



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Stereopse

Stereopsis

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Kristýna Štěbetáková

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král

Kladno, Květen 2017

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2016/2017

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

Student: **Kristýna Štěbetáková**

Obor: Optika a optometrie

Téma: **Stereopse**

Téma anglicky: Stereopsis

Zásady pro vypracování:

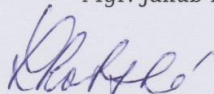
Student vypracuje projekt, který se zabývá problematikou stereopse. Student zpracuje základní složky jednoduchého binokulárního vidění, podmínky vzniku jednoduchého binokulárního vidění a definuje normativní hodnoty stereopse. V dalších kapitolách student popíše základní strabické úchyly a rozdělení těchto vad, sepíše jednotlivé vyšetřující postupy a testy na binokulární vidění. V praktické části bakalářské práce student změní zaměstnance a studenty fakulty FBMI - ČVUT a provede statistickou analýzu údajů.

Seznam odborné literatury:

- [1] BENJAMIN, W. J., BORISH, I. M., Borish's Clinical Refraction, ed. 2, Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2006, 1255 s., ISBN 978-0-7506-7524-6
- [2] ELLIOTT D. B., Clinical Procedures in Primary Eye Care, ed. 3, Butterworth-Heinemann, 2007, ISBN 978-0750688963
- [3] TUNNACLIFFE, A. H., Introduction to visual optics, ed. 1, London: The Gresham press, 1993, ISBN 978-0-900099-28-1

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Mgr. Jakub Král



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce: Stereopse

Abstrakt:

Práce se věnuje problematice stereopse a je rozdělena na dvě části, teoretickou a výzkumnou část. Teoretická část se věnuje průběhu zrakové dráhy a její funkci, samotné stereopsi, binokulárnímu vidění, jeho vývoji i patologiím. Ve stereoskopických modelech vidění je zmíněn horopter, Panumův prostor a Panumův areál, a stereoskopická paralaxa. V další části práce jsou stručně shrnuty poruchy binokulárního vidění a závěr je věnován vyšetření binokulárního vidění a stereoskopickým testům.

Výzkumná část pojednává o vyšetření stereopse do dálky a do blízka u studentů a zaměstnanců Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT. Dále o analýze a statistickém vyhodnocení těchto dat.

Klíčová slova:

stereopse, binokulární vidění, poruchy binokulárního vidění, strabické úchyly, vyšetření binokulárního vidění, zraková dráha, stereoskopické testy, horopter

Bachelor's Thesis title: Stereopsis

Abstract:

This thesis focuses on stereopsis. The first part is the theoretical part and the second is the research part. The theoretical part is devoted to the visual pathway and its function, stereopsis and binocular vision – evolution and pathology. In the models of stereoscopic vision, the horopter, Panum's fusional area and stereoscopic parallax are itemized. One of the chapters is about binocular vision problems, and in the end, there is testing of binocular vision and types of stereopsis tests.

The research part is about stereoscopic examination to the distance and to the near at the Faculty of Biomedical Engineering. This section is also devoted to the analysis and statistical evaluation of a set of information.

Key words:

stereopsis, single binocular vision, binocular vision problems, eye deviation and strabology, testing of binocular vision, stereopsis tests, horopter

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem vyučujícím na Fakultě biomedicínského inženýrství, kteří mi doporučili mnoho odborné literatury, a když bylo potřeba, poskytli mi i odborné konzultace při řešení daného problému. Ráda bych poděkovala hlavně svému vedoucímu práce za velkou trpělivost a ochotu pomoci mi s jakýmkoliv problémem.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Stereopse*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V dne

.....

podpis

Obsah

Úvod.....	1
Teoretická část	2
1. Anatomie zrakové dráhy	2
1.1 Rozdělní zrakové dráhy.....	2
1.2 Odbočky zrakové dráhy	4
1.3 Funkce zrakové dráhy	5
2. Binokulární vidění	6
2.1 Vývoj binokulárního vidění	6
2.2 Podmínky jednoduchého binokulárního vidění	7
2.3 Rozdělení binokulárního vidění	7
2.4 Patologie binokulárního vidění	8
3. Stereopse	9
4. Stereoskopické modely vidění	11
4.1 Horopter	11
4.2 Panumův areál a Panumův prostor.....	11
4.3 Stereoskopická paralaxa.....	12
5. Poruchy binokulárního vidění.....	14
5.1 Strabické úchytky.....	14
5.1.1 Konkomitantní strabismus	14
5.1.2 Zvláštní formy strabismu	16
5.1.3 Pseudostrabismus.....	17
5.2 Refrakční vady	17
5.3 Patologie oka.....	19
6. Vyšetření a testy na binokulární vidění	20
6.1 Anaglyfní testy	20
6.1.1 Worthův test.....	20
6.1.2 Schoberův test.....	21
6.2 Polarizační testy	22
6.2.1 Křížový test.....	22
6.2.2 Mallettův test	23
6.3 Testy s mechanickou separací obrazu – Turvilleho test.....	23

6.4	Ostatní testy.....	24
6.4.1	Von Graefe.....	24
6.4.2	Maddoxův test.....	24
6.4.3	Bagoliniho skla	25
7.	Vyšetření stereopse	26
7.1	Langův test dvou tužek	26
7.2	Synoptofor.....	26
7.3	Titmusův test.....	27
7.4	TNO stereotest	28
7.5	Random Dot stereotest	28
7.6	Langův test	29
	Experimentální část.....	30
8.	Přístroje a vybavení	30
9.	Postup.....	33
10.	Výsledky	35
11.	Přílohy.....	38
	Závěr	41
	Seznam použité literatury	42
	Seznam obrázků.....	44

Úvod

Stereopse, nedílná součást binokulárního vidění, je závislá na fúzi, kdy je obraz vnímán oběma očima jako jeden vjem, který může přecházet do prostoru – vjem hloubky a 3-dimensionální struktury. Tento prostorový vjem umožňuje orientaci v prostoru a správný odhad vzdálenosti, popřípadě rychlosti. Podmínkou je bezchybná spolupráce obou očí.

Prostorové vidění je využíváno v běžném životě pro orientaci v prostoru. V dnešní době se prostorový vjem hojně využívá i v kultuře a domácnostech pro zábavu jako 3D projekce v kinech, televizorech a počítačích.

Motivací k sepsání této bakalářské práce se stala má nevýhoda při vjemu 3D projekcí, kdy u mne byla stereopse stanovena jako neprokázaná. Práce proto popisuje vyšetření stereopse a její výskyt na půdě Fakulty biomedicínského inženýrství.

Cílem práce je seznámení se a rozvedení poznatků problematiky stereopse a samotného binokulárního vidění do větší hloubky. Dále pojednání o vyšetření a jednotlivých testech na binokulární vidění, jež jsou využívány nejen k prokázání přítomnosti stereopse.

Cílem praktické části je zjištění přítomnosti stereopse na Fakultě biomedicínského inženýrství. Změření dostatečného množství dat stereopse do dálky a do blízka a následně stanovení statistických a grafických údajů z vyšetření. V časopisu Česká oční optika zmiňují, že nemusí být naměřena stejná stereopse do dálky jako do blízka. Tato myšlenka se pro praktickou část stala hypotézou.

Teoretická část

1. Anatomie zrakové dráhy

Zraková dráha je čtyř-neuronová dráha, tvořící spojení mezi okem a mozkiem, a řadí se mezi senzitivní (senzorické) dráhy. Přenáší světelné podněty ze sítnice do metatalamu a dále do primární zrakové oblasti v týlním laloku. Zraková dráha se skládá ze čtyř neuronů, kde těla prvních tří neuronů se nacházejí v nervové části sítnice (pars nervosa retinae). Čtvrtý neuron se nachází v corpus geniculatum laterale a ke kůře okcipitálního laloku prochází skrz tractus geniculocorticalis. Odbočky zrakové dráhy řídí zornicový reflex, reflexní pohyby, souhyby očí i motoriku celého těla a řízení cirkadiálních rytmů. [1, 2]

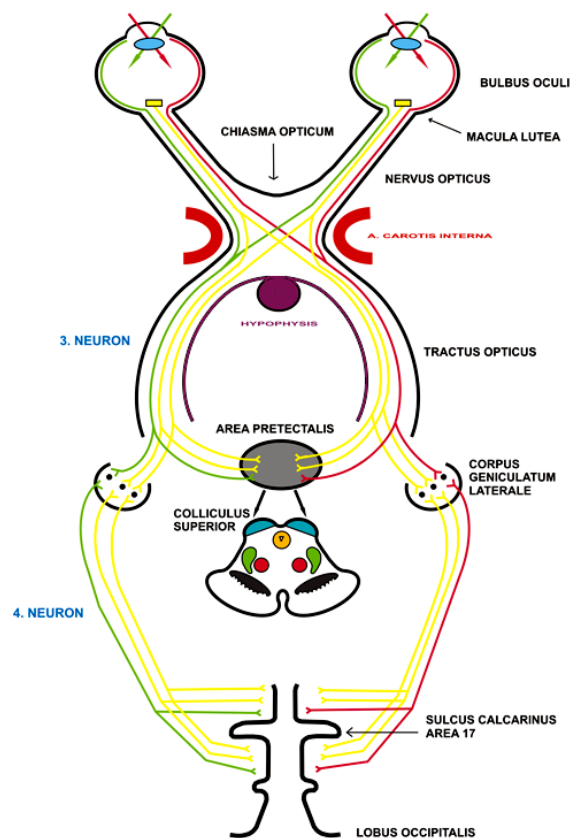
1.1 Rozdělní zrakové dráhy

Mezi první neurony patří speciální buňky, jejichž dendrity jsou přeměněny ve výběžky světločivých smyslových buněk tzv. fotoreceptory (stratum neuroepitheliale). Fotoreceptory se dělí na dva typy, tyčinky a čípky. Tyto neurony jsou uloženy a rovnoměrně zastoupeny v nejvnitřnější vrstvě sítnice a mění světelné podněty na nervové signály. Axony směřující dovnitř se napojují na dendrity bipolárních buněk.

Dalšími neurony jsou bipolární buňky (ganglion retinae). Jejich dendrity navazují na světločivé buňky a krátké neurity bipolárních buněk se dále spojují s dendrity multipolárních nervových buněk. Bipolární buňky jsou rozděleny na 3 typy, kdy jeden typ připadá tyčinkám a zbylé 2 typy čípkům. U čípků se funkčně dělí na „ON“ a „OFF“ bipolární buňky.

Třetí neurony, gangliové buňky (ganglion opticum), mají dlouhé axony začínající v sítnici, nazývané se fasciculus opticus. Vedou po vnitřním obvodu bulbu a sbíhají se v discus nervi optici, kde vytváří optický nerv. Optický nerv prochází skrze canalis opticus a následně se nervy z obou očí spojí a vytváří chiasma opticum, kde se kříží axony z nasálních periferií sítnice (temporální polovina zorného pole) spolu s nasálními axony z makul a následně přecházejí do druhostranného traktu. Vlákna z temporálních částí sítnice pokračují do stejnostranného traktu. Od překřížení dráhy pokračují ve zrakových svazcích (tractus opticus) a končí v tzv. primárních zrakových centrech v corpus geniculatum laterale v mezimozku. Směrem ke corpus geniculatum laterale se tractus opticus rozděluje na tlustší radix lateralis, který vstupuje přímo do corpus geniculatum laterale, a slabší radix medialis,

který jde do brachium colliculi superioris a jehož některá vlákna končí v colliculus superior tecti. Další vlákna se oddělují jako radix optica mesencephalica a radix optica hypothalamica.



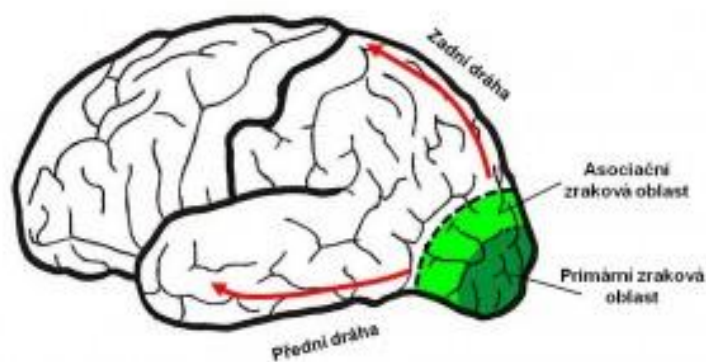
Obrázek 1: Zraková dráha

Gangliové buňky se funkčně rozlišují na „ON“ a „OFF“, rozlišují se i podle uložení dendritů v synaptických centrech, podle jejich morfologie a funkce. Malé gangliové (parvocelulární) buňky se označují jako P-gangliové buňky a v sítnici převažují (80 %). Tyto buňky mají malé receptivní pole a vedou informace o barvě, formě a detailu obrazu. Velké gangliové (magnocelulární) buňky se značí jako M-gangliové. Na sítnici mají velká receptivní pole a slouží k vedení informace o pohybu. Existují i tzv. W-gangliové buňky (koniocelulární), které jsou rozmanité velikosti a jejich axony pronikají až do dalších subkortikálních struktur.

Čtvrté neurony se nachází v primárních zrakových centrech jako buňky corpus geniculatum laterale. Jejich axony tvoří tzv. zrakovou radiaci (radiatio optica) či Gratioletův svazek a končí v buňkách korového zrakového centra na vnitřní ploše okcipitálního laloku. Ve svém průběhu se tyto neurony dělí na dvě části. Dolní část, probíhající v temporálním laloku, která na svém začátku tvoří Meyerovu kličku a horní část vláken, které procházejí

parietálním lalokem. Zraková dráha končí v area 17, která leží podélně a v hloubce sulcus calcarinus, a neurony vytvářejí tzv. korový obraz vnějšího světa. Dochází ke vzniku zrakových vjemů.

Oblast týlního laloku se rozděluje na primární zrakovou oblast a asociační zrakovou oblast. Primární zraková oblast se nachází v koncové části týlního laloku a zahrnuje areu 17. Tato oblast přijímá a zpracovává informace ze sítnice obou očí, které následně spojuje dohromady a dochází k orientaci objektů. Asociační zraková oblast, area 18 a area 19, spolupracuje s centrem pro určení barvy, tvaru a pohybu objektů a spolupracuje i s jinými centry mozkové kůry prostřednictvím přední a zadní dráhy. Přední, okcipitotemporální, dráha vede podél spodního okraje hemisfér a podílí se na rozpoznání obličejů a slov během čtení, i na vjemu barvy. Zadní dráha, okcipitoparietální, vede přes temenní lalok a podílí se na stereopsi, vnímání pohybu a polohy objektů. [1, 2, 3, 4, 5]



Obrázek 2: Týlní lalok

1.2 Odbočky zrakové dráhy

Před vstupem do corpus geniculatum laterale odbočuje z 3. neuronu několik vedlejších větví a ty zajišťují spoje do hypothalamu a mozkového kmene. Hypothalamus zajišťuje stálost cirkadiálních rytmů a převod optického signálu na nejvyšší vegetativní centra. Z mozkového kmene dráhy pokračují do area pretectalis k parasympatickému Edingerovu-Westphalovu jádru a k jádrům sympatického systému. Další dráha z mozkového kmene vede ke colliculus superior, odkud dále dráhy pokračují prostřednictvím fasciculus longitudinalis medialis k jádrům okohybných hlavových nervů a vestibulárním jádrům.

Dráha pupilárního reflexu vede přes area pretectalis a dělí se na dráhu pro miózu a mydriázu. Dráha pro miózu pokračuje do parasympatického Edingerovo-Westphalovo jádra a následně přes nervus oculomotorius do ganglion ciliare v očnici k musculus sphincter

pupillae. Dráha pro mydriázu sestupuje k sympatickému ciliospinálnímu centru až k musculus dilatator pupillae.

Akomodační dráha vede přes Cajalovo jádro, přes nukleus oculomotorius accesorius do musculus ciliaris. Dráha konvergence přechází v nucleus interstitialis na fasciculus longitudinalis medialis až do jader okohybných svalů.

Tektální zrakový okruh umožňuje motorické reakce na zrakové podněty, jako je zraková a propriocepční koordinace. Dráhy se odpojují ze zrakového nervu do colliculus superior tecta a následně jsou přepojeny na motorické sestupné dráhy. [2, 6, 7]

1.3 Funkce zrakové dráhy

Zraková dráha převádí impuls fotoreceptorů po dopadu obrazu na sítnici z oka do mozkové kůry v týlním laloku. Chiasma opticum se stává důležitým křížením zrakové dráhy, kdy dochází ke spojení jednoduchých obrazů a mozek může následně vyhodnotit obraz prostorově. Odbočky ze zrakové dráhy řídí miózu, mydriázu, pupilární reflex, akomodaci, konvergenci, různé okohybné pohyby i motoriku celého těla (propriocepční koordinace). [2, 3, 8]

2. Binokulární vidění

Binokulární vidění je takové vidění, které zprostředkovávají obě oči zároveň a cestou zrakové dráhy dochází k příjmu obrazu ve zrakovém centru. Toto centrum signály z obou očí zpracovává a výsledný obraz člověk vnímá jednoduše a oba obrazy v překrytí. Spojení obrazů je v ideálním případě završeno stereopsí. Může být završeno též jen fúzí, např. při sledování televize, kdy stereopse není potřebná.

Podmínkou vzniku binokulárního vidění je čistý obraz vytvořený rovnovážným stavem mezi refrakcí, optickou čistotou prostředí oka, bez přítomnosti patologie oka a spoluprací obou očí jako retino-kortikální spolupráce a přesná koordinace očí. Koordinace očí ovlivňuje všechny směry pohledu – motorická fúze. Stereopse je na ní závislá a jedná se o první potřebnou složku. Retino-kortikální spolupráce podporuje fúzi odlišných obrazů – senzorická fúze. K fúzi může dojít pouze v případě, že nevznikají rozdíly v obrazech z obou očí, pokud vznikají mezi obrazy malé odchylky, dochází ke stereopsi. Při příliš velkém rozdílu mezi obrazy může dojít ke dvojitému vidění nebo potlačení jednoho oka, supresi.

Normální retinální korespondence, stav, ve kterém obdobné oblasti sítnic obou očí mají v prostoru stejnou lokalizaci. Obě fovey jsou přitom hlavními korespondujícími místy. Anomální retinální korespondence je senzorická adaptace jednoduchého binokulárního vidění na motorickou anomálii strabismu. Jde o projev funkce korové zrakové oblasti, nikoliv sítnice. [9, 10, 11, 12, 13]

2.1 Vývoj binokulárního vidění

Binokulární vidění se vyvíjí po narození až do jednoho roku, do šesti až osmi let dochází k jeho upevnění. U novorozenců se po narození nachází pupilární reflex. Z počátku vývoje zraku vnímá jedinec vjem z periferií sítnice, má skotopické vidění, vnímá tvary, kontrast, ale nefixuje a nezaostřuje.

Ve 2. týdnu začíná fotopické vidění, v 1. měsíci dochází k počátku primitivní senzorické monokulární fixace a ve 2. měsíci binokulární fixace. Ve 3. měsíci dochází k vývoji centrální (foveolární) fixace a je to počátek protisměrných, diskonjugovaných pohybů očí (vergence), ve 4. měsíci započne jedinec plně akomodovat a centrálně fixovat. V 5. měsíci dítě trvale fixuje, po 6. měsíci už dokáže koordinovat bulby a vyvíjí se reflex fúze. Po roce by měli být vyvinuty binokulární reflexy a stereopse. Ve 3. roce dochází k dokončení akomodačně-

konvergenčního reflexu a kolem 4. roku se centrální vizus blíží hodnotám dospělého. Nejpozději do osmi let se binokulární vidění upevňuje. [10, 14]

2.2 Podmínky jednoduchého binokulárního vidění

Podmínkami jsou senzorní složky jako čistota optických médií oka, normální nebo téměř normální vidění obou očí, přibližně stejně velké sítnicové obrazy, centrální fixace, normální retinální korespondence, schopnost fúze a normální funkce zrakových drah a center.

Další potřebnou složkou jsou motorické složky jako přibližně paralelní postavení očí při pohledu do dálky, volná pohyblivost očí ve všech směrech, normální funkce motorických drah a center, a koordinace akomodace a konvergence.

Binokulární vidění umožňuje zhodnocení situace objektu v zorném poli pomocí šířky zorného pole, senzorního systému stanovujícího směr pohledu, dosažení jednoduchého obrázku z obou očí a poskytování informací potřebných k posouzení vzdálenosti od předmětu. Motorický systém koordinuje orientaci očí v prostoru a úhel pro stabilní a daný pohyb, také spolupracuje s akomodačním systémem pro zachování jednoduchého obrazu. [12, 15]

2.3 Rozdělení binokulárního vidění

Jednoduché binokulární vidění má tři kvalitativní úrovně. První úroveň je simultánní percepce se superpozicí. Sítnice každého oka vnímá vlastní obraz a následně se tyto nestejně obrazy spojují superpozicí (zákrytem) a jsou současně vnímány jako jeden vjem.

Následuje fúze, centrální schopnost spojit dva stejné obrazy z obou očí za pomoci motorických a senzorních procesů v jeden smyslový vjem. Dělí se do tří kategorií, podle toho, z jaké části sítnice jsou obrazy spojovány. Periferní (paramakulární) fúze, makulární fúze a foveolární fúze. Fúze se dále rozděluje na senzorní a motorickou. Senzorní fúze je psychický a fyziologický děj spojování dvou makulárních vjemů bez pohybů očí. Motorická fúze řídí osy očí tak, aby došlo k protnutí ve fixovaném bodě a stává se důležitou součástí senzomotorické koordinace očí.

Poslední úroveň binokulárního vidění je stereopse, vznik trojrozměrného obrazu. Podmínkou pravé stereopse je fúze. Stereopsi se podrobně věnuje kapitola 3. Stereopse. [10, 12, 13]

2.4 Patologie binokulárního vidění

Mezi patologie se řadí tři binokulární poruchy a jsou jimi útlum, amblyopie a anomální retinální korespondence.

Útlum je stav, který zabraňuje vstupu informací z uchýleného oka do zrakového centra a zabraňuje jejich uvědomění. O podstatě a místě útlumového procesu se zatím ví jen málo. Trvalým aktivním útlumem uchýleného oka dochází ke vzniku amblyopie – funkční amblyopie z nepoužívání oka.

Amblyopie je snížení zrakové ostrosti různého stupně. Může být jednostranná i oboustranná. Dělí se na kongenitální (vrozenou), která se vyskytuje u jedince od narození a léčením se nezlepší vůbec nebo jen částečně. Plná léčba je možná u 80 % jedinců do šesti let věku a u 50 % do osmi let věku. Amblyopia ex anopsia z nepoužívání oka, která vzniká zamezením vstupu normálních zrakových podnětů do oka jako např. katarakta, nemoci, předčasný porod. Anizometropická amblyopie vzniká při rozdílu dioptrií mezi oběma očima a ametropická amblyopie může být na jednom nebo obou očích při vysoké refrakční vadě. Meridionální amblyopie se vyskytuje při velkém vrozeném astigmatismu, také se může být jednostranný nebo oboustranný. Relativní amblyopie a amblyopie při strabismu, jež vzniká na základě aktivního útlumu fovey uchýleného oka. Jednotlivé amblyopie se mohou navzájem kombinovat. Podle stupně vidění se amblyopie rozděluje na těžkou, střední a lehkou.

Anomální retinální korespondence je binokulární, funkční, centrálně nervová anomálie. Vzniká pozvolna u dlouhotrvajících neléčených strabismů s malou úchylkou a obvykle s dobrým viděním obou očí nebo jen s menší amblyopií jednoho oka. Čím dříve šilhání začalo a čím déle trvá, tím je anomální retinální korespondence pevnější. Rozlišujeme 2 formy a to harmonickou, při které spolupracuje s foveou vedoucího oka na uchýleném oku to místo, kam dopadá obraz předmětu pozorovaného vedoucím okem. A disharmonickou retinální korespondenci, při které spolupracuje s foveou vedoucího oka na uchýleném oku místo mezi foveou a místem, kam dopadá obraz předmětu pozorovaného vedoucím okem. [12]

3. Stereopse

Z řeckého překladu znamená stereo „pevné“ a opis „vzhled, zrak“. Schopnost vytvoření hloubkového vjemu, který vzniká spojením lehce posunutých obrazů, jež nedopadají na přesně korespondující místa sítnice.

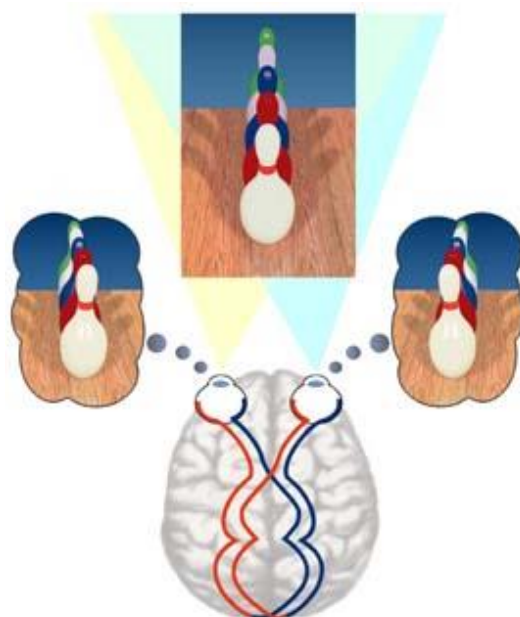
Stereoskopické vnímání hloubky je nejvyšším stupněm vidění a zakládá se na schopnosti spojení obrazů z obou očí do jednoho a vytvoření hloubkového dojmu. Hlavní podmínkou pro stereoskopický vjem se stává současná spolupráce očí a funkce mozku. Mozek spojuje dva téměř stejné obrazy až na malé rozdíly. Tyto rozdíly v konečném obrázku vytváří jeden velký rozdíl a ten vytváří prostorový efekt. Stereoskopicky člověk vnímá pevný objekt ve třech prostorových dimenzích – šířka, výška a hloubka.

K vjemu hloubky i 3-dimensionální struktury může docházet i monokulárně. Je viditelná různá velikost a pohybová paralaxa, jež značí rozdíly v obrazu objektu v průběhu času, kdy se pozorovatel pohybuje. Dojem hloubky monokulárně ale není tak intenzivní jako při pozorování předmětu oběma očima.

Stereopse není tak často testována jako např. zraková ostrost, barevné vidění a zorné pole, nicméně je důležitou součástí každodenního vidění. Umožňuje člověku posoudit vzdálenost a odhadnout, kde se objekty ve vztahu k člověku samotnému i sobě navzájem nacházejí.

Stereoskopické vnímání je důležité pro řízení a parkování auta, navlékání jehly, šití a pletení, chůzi po schodech, uchopení předmětů, chirurgické operace, profesionální hraní mnoha sportů a mnoho dalšího.

Býložravci mají oči umístěné po stranách hlavy, dochází u nich k minimálnímu překrytí monokulárního zorného pole, a tudíž k minimálnímu binokulárnímu vidění, ale mají dostatečně široké zorné pole na to, aby mohli zpozorovat ohrožení. Šelmy mají oči umístěné vedle sebe a zorné pole binokulárního vidění je u nich větší, tudíž dochází k tvorbě stereopse pro odhad vzdálenosti od kořisti. Lidé jsou na tom podobně jako šelmy, oči umístěné vedle sebe umožňují dostatečně široké binokulární překrytí, ve kterém může vznikat stereoskopický efekt.



Obrázek 3: Spojení obrazů a vytvoření jednoho prostorového

Špatná nebo chybějící stereopse je většinou způsobena amblyopií v dětství, ale v pozdějším věku může být ovlivněna podmínkami, které snižují schopnost vidět jasně. Mezi tato ovlivnění patří katarakta, věkem podmíněná makulární degenerace i presbyopie. Poruchy mozku, obzvláště pokud jsou zapojeny vizuální cesty, mohou stereopsi také narušit. Jde především o poranění hlavy a mozkové mrtvice.

Poškozené stereoskopické vidění může při sledování 3D projekce způsobit bolesti hlavy, nevolnost, závratě nebo zmatenost.

Stereopse je mírou minimální vnímatelné horizontální disparity vyjádřené v úhlových vteřinách. Podle J. Lee se spodní hranice stereoskopického vnímání u dospělých nachází kolem 40 úhlových sekund. [9, 13, 16, 17, 18, 19]

4. Stereoskopické modely vidění

Zorná pole očí vnímají odlišnou oblast, tyto oblasti se ovšem překrývají, a právě v tomto průniku vzniká stereoskopické vidění. Kapitola se věnuje jednotlivým místům v pozorovaném prostoru v souvislosti se stereopsí, jako je horopter a Panumovy prostory, a jednotlivě je popisuje.

4.1 Horopter

Horopter je definován jako místo všech bodů fixovaného objektu v prostoru, jež jsou zobrazovány na odpovídajících místech sítnic obou očí. Body mají pravidelnou horizontální vzdálenost od sítnice a horopter má podobu kruhu procházejícího středem otáčení obou očí a fixačního bodu. Tato linie horopteru se nazývá Vieth-Müllerův kruh (geometrický horizontální horopter). Čím blíže se nacházejí fixované body, dochází ke konvergenci, tím menší je Vieth-Müllerův kruh. Druhým komponentem je Prévost-Burckhardtova linie, která je kolmá k Vieth-Müllerovu oblouku a protíná ho uprostřed, mezi oběma očima, kde může být fixační bod.

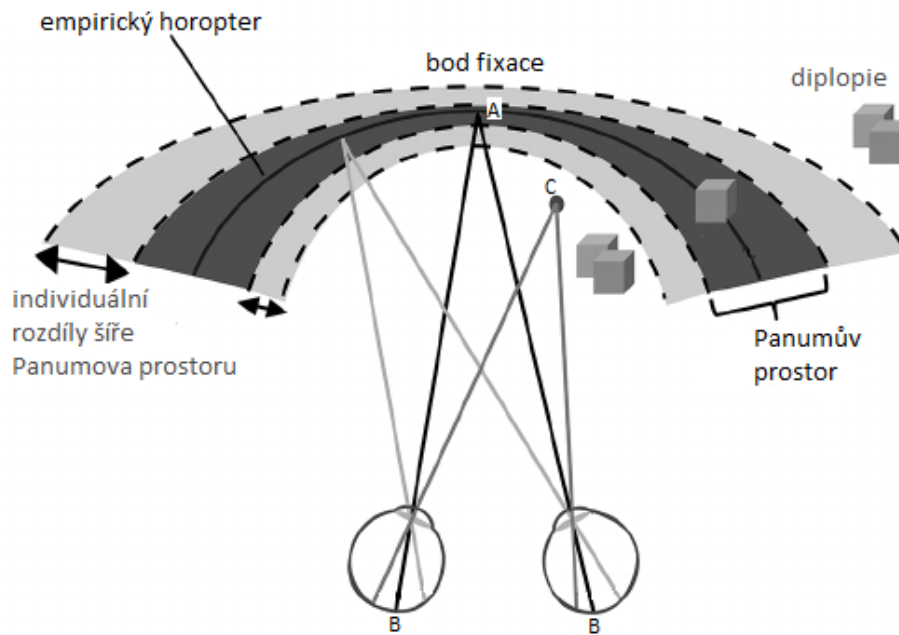
Empirická křivka horopteru, longitudinální horopter, je plošší než Vieth-Müllerova křivka. Tato odchylka od geometrického horopteru se nazývá Hering-Hillebrandova odchylka. [11, 20]

4.2 Panumův areál a Panumův prostor

Panumův areál, prostor na sítnici, který se nachází kolem daného fixovaného bodu. Tato místa jsou následně propojena mezi sítnicemi. Panumův prostor je oblast kolem empirického horopteru, kde dochází k fixaci daných bodů. Body z Panumova prostoru nekorespondují s body na sítnici v Panumově areálu. Každý retinální bod má v druhém oku kolem korespondujících míst oblast, která spojí podobné a lehce disparátní obrazy. Stereopse je možná pouze v těsné blízkosti horopteru, po obou stranách fixačního bodu.

Body nacházející se před i za Panumovým prostorem jsou vnímány dvojitě, dochází k fyziologické diplopii. Člověk se ji naučil nevnímat, ale lze ji vyvolat.

Na obrázku 4 je vidět horopter i Panumův prostor s individuální šířkou každého jedince. Fixovaný předmět se nahází v bodě A a korespondující místa sítnice jsou v bodech B. Při pozorování bodu C již vzniká diplopie. [12, 21]



Obrázek 4: Horopter a Panumův prostor

4.3 Stereoskopická paralaxa

Při zaostřování na daný bod se oči stáčí tak, aby jejich optické osy tento bod protínaly. Úhel sevřený mezi osami se nazývá stereoskopická paralaxa. Rozestup očí se značí b [m] a počítá se s vzdáleností d [m] od předmětu podle vzorce (1) v radiánech. Pokud má výsledek vyjít v úhlových minutách, musí se přidat početní operace sinus dle vzorce (2) a v případě výsledku v úhlových sekundách se počítá dle vzorce (3).

$$\delta = \frac{b}{d} [\text{rad}] \quad (1)$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{b}{d}\right) * 60 ['] \quad (2)$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{b}{d}\right) * 3600 ['] \quad (3)$$

Stereoskopicky lze pozorovat předměty v různých vzdálenostech až do vzdálenosti d_0 , která se nazývá poloměr stereoskopického vidění. Je to vzdálenost, která jde stále ještě odlišit od nekonečna. [22]

$$d = \frac{b}{\sin \delta} [m] \quad (4)$$

Průměrná pupilární distance se pohybuje kolem 62 mm a klinicky přípustná stereopse bývá 60". Po úpravě vzorce (3) se výpočtem získá pomocí vzorce (4) stereoskopický poloměr přibližně o 213 metrech.

Výpočet po dosazení hodnot:

$$d = \frac{0,062}{\sin(60/3600)} [m]$$

$$d = 213,1 m$$

5. Poruchy binokulárního vidění

Poruchy binokulárního vidění mají za následek v motorické části strabismus a v senzorické části změny ve zrakovém vnímání. Dochází k excentrické fixaci, snížení zrakové ostrosti, omezení zorného pole a poruchám ve vnímání prostoru. Pokud je narušena jakákoliv spolupráce očí, nedojde k binokulárnímu vidění, které zapříčiní vzniku stereoskopického vjemu. Následující odstavce se věnují strabismu a jeho členění, refrakčním vadám a patologiím oka.

5.1 Strabické úchytky

Strabismus je stav, kdy se při fixaci určitého předmětu na blízko nebo do dálky osy vidění neprotínají v témže bodě. Funkční porucha provázená asymetrickým postavením očí. Pokud je narušena jakákoliv spolupráce očí, nedojde k binokulárnímu vidění, které zapříčiní vzniku stereoskopického vjemu. Následující odstavce se věnují strabismu a jeho členění právě z tohoto důvodu.

Strabismus se rozděluje na latentní a manifestní. Heteroforie latentní, nebo-li skryté šilhání, je častou oční vadou. Projeví se až při zrušení fúze. Za normálních okolností je při binokulárním vidění korigována fúzní vergencí. Klasifikuje se podle směru úchytky na exoforii, esofoirii, hyperfoirii, hypoforii a při stočení na excyklofoirii a incyklofoirii. Při kompenzované heteroforii je motorický systém schopen sám úplně překonat bez jakýchkoliv symptomů, s plynulým návratem po disociaci, obvykle bez fixační disparity, bez suprese a s dobrou stereopsí. U dekompenzované heteroforie není schopen motorický systémem forii úplně překonat. Při dekompenzované heteroforii se vyskytují symptomy, dochází k pomalému návratu po disociaci obrazu, neodpovídají fúzní rezervy, vyskytuje se fixační disparita, může být suprese a je slabá stereopse.

Heterotropie je manifestní strabismus, který se dělí na konkomitantní (dynamický) a paralytický strabismus, který se dále dělí na kongenitální a získaný. [12, 23]

5.1.1 Konkomitantní strabismus

Při konkomitantním strabismu je volná motilita očí ve všech pohledových směrech, ale může být omezena při dlouhotrvající velké úchytky. Vrozená vada vedoucí až k amblyopii. Dochází k narušení vývoje binokulárního vidění, ale obvykle není přítomna diplopie.

Konkomitantní strabismus se dále dělí na konvergentní (esotropie), divergentní (exotropie), vertikální (sursumvergentní a deorsumvergentní), a zvláštní formy strabismu. Nejčastěji vzniká do druhého roku života a vyskytuje se převážně v dětském věku. Incidence je přibližně 5 – 7,5 % dětí. [12, 24]

Konvergentní strabismus

Konvergentní, sbíhavé, šilhání patří mezi nejčastější formy strabismu v dětském věku. Dochází k němu při postižení nervu abducens a omezení pohybu bulbu laterálním směrem.

Jednostranný konvergentní strabismus se vyznačuje úchylkou jednoho oka, mezitím co druhé oko fixuje. Střídavý konvergentní strabismus se vyznačuje střídavou úchylkou, obě oči se spontánně střídají ve fixaci předmětu a obvykle je dobré oboustranné vidění. Jedno oko může být vedoucí nebo šilhá méně často.

Podstatou akomodativního strabismu je hypermetropie a nepoměr mezi akomodační konvergencí a akomodací (AC/A poměr). Rozeznáváme 3 typy. Plně akomodativní strabismus, který bývá vždy spojen s větší hypermetropií, je plně vykorigován brýlemi na dálku i na blízko. Při atypickém akomodativním strabismu jsou oči do dálky paralelní a úchylka se objevuje jen do blízka. Obvykle se koriguje bifokálními brýlemi a u dětí lze i Franklinovy skly. U smíšeného akomodativního strabismu je úchylka patrna do dálky i do blízka, korekce se upravuje jen částečně. Tento typ akomodativního strabismu je vhodný k operaci, ale jen pro tu úchylku, kterou nelze kompenzovat korekcí.

Kongenitální esotropie se projevuje po narození, nejpozději do 6 měsíců. Úchylka bývá velká, stejná do dálky i do blízka a bývá jen malá refrakční vada. Může být přítomen nystagmus. Terapie je pouze chirurgická.

Akutní konkomitantní strabismus je náhle vzniklá esotropie s větší úchylkou a diplopií. Pohyblivost očí je ve všech směrech normální, nelze prokázat žádnou obrnu některého



Obrázek 5: Rozdělení tropií

zevního oko-hybného svalu. Nejčastějším typem konkomitantního strabismu je získaná esotropie, která se objevuje mezi 1. a 7. rokem.

Posledním odvětvím konvergentního strabismu je cyklický strabismus. Úchylka se pravidelně opakuje nejčastěji v intervalech 48 hodin, kdy 48 hodin má dítě oči paralelně a 48 hodin jedno oko šilhá. Úchylka bývá velká, ale bez diplopie. [12, 24]

Divergentní strabismus

Méně častý strabismus, obvykle vzniká později než konvergentní strabismus a také se dělí na další podskupiny. Konstantní (bazální) exotropie, která tvoří asi polovinu všech divergentních strabismů. Úchylka bývá velká, ale stejná do dálky i do blízka. Tato exotropie může být střídavá i jednostranná. Insuficience konvergence začíná obvykle až kolem 18 let věku a úchylka je větší při pohledu do blízka než do dálky. Exces divergence, intermitentní exotropie, začíná již v předškolním věku. Do blízka bývají oči obvykle paralelní s určitým stupněm binokulárního vidění a do dálky je výrazná buď alternující nebo jednostranná exotropie. [12]

Vertikální strabismus

Dochází k němu při primární dysfunkci dolních šikmých svalů, když šikmé svaly mají nadměrnou aktivitu ve směru jejich činnosti. A pokud je disociovaná vertikální deviace, oko se stáčí vzhůru ve směru jeho disociace.

Strabismus sursoadductorius concomitans se projevuje kombinovanou horizontální a vertikální úchylkou. V addukci se stáčí buď jeden nebo oba bulby nahoru a dovnitř. Alternující hypertropie (disociovaná vertikální divergence) je zvláštní formou vertikálního šilhání. Výšková úchylka nemusí být na obou očích stejná. [12, 24]

5.1.2 Zvláštní formy strabismu

Mikrostrabismus je kosmeticky nenápadný strabismus s úhlem do 5 stupňů s harmonickou anomální retinální korespondencí a lehkou nebo těžkou amblyopií s centrální nebo excentrickou fixací. Nejčastěji je konvergentní, může být i divergentní. Dělí se na primární a sekundární, který vzniká po operaci velké úchylky.

A a V syndromy spadají také mezi zvláštní formy strabismu. Znakem syndromů je, že primární úchylna při pohledu nahoru a dolů není stejná. Pokládají se za následek kombinované dysfunkce horizontálních a vertikálních svalů. [12]

5.1.3 Pseudostrabismus

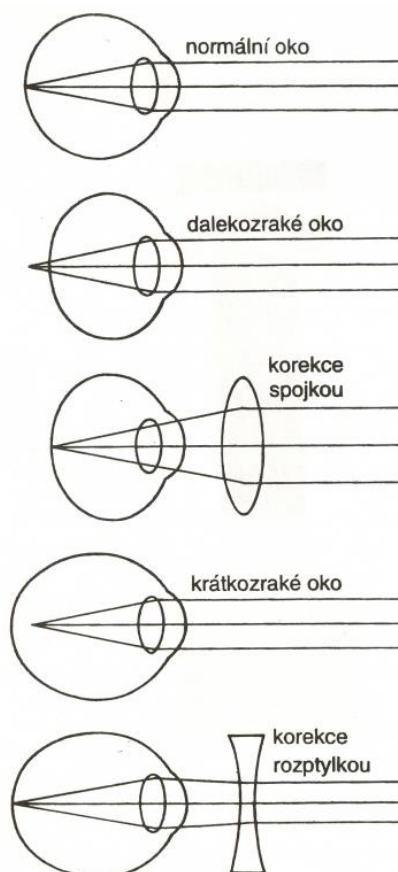
Pseudostrabismus je zdánlivé šilhání, které je způsobeno více příčinami jako je epikantus, hypertelorismus, větší kladný nebo záporný úhel gama atp. Při vyšetření jsou ale oči v paralelním postavení a s dobrým binokulárním viděním. [12]

5.2 Refrakční vady

Ke správnému vidění je zapotřebí nejen neporušený stav sítnice a zrakové dráhy, ale aby byl na sítnici vytvořen ostrý obraz pozorovaného předmětu a obrazem bodu byl opět bod. Pokud jsou všechny tyto podmínky splněny, oko je emetropické, paprsky procházející optickou osou se protínají v ohnisku na sítnici.

Menší refrakční vady dokáže člověk do určité míry vykompenzovat sám, ale jeho úsilí vede ke svalovému a nervovému vyčerpání. Toto vyčerpání má za následek bolest hlavy, bolest očí, slzení očí a další subjektivní příznaky. Refrakční vady oka postihují asi 2/3 populace. U axiálních vad je 75% četnost výskytu, 5 % u indexové vady a 20 % u lomivostní vady. K jejich korekci, pro dosažení emetropického stavu, dochází pomocí brýlí, kontaktních čoček a chirurgickou nebo laserovou operací

Ametropie je stav, kdy se paprsky na sítnici neprotínají a ohnisko neleží na sítnici. Rozlišuje se na sférickou a asférickou ametropii. Sférická ametropie je vada, která má bodové zobrazení mimo sítnici ať už kvůli axiální velikosti nebo indexu lomu prostředí či zakřivení rohovky a/nebo čočky. Pod sférické vady spadá hypermetropie a myopie. Mezi asférické vady, kdy paprsky nevykazují stejnou lomivost v různých rovinách, patří astigmatismus. [25, 26]



Obrázek 6: Axiální refrakční vady a jejich korekce

Hypermetropie

Může být způsobena příliš malou velikostí oka, menším zakřivením nebo nižším indexem lomu rohovky a/nebo čočky. Ohnisko vzniká za sítnicí. Daleký bod je z nekonečna posunut do konečné vzdálenosti za okem. U dětí je hypermetropie přirozená (+2 až +3 D) a vývojem oka se zmenšuje. Dělí se na tři stupně. Lehká dalekozrakost (hypermetropia levis) do +2,0 dioptrií, střední (hypermetropia modica) od +2,0 do +6,0 dioptrií a těžká (hypermetropia gravis) od +6,0 dioptrií výše. Dle vlivu akomodace se rozděluje na latentní, při plně maskované hypermetropii akomodací oka, a manifestní. Manifestní hypermetropie, když je indikovaná maximální plusová dioptrická hodnota, se dále rozděluje na fakultativní hypermetropii, která je maskovaná akomodační schopností a na absolutní hypermetropii. Totální hypermetropie udává součet latentní a manifestní složky. Koriguje se spojnými čočkami. [25, 26, 27]

Myopie

Myopie je naopak způsobena příliš velkou předozadní délkou oka, větším zakřivením nebo vyšším indexem lomu rohovky a/nebo čočky. Obraz pozorovaného předmětu se promítá před sítnicí, proto vidí ostře předměty v blízké vzdálenosti bez potřeby akomodovat. Podle počtu dioptrií se dělí na lehkou (myopia simplex) do -3,0 D, střední (myopia modica) od -3,0 do -6,0 D a těžkou (myopia gravis) nad -6,0 D. Dle věku výskytu se rozlišuje na vrozenou (myopia congenitalis), dětskou (youth-onset myopia) mezi šestým a dvanáctým rokem, středního věku (adult-onset myopia) mezi dvacátým a čtyřicátým rokem a pozdního věku (late adult-onset myopia). Koriguje se rozptylnými čočkami. [25, 26, 27]

Astigmatismus

U astigmatismu tvoří paprsky procházející okem ohnisko v různých rovinách v různých vzdálenostech. Vzdálenosti ohnisek se nazývá fokální interval. Příčinou bývá asféricita rohovky, přední i zadní plochy, decentrace oční čočky, úhel mezi vizuální a optickou osou či kombinace všech dohromady. Má mnoho členění. První ji člení na pravidelný astigmatismus (astigmatismus regularis), kdy nedochází k lokálním nepravidlostem a lze ho optimálně korigovat sférocylickou korekcí. Nepravidelný astigmatismus (astigmatismus irregularis), který zobrazuje body různě a dochází k lokálním nepravidlostem optické mohutnosti v různých meridiánech. Dle orientace hlavních os se rozlišuje na astigmatismus podle pravidla, při větší lomivosti ve vertikálním směru, astigmatismus proti pravidlu, větší

lomivost je orientována v horizontálním směru, a astigmatismus šikmých os. Podle velikosti se rozlišuje na lehký (0 D až 1,5 D), střední (1,5 D až 3 D) a těžký (nad 3 D). Dále je rozdělen na astigmatismus jednoduchý, v jednom řezu emetropický stav a v druhé řezu ametropická vada, složený astigmatismus, v obou řezech myopická nebo hypermetropická vada, a smíšený astigmatismus, kdy je jedna osa myopická a druhá hypermetropická. Astigmatismus se koriguje cylindrickými čočkami. [25, 26, 27]

Anisometropie

Anisometropie udává výraznější dioptrický rozdíl mezi vadou pravého a levého oka. Může způsobovat mnohé zrakové potíže, jako např. aniseikonii, což je rozdílná velikost sítnicových obrazů, až poruchy binokulární spolupráce, popř. supresi jednoho z očí. Dle velikosti se člení na anisometrii nízkého stupně, od 0 do $\pm 2,0$ D a korekce je tolerována prakticky bez obtíží, anisometrii vysokého stupně, od $\pm 2,0$ D do $\pm 6,0$ D, kdy nastávají problémy s binokulárním viděním, a anisometrii velmi vysokého stupně, více jak $\pm 6,0$ D. Podle typu refrakční vady se rozlišuje anisometropie složená astigmatická, složená myopická, složená hypermetropická, smíšená anisometropie, jednoduchá myopická, jednoduchá hypermetropická a vertikální. Koriguje se čočkami nestejně síly. Dítě snese rozdíl mezi dioptriemi větší než dospělý člověk. Dítě snese 5 až 6 dioptrií a dospělý jedinec pouze dvou až tří-dioptriový rozdíl. [25, 26, 27]

5.3 Patologie oka

Patologie oka snižují propustnost optických médií a schopnost vidět jasně tak, že obraz se nemusí dostávat na sítnici a oči nespolupracují. Člověk přichází nejen o prostorovou orientaci, prostorové vidění, ale i o zrak samotný. Mezi takové poruchy patří katarakta, ať už vrozená nebo věkem získaná, věkem podmíněná makulární degenerace, patologie způsobené předčasným porodem, ale i presbyopie. Poruchy mozku i vizuálních cest jako např. CVI vede k narušení binokulární spolupráce také. Mohou to být i různá poranění hlavy, či mozková mrtvice. [9, 10]

6. Vyšetření a testy na binokulární vidění

Binokulární funkce se nejčastěji subjektivně ověřují pomocí bichromatických a polarizačních testů. Je zapotřebí zkušební brýlová obruba s červeno-zelenými filtry či polarizačními předsádkami nebo foropter se zabudovanými filtry. [28]

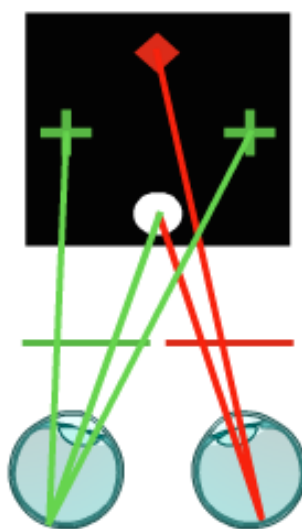
6.1 Anaglyfní testy

Představují především červeno-zelené testy, které jsou založeny na aditivním míchání barev, ale nikoliv na chromatické aberaci oka. Separace obrazu pomocí červených a zelených filtrů a komplementárních testových značek. Výsledkem separace je analýza funkce a možnosti ovlivnění monokulární funkce za binokulárních podmínek. [28]

6.1.1 Worthův test

Sestává z černého podkladu a čtyř znaků, které jsou uspořádány do kosočtverce. Dva znaky jsou umístěny horizontálně a jsou jimi 2 zelené kříže, ve vertikále se nachází další 2 znaky, nahoře červené káro (kosočtverec) a dole bílé kolečko viz. obrázek 7. Znaky mohou být nahrazeny i body – 2 zelené body v horizontále, 1 červený bod ve vertikále nahoře a 1 bílý bod ve vertikále dole.

Obvykle se dává červený filtr před pravé oko a zelený filtr před levé oko. Po zakrytí levého oka by následně měl vyšetřovaný vidět červené káro a červený bod ve vertikále. Po zakrytí pravého oka by měl vidět 2 zelené kříže v horizontále a zelený bod dole ve vertikále.



Obrázek 7: Worthův test

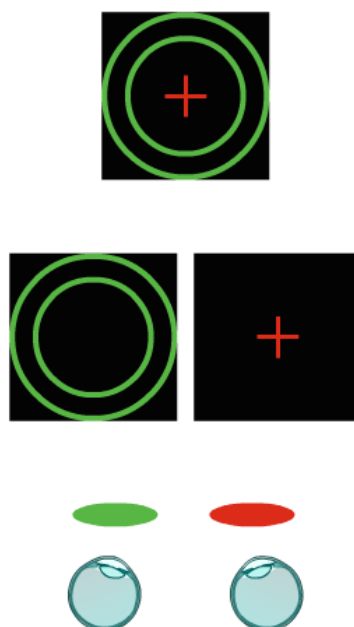
Standardně by měl vyšetřovaný vidět 4 znaky tak, aby horizontální znaky s vertikálními tvořili kříž. Pokud vidí vyšetřovaný 3 zelená světla, je zde útlum pravého oka, pokud vidí 2 červená světla, utlumuje se obraz z levého oka. Pět nezkřížených světél značí nezkříženou diplopii při esotropii, 5 zkřížených světél značí zkříženou diplopii při exotropii. Když vyšetřovaný vidí 5 světél a červené je výše, značí to hypotropii pravého oka, pokud vidí 5 světél, ale výše je zelené světlo, značí to hypertropii pravého oka.

Na blízko se tomuto testu říká Hardyho test, kdy 4 světelné body vyšetřovaný sleduje v přístroji se světelnými optotypy na čtení. [12, 28]

6.1.2 Schoberův test

Na černém podkladě se nachází červený kříž a kolem něho dvě zelené kružnice. Představují se opět červeno-zelené filtry. Po zakrytí levého oka vyšetřovaný vidí přes červený filtr kříž a po zakrytí pravého oka vidí dvě zelené kružnice jako na obrázku 8.

Sleduje se pohyb kříže oproti kružnicím. Vzdálenost od konce kříže k vnitřní kružnici je 1 cm/m (1 pD) a vzdálenost mezi kružnicemi je stejná, také 1 pD. Při vyšetření do blízka se používá stejnozvaný Schoberův test do blízka. [10, 28]



Obrázek 8: Schoberův test

6.2 Polarizační testy

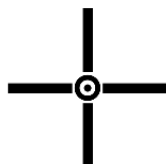
Tyto testy se řadí mezi novější testy využívající se k disociaci binokulárního vjemu. Obvykle je u nich vyražena fúze, některé testy ovšem obsahují i fúzní podnět. Po správném vykorigování by měla být uvolněná i akomodace.

Metoda využívá skutečnosti, kdy lineárně polarizované světlo vychází z polarizačního testu pod určitým úhlem. Když pozorovaný znak i příslušný polarizační filtr mají stejnou úhlovou orientaci, je daný znak viditelný. U LCD optotypů je běžná pozitivní i negativní polarizace a u projekčních optotypů především negativní polarizace, kdy pozitivní polarizace je černý znak na bílém pozadí a negativní polarizace je bílý znak na černém pozadí. U nejnovějších LCD optotypů se využívá i cirkulární polarizace. Její podstatou jsou analyzátory, které mění lineárně polarizované světlo na kruhově polarizované. Výhodou u kruhové polarizace je nezávislost pohledové osy pacienta na rovině projektoru.

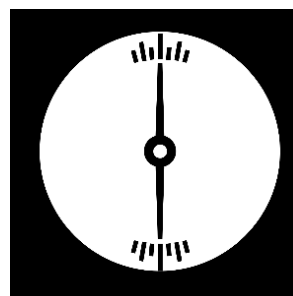
Určitou nevýhodou u polarizátorů je snížená propustnost pro světlo, každý polarizační filtr propouští pouze 50 % světla. Při těchto testech je binokulární vidění ale nejméně zatěžované, zvláště při pozitivní polarizaci, proto jsou výsledky pokládány za relativně spolehlivé. Polarizačními filtry lze testovat fixační disparitu, cykloforii, stereopsi, aniseikonii atd. Testování s těmito filtry lze provádět do dálky i do blízka. [19, 28]

6.2.1 Křížový test

Test diagnostiky okohybných odchylek. Testování kompenzované a dekompenzované heteroforie. Pokud je využit test bez centrálního fúzního podnětu, testuje se disociovaná heteroforie. V případě přítomnosti fúzního podnětu se testuje asociovaná heteroforie. Do blízka se používá křížový test do blízka.



Obrázek 9: Křížový test



Obrázek 10:
Ručičkový test

Křížový test je prvním testem ze sady MKH testů pro vyšetření heteroforií, následují ho ručičkové testy, hákové testy, stereotesty a mnoho dalších testů podle toho, co nabízí daný optotyp. Ručičkový horizontální a vertikální test určují vyšší stupně skrytého šilhání, dvojručičkový test se využívá pro odlišení cykloforií od zkreslení vlivem astigmatismu. Vertikálním hákovým testem se také zjišťují vyšší stupně heteroforií, lze ho ale použít jako aniseikonický test. Horizontální hákový test se využívá pro vyšetření rozdílně velikých obrazů pravého a levého oka. Stereotest a stereovalenční test slouží k vyšetření prostorového vnímání a pro jemnou korekci skrytého šilhání. Dalšími testy mohou být diferencovaný pětiřadý test stereopse nebo Random-dot stereotest. [10, 28, 29]

6.2.2 Malletův test

Malletův test se využívá při posuzování asociované heteroforie. Značky O X O tvoří centrální fúzní podnět. To zajišťuje přítomnost poměrně dobré centrální a periferní fixace.

Zjišťuje fixační disparitu, ale její stupně nelze tímto testem určit. Při vyšetření do blízka se využívá stejný Malletův test. [28]



Obrázek 11: Malletův test

6.3 Testy s mechanickou separací obrazu – Turvilleho test

Test se skládá ze zrcadlově převrácených znaků *L* a *F*, které byly uspořádány ve dvou svislých sloupcích. Dále z dělicího zrcadla, které vše zobrazuje do stejných rozměrů a svislé přepážky o šířce 3 cm. Znaky na pravé straně vyšetřovaný vidí pravým okem a znaky na levé straně levým okem, opačně přes přepážku znaky vidět nejsou.

V praxi se tento test neseťkal s velkým úspěchem kvůli tomu, že zabíral příliš místa na zdi nad vyšetřovaným a mnoho očních specialistů preferovalo více projekční optotyp, kde se dají snadněji měnit testy.

Při vyšetřování bylo výhodnější použít foropter, aby se při sebemenším pohybu na vyšetřovacím křesle nenarušoval správný pohledový směr na test. [28]

6.4 Ostatní testy

K vyšetření binokulární refrakční rovnováhy obou očí se využívají i jiné separátory jako např. v Maddoxově testu, u Bagoliniho skel a ve Von Graefeho technice. Tato vyšetření jsou ale zastaralejší a méně používanější pro stanovení přesné korekce. [19]

6.4.1 Von Graefe

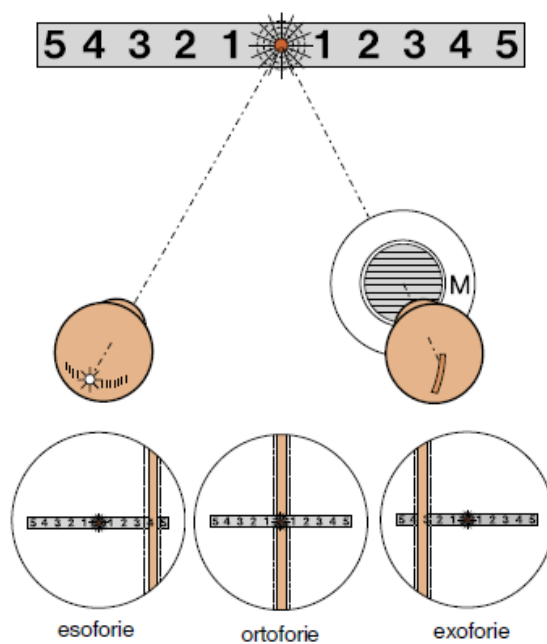
Von Graefe využívá jednoduché metody disociace při zrušení fúzních podnětů za pomoci prizmatické čočky. Test lze použít do dálky i do blízka pro analýzu forie, ale také k jemnému sférickému dokorigování.

Obvykle se před pravé oko předkládá 12 pD bází dovnitř pro vertikální forii a 6 pD bází nahoru nebo dolů pro horizontální forii. Na optotypu na dálku se zvolí Howellův test nebo vhodně velký řádek či sloupek s písmeny a vyšetřovaný posuzuje posunutí těchto řádků a sloupců, popřípadě změnu velikosti písmen mezi rozdvojenými řádky. Při vyšetření na blízko se používá Howellův test do blízka. [10, 28]

6.4.2 Maddoxův test

Při vyšetření se před jedno oko předsazuje Maddoxův cylindr, který je většinou červený, vyrobený z rubínového skla. Vyšetřovaný se dívá na Maddoxův kříž a jedním okem pozoruje světelný bod uprostřed. Druhým okem vyšetřovaný pozoruje odchylku. Pokud je cylindr vložen rýhováním horizontálně, je vnímána vertikální linie a pozorujeme vertikální úchylku. Když je cylindr umístěn rýhováním vertikálně, vyšetřovaný vnímá horizontální linii a sledujeme horizontální úchylku.

Při ortoforii prochází linie středem kříže a světelného bodu viz. obrázek 12, kdy je Maddoxův cylindr vložen před pravé oko. Pokud se světelná linie posune mimo střed, vyrovnáváme ji předsazováním prizmat. Pro vyšetření do blízka se využívá Maddox do blízka nebo Thoringtonův test. [10, 28]



Obrázek 12: Maddoxův test

6.4.3 Bagoliniho skla

Bagoliniho skla spadají pod nejjednodušší vyšetření binokulárního vidění, mají nejmenší disociaci a vyšetřovaný přes ně vidí celkem nezkresleně. Jsou to plochá skla, která jsou rýhována pro pravé oko v ose 135 stupňů a pro levé oko v ose 45 stupňů. Vyšetřovaný přes tato skla pozoruje bodový zdroj světla a tento zdroj je zkreslen v čáru přes obě skla a podle popisu od vyšetřovaného se snažíme určit úchylku. Měření je stejné na dálku i do blízka. [10, 12]

7. Vyšetření stereopse

Stereoskopické vidění je měřeno v úhlových vteřinách, kdy jsou vnímány obrazy na každém oku zvlášť a následně je jejich spojením vnímán 3D obraz. Testy mohou být kvalitativní nebo kvantitativní a jsou založeny na různých optických a dalších principech. Testování se provádí na dálku i na blízko.

Výsledky testů jsou zapisovány různě. Stereopse se může zapisovat jako prokázaná, částečně prokázaná nebo neprokázaná, nebo se může zapisovat jako jemné, hrubé nebo neprokázané prostorové vidění, popřípadě v úhlových vteřinách či úhlových minutách.

Stereotesty jsou používány především u dětí, jako screeningové testy pro zjištění amblyopií a vad binokulárního vidění. Také jsou používány pro monitorování průběhu léčby amblyopie.

Mezi nejčastější používané metody vyšetření stereopse patří vyšetření na synoptoforu (troposkopu), doteková zkouška, Titmusův test, Langův test, TNO stereotest, Random Dot stereotest a Frisbyho stereotest. Mnoho dalších stereotestů u nás není ani využíváno, jako Schnell stereotest, Stereo-Schüben test, Deka test, Bestův test atd.

Stereotesty ve své konstrukci využívají princip Juleszových stereogramů, jež jsou složené z počítačem generovaných rozptýlených bodů, které jsou monokulárně vnímány jako pole chaoticky a náhodně rozptýlených bodů. Teprve při použití polarizovaných filtrů vznikne binokulární vidění na trojrozměrné úrovni – vyniknou pravidelné obrazce. Tyto testy jsou rychlé a přenosné, a řadí se mezi ně Pola test, Wirtův test, Titmusův test a Randot stereotest. [9, 18, 24, 30]

7.1 Langův test dvou tužek

Langův test 2 tužek je kvalitativní test, kdy se vyšetřovaný musí trefit hrotem své tužky na hrot tužky vyšetřujícího, který ji drží svisle před vyšetřovaným. Nejdříve se vyšetřuje monokulárně a následně binokulárně. Tento test je velmi snadný, ale odhaluje jen velmi hrubé nedostatky a není to přesný screeningový test. [18]

7.2 Synoptofor

Synoptofor se nejčastěji využívá v ortoptických ordinacích pro vyšetření jednoduchého binokulárního vidění a pro zjištění prostorového vidění do dálky. Ramena synoptoforu jsou

nastavena do objektivního úhlu pacienta a následně jsou zasunuty obrázky. Pro jednotlivé stupně binokulárního vidění se používají různé obrázky.

Pro superpozici se používají obrázky dvou rozdílných motivů, které po překrytí dávají určitý smysl, např. pták v kleci nebo voják ve strážní budce. Pacient udává, zda-li je vidí současně. Pro fúzi mají obrázky stejnou konturu a velikost, ale liší se v detailech. Používají se obrázky o třech zorných úhlech, 1° pro foveolu, 3° pro makulu a od 10° výše pro periferii. Pacient uvádí, zda vidí úplný obrázek. Šíře fúze udává, do jakého úhlu pacient udrží spojení obrázků jako jeden vjem ve směru konvergence i divergence, jejich rozdíl potom určuje rozsah amplitudy fúze. Stereopsi měří v rozmezí 90 a 270 úhlových vteřin. [24, 30]

7.3 Titmusův test

Titmusův stereotest je kvantitativní dvourozměrný test založený na lineární polarizaci. Jsou to dva vektografické obrázky, které jsou naskládány na sebe v ose 90 stupňů. Stereotest se skládá ze tří sekcí – obrázek mouchy, devět boxů se čtyřmi kruhy a tři řady obrázků, kde v každé řadě je pět obrázků zvířat. Rozsah prostorového vidění lze měřit mezi 3 000 až 40 úhlovými vteřinami, kde moucha odpovídá 3 000 úhlových vteřin, zvířata 400 až 100 úhlovým vteřinám a kruhy jsou v rozmezí 800 až 40 úhlových vteřin. Vyšetřující sleduje test ve čtecí vzdálenosti s polarizačními brýlemi.



Obrázek 13: Titmusův test

U Titmusova testu má pacient za úkol chytit mouchu za křídla, dále rozeznat jaké zvíře vystupuje blíže k němu a posledním testem jsou boxy s vystupujícími kruhy. Test s kruhy se využívá k jemnějšímu vyšetření a moucha slouží k hrubému zjištění. [18, 30]

7.4 TNO stereotest

TNO test patří také mezi kvantitativní testy a je tvořen nepravidelnými body. Používá se u lidí s ortoforií a pacientů s malou úchylkou šilhání, měří rozsah stereopse mezi 480 a 15 úhlovými vteřinami.

Bývá nejčastěji ve formě knihy, ve které se na každé straně nachází jeden obrázkový test. Například motýl, který je vidět monokulárně a motýl, který je vidět jen za dobré spolupráce obou očí, stereoskopicky. Test využívá anaglyfní separace obrazu, a je při něm zapotřebí červeno-zelených brýlí. Knihu drží klient ve čtecí vzdálenosti a je tázán, kolik vidí motýlů.

Pomocí tohoto testu lze zjistit i dominanci oka nebo supresi, nelze ho ale aplikovat u klientů, kteří mají problémy s poruchou barvocitu. [31]

7.5 Random Dot stereotest

Random test se využívá pro zjištění stereopse v rozsahu od 900 do 50 úhlových vteřin a je to opět druh kvantitativního testu. Obrázky na testu jsou vytvořeny stereogramy z teček tak, aby byly vidět jen přes polarizační brýle. Využívá větší horizontální disparity pro zvětšení prostorového vnímání obrázku.

Skládá se ze tří karet. První karta slouží pro vysvětlení, co bude po klientovu žádáno a obrázek na ní vidí i klient bez stereopse. Další dvě karty už slouží k vyšetření. Vyšetřovací vzdálenost se pohybuje v rozmezí 25 centimetrů až 5 metrů.



Obrázek 14: Random Dot test

Na jedné ze zbylých dvou karet je znak „E“ a na druhé jsou jen tečky. Klientovi jsou ukazovány střídavě karty, dokud nevidí znak „E“, začíná se ve vzdálenosti 50 centimetrů a postupuje se po 0,5 metru až do 5 metrů. Vyšetřující se ptá, zda-li se znak ke klientovi

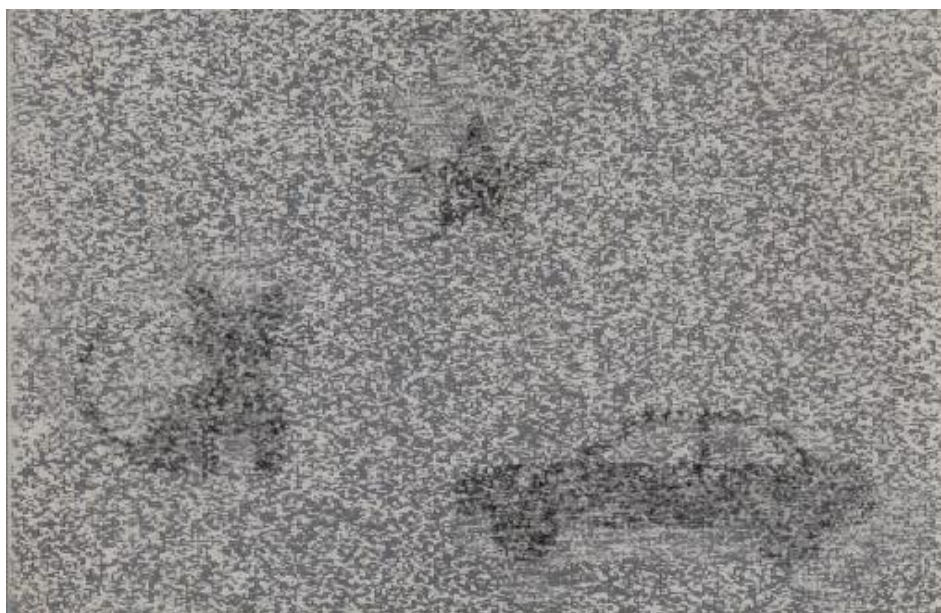
přibližuje nebo se od něho oddaluje. Výsledek může být ovlivněn zrakovou ostroť v důsledku měnících se vyšetřovacích vzdáleností. [31]

7.6 Langův test

Nejčastěji využívaný kvantitativní test u malých dětí. Test je založen na principu náhodného uspořádání bodů a na principu cylindrického uspořádání, při kterém jsou vjemy rozděleny zvlášť pro pravé a levé oko.

Existuje ve dvojitě provedení, Lang I. a Lang II., oba testy mají tvar pohlednice a na obou je tvar hvězdy, který vidí všichni. Test Lang I. měří rozsah stereopse od 1 200 do 550 úhlových vteřin a je na něm vyobrazena hvězda, auto a kočka. Lang II. umožňuje měřit stereopsi v rozsahu 600 až 200 úhlových vteřin a nachází se na něm hvězda, měsíc, auto a slon.

Vyšetřovaný sleduje kartu ve vzdálenosti 40 centimetrů a vyšetřující ho požádá jak o ukázání obrázců na kartě a jejich pojmenování, tak o popsání toho, který z obrázců vystupuje blíže a který je dále. [31]



Obrázek 15: Test Lang I.

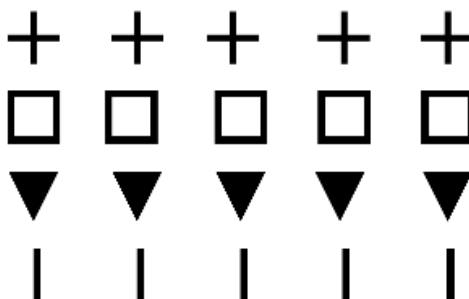
Experimentální část

V experimentální části se věnuji používaným přístrojům a samotnému vyšetření stereopse, zaznamenání dat a grafickému vyhodnocení výsledků. V příloze se nachází protokol o vyšetření, který byl použit jako záznamový arch pro jednotlivá vyšetření.

8. Přístroje a vybavení

Vyšetření bylo prováděno na akademické půdě ČVUT na Fakultě biomedicínského inženýrství náměstí Sítná, v Kladně. K vyšetření byl použit vždy autorefraktometr AKR 400 od firmy Essilor pro objektivní refrakci, brýlová obruba s brýlovou skříní a lineárně polarizované filtry. K změření dosavadní korekce byl využit fokometr Visionix Wavelens Pro a pro zjištění subjektivní refrakce a stereopse do dálky byl využit optotyp CS pola 600 od firmy Essilor. Posledním přístrojem pro zjištění stereopse do blízka byla vyšetřovací jednotka do blízka Bino-nahprüfgerät od firmy Oculus.

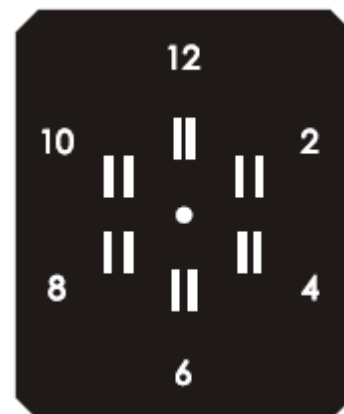
Na optotypu CS pola 600 se využívaly testy se Snellenovými znaky a dot testem pro astigmatismus, ke zjištění subjektivní refrakce. Na vertikálním hákovém testu byla prokázána funkce polarizačních filtrů a diferencovaný stereotest sloužil k zjištění a rozlišení daného stupně stereopse. Tento stereotest využívá pozitivní polarizace a skládá se ze čtyř řad s pěti znaky v každé řadě. Všechny znaky vystupují ven z optotypu směrem ke klientovi, ale vždy jeden z pěti znaků v řadě vystupuje jinak. V první řadě vystupuje druhý křížek zleva, pokud vyšetřovaný toto vidí, má stereopsi o čtyřech úhlových minutách. Ve druhé řadě vystupuje čtvrtý čtverec o dvou úhlových minutách, ve třetí řadě třetí trojúhelník o jedné úhlové minutě a v poslední řadě je to čtvrtá čárka o čtyřiceti úhlových vteřinách. Z pohledu



Obrázek 16: Stereotest optotypu CS pola 600

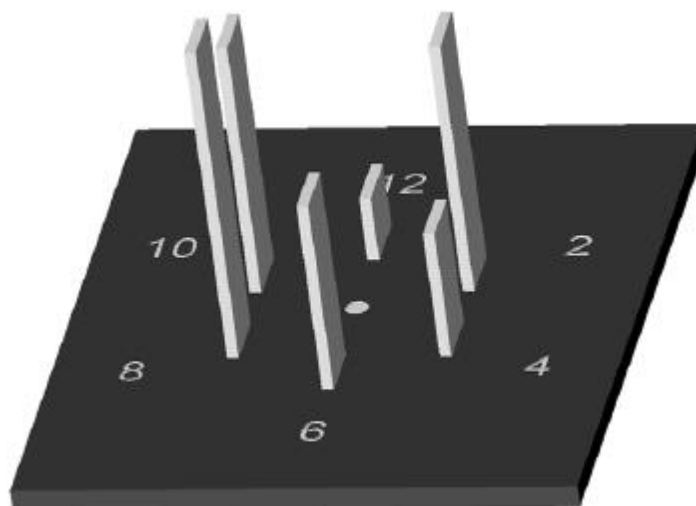
vyšetřovaného.

Na vyšetřovací jednotce do blízka od Oculusu byl využit pouze stereotest. Test využívá negativní polarizace a je složený z nepolarizované tečky uprostřed a šesti polarizovaných dvojčar, které jsou rozestavěny do kruhu kolem centrální tečky. Z každého páru čar, je monokulárně vždy jedna čára vidět pro jedno oko a druhá pro oko druhé. Binokulárně by měli tvořit jednu čáru dohromady a měli by vystupovat do prostoru směrem k vyšetřovanému. Vyšetřovací jednotku si vyšetřovaný vezme do rukou a drží ji ve čtecí vzdálenosti 40 centimetrů. Čárky jsou číselně označeny jako na hodinovém ciferníku pro lepší orientaci vyšetřujícího viz. obrázek 17.



Obrázek 17: Stereotest do blízka

Vyšetření stereopse do blízka lze provádět na přístroji Oculus dvěma způsoby. Prvním způsobem lze porovnávat hloubkový vjem čárek oproti středové tečce pro získání dat o prokazatelné, kvalitativní, stereopsi. Tabulka 1 ukazuje stereoskopický vjem pro jednotlivé pozice znaků a na obrázku 18 jsou tyto znaky znázorněny ve 3D. Pro zjištění jemné stereopse, kvantitativní, lze porovnávat čárky mezi sebou. Jednotlivé posuny podle porovnání znaků jsou v úhlových minutách uvedeny v tabulce 2.



Obrázek 18: 3D projekce vystouplosti značek oproti tečce a sobě navzájem

Tabulka 1: Jednotlivé pozice znaků se stereoskopickým vjemem

Pozice znaku	Stereoskopický vjem v minutách
znak 2	12´
znak 4	9´
znak 6	10´
znak 8	12,5´
znak 10	12´
znak 12	8´

Tabulka 2: Rozdělení výsledků stereotestu na úhlové minutu dle porovnání znaků

Stereoskopický vjem v minutách	Porovnané znaky dle označení hodin
0´	10 a 12
0,5´	8 a 10
1´	6 a 4
2´	6 a 12
3´	2 (10) a 4
4´	2 (10) a 12
8´	12 a tečka

9. Postup

Veškerá vyšetření byla prováděna na akademické půdě ČVUT na Fakultě biomedicínského inženýrství náměstí Sítná, v Kladně. Vyšetření stereopse bylo provedeno u 40 lidí, i s objektivním a subjektivním vyšetřením refrakce, a byli použity přístroje již zmiňované v 8. kapitole. Hodnoty byly zpracovány do vyšetřovacího protokolu, který je k nalezení v kapitole 11. Přílohy.

Všichni vyšetřovaní byli vyšetřováni ve stejné místnosti, školní optika (místnost B-16), za stejných podmínek. Světlo bylo zajištěno stropními svítidly, okna jsou polepena difúzní fólií a jsou orientována v nejbližší zdi vpravo od vyšetřovaného. Vyšetřovací vzdálenost na dálku byla 6 metrů a vyšetřovací vzdálenost byla na 40 centimetrů.

Nejprve byla změřena objektivní refrakce pomocí autorefraktometru AKR 400 a pokud vyšetřovaný přišel se svou korekcí, byla změřena na fokometru Visionix Wavelens Pro. Následně byla zjištěna základní anamnéza, především zjišťování, zda nemá vyšetřovaný nějaké binokulární potíže. Vyšetřovanému byla poté nandána zkušební brýlová obruba s brýlovými čočkami stejné hodnoty jako používaná korekce a polarizačními filtry. Pokud vyšetřovaný korekci nenosí, dostal jen zkušební brýlovou obrubu s polarizačními filtry. První byla změřena stereopse do dálky na LCD optotypu CS pola 600 a poté stereopse do blízka na vyšetřovací jednotce do blízka Bino-nahprüfgerät. Následovalo vyndání polarizačních filtrů a subjektivní vyšetření refrakce na Snellenově optotypu a dot testu pro astigmatismus. Refrakce byla vyšetřována monokulárně s binokulárním vyvážením pomocí Humphrissovy metody. Po vykorigování přišlo na řadu opět vyšetření stereopse s polarizačními filtry, do dálky a následně do blízka.

Před vyšetřením stereopse byly nandány polarizační předsádky a přibližně od pátého měřeného člověka byla zavedena kontrola na polarizovaném hákovém testu pro správnost postavení polarizačních filtrů v předsádce. Polarizátory byli vždy nastaveny pro „V“ polarizaci.

Vyšetřovaný byl u stereotestu do dálky na LCD optotypu tázán, zda vidí čtyři řádky, ve kterých vystupují všechny znaky, a vždy jeden z těchto znaků zapadá více do optotypu, dozadu. Musel určit polohu v každém řádku právě těchto odlišně vystupujících znaků, dokud byl schopen rozeznat rozdíl. Vyšetřovací jednotku do blízka si vyšetřovaný držel ve čtecí vzdálenosti, ve 40 centimetrech, a první otázkou bylo, zda vidí vystupovat šest čárek do prostoru oproti středové tečce, a jestli vystupují různě nebo všechny stejně. Pokud viděl čárky

vystupovat různě, byl vyzván k vyjmenování čísel od čárky, která se mu zdá být nejbližší k němu až po čárku, která se mu jeví nejbližší k tečce, popř. nejdále z jeho pohledu.

Všechny hodnoty byli zaznamenány do vyšetřovacího protokolu. V tabulce 3 v kapitole 11. Přílohy je k nalezení výpis hodnot stereopse zaznamenaných z celého vyšetření, plus hrubě zapsaná výsledná refrakce. Hodnoty stereopse byly zapsány dvakrát, kvantitativně a kvalitativně. Kvalitativně na prokázanou a neprokázanou stereopsi, kvantitativně v úhlových minutách a úhlových sekundách.

Celé vyšetření klienta všemi testy zabralo v průměru od 20 do 30 minut. Délka vyšetření závisela především na subjektivní refrakci a také na důkladném popsání a pochopení stereotestu do blízka. Kdy vyšetřovaný byl tázán na rozpoznání jednotlivých rozdílů mezi vystupujícími znaky.

10. Výsledky

Stereopse byla měřena dvakrát, nejprve před refrakcí a následně po refrakci s nejlépe navrženou korekcí. Pokud vyšetřovaný přišel s vlastní korekcí, stereopse měřená před refrakcí byla zjišťována s vlastní korekcí. Rozdíl mezi stereopsí před refrakcí a po refrakci vyšel nulový, proto hodnoty pro stereopsi nebyly více nerozlišovány a byly rozdělené jen na stereopsi do dálky a do blízka.

Během vyšetření musela být zavedena kontrola polarizačních filtrů. U všech vyšetřovaných byla použita „V“ polarizace. U jednoho z vyšetřovaných se stalo, že polarizační filtr byl obrácen v předsádce, proto následně byla zavedena kontrola polarizačních filtrů na polarizačním hákovém testu a až po této kontrole byla měřena stereopse.

U třech vyšetřovaných byla zjištěna špatná binokulární spolupráce, jeden klient měl amblyopii levého oka a občasnou diplopii (vyšetřovaný číslo 29 podle tabulky 3), druhý měl vysokou, nekorigovanou prizmatickou hodnotu (vyšetřovaný číslo 17 podle tabulky 3) a třetí měl alternující binokulární vidění (vyšetřovaný číslo 30 podle tabulky 3). Všichni tito vyšetřovaní předpokládali, že stereopsi nemají. Dva z nich ale stereopsi mají, nebo alespoň převážně. Vyšetřovaný číslo 17 má stereopsi do dálky o dvou úhlových minutách a do blízka o jedné úhlové minutě, vyšetřovaný číslo 29 má stereopsi do dálky neprokázanou, ale do blízka už ano, o 2 úhlových minutách po chvilkovém rozkukání. Vyšetřovaný číslo 30 má stereopsi do obou vzdáleností neprokázanou.

Ze čtyřiceti naměřených lidí byla u 92 % naměřena prokázaná stereopse do dálky a u 95 % naměřena prokázaná stereopse do blízka viz. grafy na obrázcích 19 a 20. Drobný rozdíl mezi stereopsí do dálky a do blízka je vidět už jen ze základního rozpisu pro kvalitativní stereopsi, na prokázanou a neprokázanou stereopsi.

Na obrázku 21 se nachází graf četnosti stereopse do dálky od

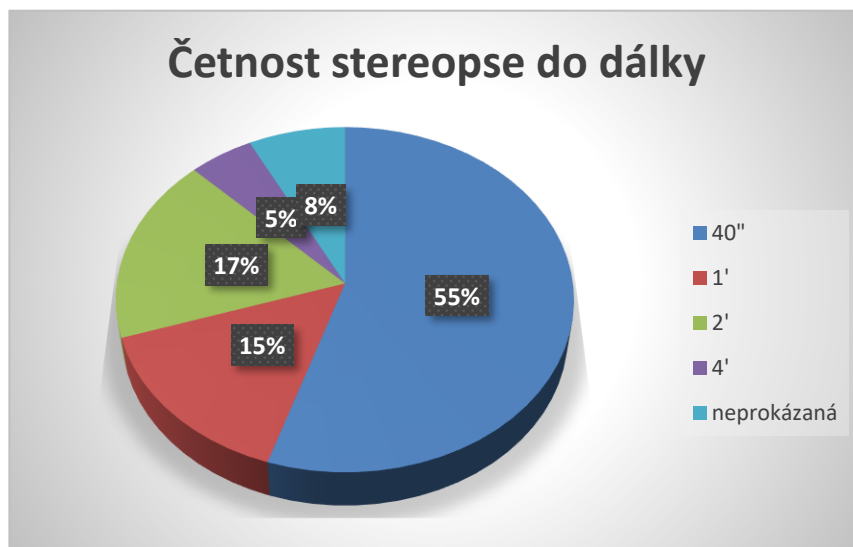


Obrázek 19: Procentuální rozložení stereopse do dálky

čtyřiceti úhlových sekund až po čtyři úhlové minuty a ukazuje, že 70 % měřených má stereopsi nejméně o 1 úhlové minutě. Taktéž na obrázku 22, kde je k dispozici graf četnosti

stereopse do blízka, zde ale rozdíl o jedné úhlové minutě na stereotestu vidělo 77 %. Nejmenější stereopsi do dálky, o 40", mělo 55 % měřených lidí, u stereopse do blízka šlo o 0,5' neboli 30" a tento rozdíl vidělo 40 % lidí.

Obrázek 20:
Procentuální rozložení
stereopse do blízka

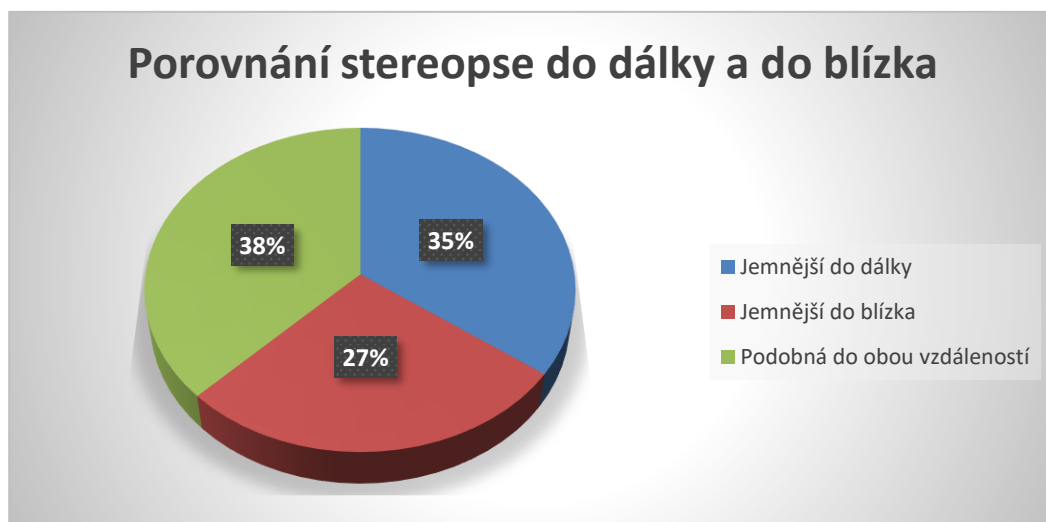


Obrázek 21:
Četnost stereopse
do dálky

Obrázek 22:
Četnost stereopse
do blízka

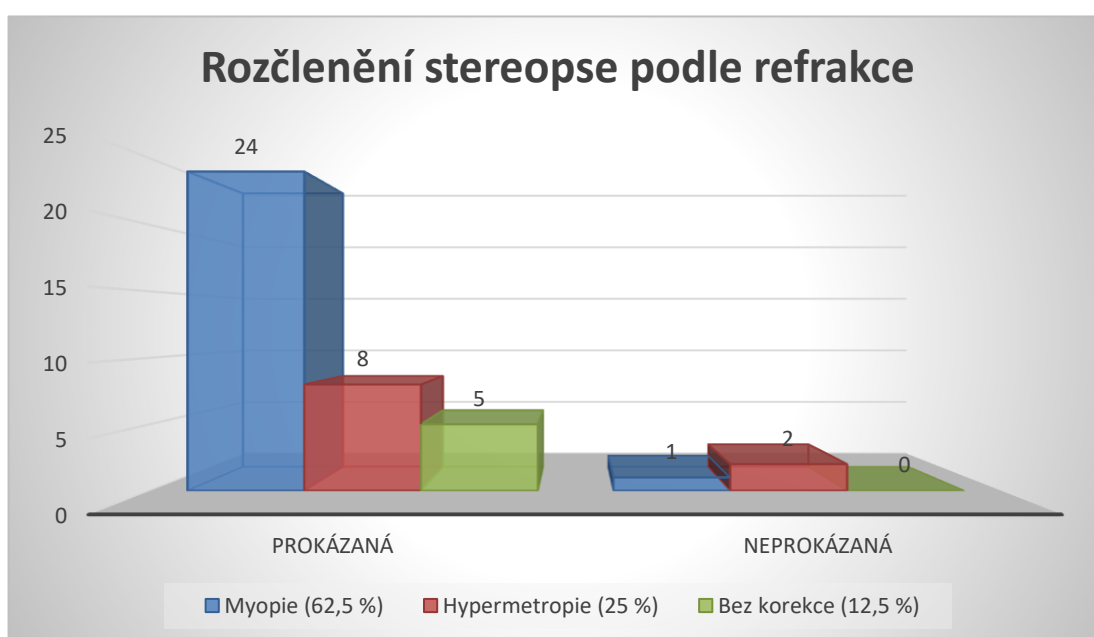


Při porovnání rozdílu mezi stereopsí do dálky a do blízka došlo ke stejnému výsledku nebo alespoň podobnému, jde-li o porovnání výsledků 40“ do dálky a 30“ do blízka, u 38 % měřených lidí. Jemnější stereopsí do dálky, z porovnání stereopse do dálky a do blízka u každého měřeného zvlášť, má 35 % vyšetřovaných a jemnější stereopsi do blízka má 27 % vyšetřovaných, viz graf na obrázku 23.



Obrázek 23: Porovnání měření stereopse do dálky a do blízka

Graf na obrázku 24 se věnuje rozčlenění stereopse i podle naměřené refrakce. Z vyšetřovaných lidí bylo 62,5 % myopů, 25 % hypermetropů a 12,5 % s planární korekcí. Prokázaná stereopse byla zjištěna nejčastěji u myopů a neprokázaná stereopse nejčastěji u hypermetropů. Graf vznikl z poměru stereopse do dálky a refrakce, z poměru stereopse do blízka a refrakce by v části neprokázané stereopse bylo 0 myopů a v prokázané 25 myopů.



Obrázek 24: Stereopse podle naměřené refrakce

11. Přílohy

Protokol o vyšetření

Příjmení a jméno:	Rok narození:
Mail:	Tel.:
Optometrista:	Datum:

Anamnéza

Oční anamnéza:	Celková anamnéza:
Rodinná anamnéza:	Léky:
Řidič:	PC:
Nat. visus – dálka	
OP:	OL: BINO:

Dosavadní korekce

	sph	cyl	ax	vis _{mon}	vis _{bin}	add	vzd.	vis
OP								
OL								

Objektivní refrakce - PD:

OP	sph	cyl	ax
OL	sph	cyl	ax

Subjektivní refrakce

	sph	cyl	ax	vis _{mon}	vis _{bin}	add	vzd.	vis
OP								
OL								

Stereopse

Před refrakcí

DÁLKA: prokázaná / neprokázaná

BLÍZKO:

Po refrakci

DÁLKA: prokázaná / neprokázaná

BLÍZKO:

Pozn.:

Tabulka 3: Naměřené hodnoty stereopse

Vyšetřovaný	Refrakce	Stereopse do dálky	Stereopse do blízka
1	plan	40"	1'
2	myop	40"	1'
3	plan	1'	0,5'
4	myop	1'	2'
5	myop	40"	2'
6	hypermetrop	2'	4'
7	myop	2'	1'
8	hypermetrop	40"	0,5'
9	myop	4'	0,5'
10	hypermetrop	X	X
11	myop	40"	1'
12	myop	40"	0,5'
13	hypermetrop	40"	0,5'
14	myop	40"	1'
15	plan	40"	1'
16	myop	2'	0,5'
17	myop	2'	1'
18	myop	40"	0,5'
19	hypermetrop	40"	0,5'
20	myop	40"	0,5'
21	myop	40"	2'
22	myop	1'	1'
23	myop	4'	3'
24	hypermetrop	40"	1'
25	myop	2'	0,5'
26	hypermetrop	1'	2'
27	myop	40"	0,5'
28	plan	40"	0,5'
29	myop	X	2'
30	hypermetrop	X	X

Vyšetřovaný	Refrakce	Stereopse do dálky	Stereopse do blízka
31	myop	1'	1'
32	myop	40"	1'
33	hypermetrop	40"	0,5'
34	plan	1'	0,5'
35	myop	2'	1'
36	myop	40"	0,5'
37	myop	40"	1'
38	myop	40"	0,5'
39	myop	40"	1'
40	hypermetrop	2'	1'

Závěr

V teoretické části jsem zpracovala rešerše a sepsala jsem anatomii zrakové dráhy, věnovala se binokulárnímu vidění a samotné stereopsi, plus poruchám binokulárního vidění. Poslední částí teoretické práce jsou různé testy na binokulární vidění a v samostatné kapitole jsem se věnovala vyšetření a testům na stereopsi.

V experimentální části jsem vyšetřovala 40 lidí a zjistila jsem, že stereopse není stejná na dálku jako na blízko. Ve 35 % byla stereopse jemnější do dálky a ve 27 % je jemnější do blízka. Zbýlých 38 % vyšetřovaných má stereopsi stejnou nebo přibližně stejnou jak do dálky, tak do blízka.

Výzkum potvrdil hypotézu z článku Vyšetřovací metody prostorového vidění v časopise Česká oční optika, že stereopse do dálky nemusí být stejná jako stereopse do blízka. Potvrdilo se to nejen u hrubého zapsání stereopse na prokázanou a neprokázanou, ale především při rozepsání stereopse na jednotlivé úhlové minuty a vteřiny.

Při porovnání stereopse v závislosti na refrakci jsem dospěla k výsledku, že nejčastěji prokázaná stereopse je u myopů a nejčastěji neprokázaná stereopse u hypermetropů. Tento výsledek nelze hodnotit jako průkazný, protože právě myopů bylo měřeno nejvíce (62,5 %), hypermetropů bylo 25 % z vyšetřovaných a 12,5 % bylo lidí s planární korekcí, u kterých byla stereopse prokázána.

Porovnání naměřené stereopse před refrakcí a po refrakci vedlo k nulovému výsledku. Měření byli převážně mladí lidé, kteří většinou svojí korekci nosí nebo ji nepotřebují, tudíž výsledky vycházejí stejně před refrakcí i po refrakci.

Vyšetření stereopse mi přijde jednoduché a myslím, že každý optometrista by mohl mít alespoň nějaký stereotest u sebe a zjišťovat přítomnost stereopse spolu s refrakcí. Pro vyšetřovaného je to nejen jednoduché k popsání, ale i zábavné tím, že znaky vystupují.

Překvapil mě výsledek u klientů, kteří přišli s tím, že mají narušené binokulární vidění. I sami vyšetřovaní předpokládali, že nemají žádnou stereopsi, ale výsledek byl u 2 ze 3 jiný. Znáám 2 osoby, které mají amblyopii jednoho z očí a chodí do kina na 3D filmy, ale i tak pro mě byl výsledek překvapivý. Překvapením pro mě bylo i zjištění, že stereopse do dálky a do blízka není vždy stejná a to především v takto vysokých procentech.

Seznam použité literatury

- [1] Memorix anatomie; R. Hudák, D. Kachlík a kolektiv; 2013; ISBN 9788073876746
- [2] Zraková dráha; Wikiskripta; [online]; www.wikiskripta.eu; poslední změna: 10.1.2016
- [3] Nauka o zraku; R. Aufrata, J. Černá; 2006; ISBN 80-7013-362-7
- [4] Zrak a zraková dráha; Masarykova Univerzita; [online]; 24.5.2010; www.is.muni.cz
- [5] Stavba a funkce lidského mozku; RNDr. V. Lungová Ph.D.; E-learningová podpora mezioborové integrace výuky tématu vědomí na UP Olomouc; [online], 23.11.2012; <http://pfyziolffup.upol.cz/castwiki/>
- [6] Zrak; online kurz Úvod do centrální nervové soustavy; [online]; 4.12.2014; www.cnsonline.cz
- [7] Dráha zraková; Anatomický ústav 3. lékařské fakulty; [online]; <http://anatomie.lf3.cuni.cz/>
- [8] Optic chiasm; Wikipedia; [online]; www.wikipedia.org; poslední změna: 8.1.2017
- [9] Stereopsis; Vision & Eye Health; www.vision-and-eye-health.com
- [10] studijní materiály od Bc. P. Kučery a studijní materiály od Mgr. B. Zobanové
- [11] Binocular Vision, University of Iowa Health Care; Rahul Bhole; 31.1.2006; www.eyerounds.org
- [12] Šilhání; L. Hromádková; 2011; ISBN: 80-7013-102-0
- [13] Oční lékařství; P. Kuchyňka; 2007; ISBN: 9788024750798
- [14] Binokulární vidění; Wikipedie; [online]; <https://cs.wikipedia.org>; poslední změna: 7.12.2016
- [15] Borish's Clinical Refraction, 2nd ed.; W. J. Benjamin; 2006; ISBN: 9780750675246
- [16] 3D Vision; Optometrists Network; www.vision3d.com
- [17] Perceiving in Depth. Volume 3; I. P. Howard, B. J. Rogers; 2012; ISBN: 9780199764167
- [18] Clinical tests for binocular vision; J. Lee, A. McIntyre; [online]; 1996; str. 282-285; DOI: 10.1038/eye.1996.59
- [19] Lexikon očního lékařství; E. Vlková, Š. Pitrová, F. Vlk; 2008; ISBN: 9788023989069
- [20] The geometric horopter; Vision Research; P. A. Howarth; [online]; 23.2.2011; str. 397-399; DOI:10.1016/j.visres.2010.12.018

-
- [21] On binocular vision: The geometric horopter and Cyclopean eye; J. Turski; [online]; únor 2016; str. 73-81; DOI:10.1016/j.visres.2015.11.001
- [22] Prostorové vidění; Encyklopedie fyziky; [online]; 15.7.2011; <http://fyzika.jreichl.com/>
- [23] Heteroforie a fixační disparita; F. Pluháček; Katedra PřF UP v Olomouci; [online]; 17.9.2009
- [24] Oční lékařství; P. Rozsival a spol.; 2006; ISBN: 8072624040
- [25] Možnosti korekce refrakčních vad u dětí; O. Vláčil, M. Karhanová, J. Šimičák; Pediatrie pro praxi; [online]; 2012; dostupné z: www.pediatriepropraxi.cz/pdfs/ped/2012/04/03.pdf; ISSN: 1803-5264
- [26] Refrakční vady; Wikiskripta; [online]; www.wikiskripta.eu; naposledy upraveno: 10.11.2016
- [27] studijní materiály od prof. Nováka
- [28] Binokulární korekce; Základy metod korekce refrakčních vad; [online]; LF Masarykovy univerzity; P. Beneš; <https://is.muni.cz/>
- [29] Vyšetření zraku; P. Kříž; Středisko optometrie; [online]; dostupné z: www.vsetreni-zraku.cz
- [30] Vyšetřovací metody prostorového vidění, 1. část; časopis Česká oční optika; A. Jeřábková, M. Běhulová; [online]; 6.5.2013; <http://www.4oci.cz/>
- [31] Vyšetřovací metody prostorového vidění, 2. část; časopis Česká oční optika, A. Jeřábková; [online]; 17.7.2013; <http://www.4oci.cz/>

Seznam obrázků

- [1] Zraková dráha; Wikiskripta; www.wikiskripta.eu
- [2] Týlní lalok; E-learningová podpora mezioborové integrace výuky tématu vědomí na UP Olomouc; <http://pfyziollfup.upol.cz/castwiki/>
- [3] Spojení obrazů a vytvoření jednoho prostorového; Optometrists Network; www.vision3d.com
- [4] Horopter a Panumův prostor; ResearchGate; www.researchgate.net
- [5] Rozdělení tropií; Romedic; www.romedic.ro
- [6] Axiální refrakční vady a jejich korekce; Biologie člověka; www.skolajecna.cz
- [7] Worthův test; Základy metod korekce refrakčních vad; <https://is.muni.cz/>
- [8] Schoberův test; Základy metod korekce refrakčních vad; <https://is.muni.cz/>
- [9] Křížový test; IPRO Pascal 3D; www.pascal3d.com
- [10] Ručičkový test; IPRO Pascal 3D; www.pascal3d.com
- [11] Malletův test; Základy metod korekce refrakčních vad; <https://is.muni.cz/>
- [12] Maddoxův test; DOCPLAYER; www.docplayer.cz
- [13] Titmusův test; AKT-POL; www.aktpol.pl
- [14] Random Dot test; Good-Lite Company; www.good-lite.com
- [15] Test Lang I.; Lang-stereotest; www.eyeglass24.de
- [16] Stereotest opotypu CS pola 600; IPRO Pascal 3D; www.pascal3D.com
- [17] Stereotest do blízka; Bino-Near Vision Tester; Instruction Manual
- [18] 3D projekce vystouplosti značek oproti tečce a sobě navzájem; Bino-Near Vision Tester; Instruction Manual