, že náš podpis v žádném případě nepopírá kterékoli z našich práv.

Podpis osoby mající plnou moc (matky)

Jméno Vlastnoruční podpis:
V Litomyšli dne:

Podpis osoby mající plnou moc (otce)

Jméno Vlastnoruční podpis:
V Litomyšli dne:

Podpis lékaře odpovědného za studii

MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D.: _____ V Litomyšli dne: _____

PŘÍLOHA D – Publikační činnost

SEZNAM RELEVANTNÍCH PUBLIKACÍ VE VZTAHU K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE

PUBLIKACE

Dostálek, M.; Hejda, J.; Fliegel, K.; **Ducháčková, M.**; Dušek, L.; Hozman, J.; Lukeš, T.; Autrata, R.: Influence of artificially generated interocular blur difference on fusion stability under vergence stress. Journal of Eye Movement Research (IF 1,56/2019-Q3; 2022-Q2). 2019, 12(4), ISSN 1995-8692.

CITACE:

Koppelaar, H.; Kordestani-Moghadam, P.; Kouhkani, S.; Irandoust, F.; Segers, G.; de Haas, L.; Bantje, T.; van Warmerdam, M.: Proof of Concept of Novel Visuo-Spatial-Motor Fall Prevention Training for Old People. *Geriatrics*. 2021; 6(3):66.

Jaschinski, W.; Groner, R.: Vergence Eye Movements: From Basic Science to Clinical Application – Foreword to the Special Issue. Journal of Eye Movement Research. 2019, 12(4), ISSN 1995-8692.

Borůvková, M.; Dostálek, M.; Novák, P.; Hozman, J.: Haploskopický test pro vyšetření kontrastní citlivosti: ověření efektivity u pleopticky léčených dětí. Jemná mechanika a optika. 2024, 69(9), v tisku, ISSN: 0447-6441.

UŽITNÝ VZOR

Hozman, J.; Dostálek, M.; **Borůvková, M.**: Zařízení a počítačový program pro haploskopické binokulární vyšetření kontrastní citlivosti obou očí. Česká republika. Užitný vzor PUV 2024-42026 (zn. 73631).

KONFERENČNÍ PŘÍSPĚVKY

Ducháčková, M.; Novák, P.; Hozman, J.; Dostálek, M.: Porovnání dichoptických zobrazovacích systémů pro aplikaci ortopticko-pleoptických cvičení ve virtuální realitě. In: VI. Trendy v dětské oftalmologii a strabologii. Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2018.

Mistrová, A.; Letková, V.; **Ducháčková, M.**; Čáslavská, B.; Hozman, J.; Beneš, P.; Dostálek, M.: VIVID Vision systém virtuální reality v pleoptické terapii. In: VI. Trendy v dětské oftalmologii a strabologii. Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2018.

Letková, V.; Mistrová, A.; **Ducháčková, M.**; Čáslavská, B.; Hozman, J.; Beneš, P.; Dostálek, M.: VIVID Vision systém virtuální reality v strabologické diagnostice a v ortoptické terapii. In: VI. Trendy v dětské oftalmologii a strabologii. Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2018.

Ducháčková, M.; Hejda, J.; Hozman, J.; Dostálek, M.: Standardization of visual attention in the measurement of dichoptic masking stimuli on PC – haploscope. In: Instruments and Methods for Biology and Medicine. Praha: CTU. Czech Technical University Publishing House, 2014.

Dostálek, M.; **Ducháčková, M.**; Hejda, J.; Fliegel, K.; Lukeš, T.; Hozman, J.; Autrata, R.: Efficiency of binocular fusion under relative vergence stress. In: 36th European Strabismological Association (ESA) Meeting. Bergen: European Strabismological Association, 2014.

OSTATNÍ KONFERENČNÍ PŘÍSPĚVKY

Dostálek, M.; Čáslavská, B.; Jeřábková, L.; **Borůvková, M.**; Komínek, M.; Beneš, P.; Autrata, R.: Souvislost defokusu sítnicového obrazu s progresí krátkozrakosti. In: 17. Mezinárodní ortoptická konference. Česká společnost ortoptistek, 2024.

Čáslavská, B.; Dostálek, M.; **Borůvková, M.**; Jeřábková, L.; Komínek, M.; Hozman, J.; Beneš, P.; Autrata, R.: Metodika sledování statických a dynamických parametrů akomodace u subjektů studie M.A.R.S. léčených vysoce ředěným atropinem. In: XVI. Sympóziem detskej oftalmológie. Slovenská Oftalmologická Spoločnosť, 2023.

Dostálek, M.; Kašparová, T.; Čáslavská, B.; **Borůvková, M.**; Beneš, P.; Hozman, J.; Autrata, R.: Defokus sítnicového obrazu, jeho role v myopizaci a možnosti jeho měření. In: VIII. Trendy v dětské oftalmologii a strabologii. Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2022.

Borůvková, M.; Čáslavská, B.; Dostálek, M.; Beneš, P.; Hozman, J.; Autrata, R.: Statické a dynamické vlastnosti zornicových reakcí a akomodace u subjektů studie M.A.R.S. In: VIII. Trendy v dětské oftalmologii a strabologii. Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2022.

Dostálek, M.; Čáslavská, B.; **Ducháčková, M.**; Malá, K.; Hozman, J.; Autrata, R.; Beneš, P.: Nežádoucí účinky aplikace vysoce ředěného atropinu: statické a dynamické. In: XIV. Sympóziem detskej oftalmológie s mezinárodnou účasťou. Slovenská Oftalmologická Spoločnosť, 2019.

Čáslavská, B.; Dostálek, M.; **Ducháčková, M.**; Malá, K.; Hozman, J.; Krejčíková, I.; Beneš, P.; Autrata, R.: Krátkodobé a dlouhodobé nežádoucí účinky vysoce ředěného atropinu. In: Odborná konference ČSO: Ortoptika a současnost. Česká společnost ortoptistek, 2019.

Dostálek, M.; **Ducháčková, M.**; Čáslavská, B.; Hozman, J.; Autrata, R.; Beneš, P.: Kvantitativní metrika akomodační dynamiky. In: VI. Trendy v dětské oftalmologii a strabologii. Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2018.