



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Anizeikonie - její měření a korekce

Measurement and correction of aniseikonia

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor práce: Barbora Kluková

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Pavel Fišer

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: **Barbora Kluková**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Anizeikonie - její měření a korekce**
Téma anglicky: Measurement and correction of aniseikonia

Zásady pro vypracování:

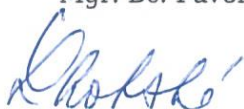
Studentka na základě studia literatury zpracuje rešerši na dané téma. Představí anizeikonii, její příčiny, třídění, způsoby měření a korekci anizeikonie. Pojednává na téma zvětšení brýlových čoček a uvede způsob výpočtu anizeikonické čočky. Pro měření velikosti anizeikonie použije metody na blízko. V praktické části porovná měření anizeikonie simulované izeikonickými čočkami. Použije haploskopickou a polarizační metodu a metodu Maddoxova cylindru se dvěma světly.

Seznam odborné literatury:

- [1] JALIE, M., The principles of ophthalmic lenses, ed. 4, London: Association of Dispensing Opticians, 1984, ISBN 978-090-0099-205
[2] SCHWARTZ, S., Geometrical and Visual Optics, ed. 2, New York: McGraw-Hill Medical, 2013, ISBN 987-0-07-179083-3
[3] DE WIT, G.C., Retinally-induced aniseikonia, Binocular vision & strabismus quarterly, ročník 22, 2007, 96-101 s.

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Mgr. Bc. Pavel Fišer



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce: Anizeikonie - její měření a korekce

Abstrakt:

V bakalářské práci je popsána problematika anizeikonie, princip jejího měření a způsoby její korekce.

Úvod práce je věnován definici anizeikonie, jejím příznakům a formám. Další část práce je zaměřena na diagnostiku tohoto onemocnění. Jsou zde uvedeny metody na testování přítomnosti anizeikonie a principy diagnostických přístrojů. V následující kapitole je vysvětleno zvětšení brýlového skla a odvození výpočtu zvětšení anizeikonických čoček. Závěrečná kapitola je věnována metodám její korekce. V praktické části jsou porovnány hodnoty anizeikonie naměřené pomocí tří metod.

Klíčová slova:

Anizeikonie, Aniseikonia Inspector, eikonometr, zvětšení brýlového skla, anizeikonické čočky

Bachelor's Thesis title: Measurement and correction of aniseikonia

Abstract:

This work deals with aniseikonia; the principles of measurement and methods of correction.

Our introduction is devoted to the definition of aniseikonia, along with its symptoms and forms. In the first chapter we focus on the diagnosis of this disease. This section contains methods of testing aniseikonia and the principles of diagnostic equipment. Our second chapter explains spectacle magnification and inference of magnification relating to iseikonic lenses. The final chapter is devoted to the correction of aniseikonia. The practical part compares the values of aniseikonia measured by three methods.

Key words:

Aniseikonia, Aniseikonia Inspector, eikonometer, spectacle magnification, iseikonic lenses

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Mgr. Bc. Pavlu Fišerovi za všechny cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vypracování této práce. Dále bych mu ráda poděkovala za poskytnutí potřebné literatury a za vstřícnost při konzultacích.

Prohlášení

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

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

V dne

.....

podpis

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 1 |
| 1 Anizeikonie..... | 2 |
| 1.1 Etymologie slova anizeikonie | 2 |
| 1.2 Příznaky anizeikonie | 2 |
| 1.3 Formy anizeikonie..... | 3 |
| 1.3.1 Statická a dynamická anizeikonie..... | 3 |
| 1.3.2 Fyziologická a nefyziologická anizeikonie..... | 4 |
| 1.3.3 Symetrická a asymetrická anizeikonie..... | 4 |
| 1.3.4 Anatomická anizeikonie | 6 |
| 1.3.5 Brýlová anizeikonie | 7 |
| 2 Diagnostika anizeikonie..... | 8 |
| 2.1 Testy na vyšetření anizeikonie | 8 |
| 2.1.1 Brecherův test | 8 |
| 2.1.2 Turvillův test..... | 9 |
| 2.1.3 Hákový test | 9 |
| 2.2 Moderní metody na zjištění přítomnosti anizeikonie..... | 10 |
| 2.2.1 New Aniseikonia Test..... | 10 |
| 2.2.2 Aniseikonia Inspector | 10 |
| 2.3 Eikonometry | 15 |
| 2.3.1 Brecherův anaglyfní eikonometr | 15 |
| 2.3.2 Maddoxův eikonometr..... | 15 |
| 2.3.3 Ames-Glidonův standartní eikonometr..... | 16 |
| 2.3.4 Bleskový eikonometr | 16 |
| 2.3.5 Ogle-Amesův space-eikonometr..... | 17 |
| 3 Zvětšení brýlového skla | 18 |
| 3.1 Relativní brýlové zvětšení (RSM)..... | 23 |
| 3.1.1 Brýlové zvětšení u axiální ametropie..... | 24 |
| 3.1.2 Brýlové zvětšení u refrakční ametropie | 25 |
| 4 Korekce anizeikonie | 26 |
| 4.1 Anizeikonické čočky..... | 26 |
| 4.2 Anizodistanční brýle | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3 | Kontaktní čočky | 28 |
| 4.4 | Refrakční chirurgie..... | 29 |
| 5 | Praktická část | 30 |
| 5.1 | Úvod praktické části..... | 30 |
| 5.2 | Metodika | 30 |
| 5.2.1 | Měření osoby..... | 30 |
| 5.2.2 | Pomůcky a postup měření..... | 31 |
| 5.2.3 | Metoda statistické analýzy..... | 32 |
| 5.3 | Hypotézy | 32 |
| 5.3.1 | Nulové hypotézy | 32 |
| 5.3.2 | Alternativní hypotézy | 32 |
| 5.4 | Výsledky | 33 |
| 5.4.1 | Výsledky měření anizeikonie bez předložené čočky..... | 33 |
| 5.4.2 | Výsledky měření anizeikonie simulované anizeikonickými čočkami..... | 34 |
| 5.4.3 | Statistická analýza nulových hypotéz..... | 37 |
| 5.4.4 | Statistická analýza alternativních hypotéz..... | 40 |
| 5.5 | Diskuze..... | 43 |
| | Závěr | 45 |
| | Seznam použité literatury | 46 |
| | Seznam symbolů a zkratk | 48 |
| | Seznam obrázků a grafů..... | 49 |
| | Seznam tabulek | 50 |
| | Seznam příloh | 51 |

Úvod

Anizeikonie je binokulární stav, kdy jsou obrazy pravého a levého oka vnímány s různou velikostí. Mozek získává informace ze dvou optických kanálů. Aby byl schopen je spojit v jeden jednoduchý binokulární vjem, je nutno, aby si retinální obrazy byly co nejvíce podobné. Pro zajištění kvalitního binokulárního vidění je třeba binokulární potíže vyvolané anizeikonií řešit a korigovat.

Úvod teoretické části je věnován příznakům a formám anizeikonie. Následuje kapitola o diagnostice, v níž se popisují jednotlivé metody pro zjištění přítomnosti a velikosti anizeikonie. Velká pozornost je věnována metodám, které jsou přímo použity pro měření experimentální části. Jedná se o Brecherův test, hákový test a Aniseikonia Inspector. Dále je rozebráno zvětšení brýlového skla a závěrečná část práce pojednává o možnostech korekce anizeikonie.

Experimentální část se zabývá porovnáním tří metod, které stanovují velikost anizeikonie. Což je také cílem této bakalářské práce. Pro měření je zvolena haploskopická metoda, Brecherův test a polarizační metoda. Jelikož pacientů s anizeikonií je malé množství, je potřeba anizeikonii simulovat uměle. Pro navození rozdílné velikosti sítnicových obrazů jsou použity anizeikonické čočky se zvětšením 3x, 8x a 10x. Všechny naměřené hodnoty jsou dále statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

1 Anizeikonie

Je definována jako stav binokulárního vidění, při němž se vnímaný obraz zobrazuje na sítnici každého oka s jinou velikostí nebo tvarem. Rozdíl, který způsobuje symptomy - cca 0,75 % se nazývá *klinicky významná anizeikonie*. Menší rozdíly ve velikosti sítnicových obrazů jsou poměrně běžné a nejsou obvykle klinicky významné. Optický obraz závisí na velikosti sítnicového obrazu, který je tvořen optickými systémy oka. Dále na rozdělení retinálních receptivních prvků, fyziologických a kortikálních procesech, jež jsou zapojeny do vidění. V důsledku toho jsou optické obrazy obou očí jen málokdy stejné. [1,2]

Za velikost očního obrazu se považuje ta, kterou vnímá samotný pozorovatel. Naproti tomu velikost sítnicového obrazu je geometrická velikost obrazu na sítnici, která nezahrnuje vnímání samotného pacienta. Rozhodující je tedy rozdílnost očních a ne retinálních obrazů. [3]

Opakem anizeikonie je stav, kdy jsou obrazy promítané na sítnici obou očí zcela totožné. V takovém případě se jedná o izeikonii, která je jednou z podmínek zajišťující jednoduché binokulární vidění. [2,4]

1.1 Etymologie slova anizeikonie

Termín anizeikonie v přesném překladu znamená *nerovný obraz* a je odvozen z řeckého slova. [5]

"AN" = "NE"

"IS (O)" = "ROVNÝ"

"EIKŌN" = "OBRAZ"

1.2 Příznaky anizeikonie

Převládajícími symptomy jsou astenopie, bolesti hlavy, fotofobie a potíže při čtení. Stejně problémy se mohou objevit u pacientů s nekorigovanou heterotropií a ametropií. Z toho důvodu nejsou tyto příznaky zcela rozhodující a je potřeba pečlivě zvážit další způsob léčby a vyšetření potíží předtím, než předepíšeme anizeikonickou korekci pro eliminaci anizeikonie. Funkční binokulární vidění vyžaduje fúzi obrazů vytvořených na retinách obou očí. Ta je jedním ze tří vývojových stupňů binokulárního vidění. Jedná se o centrální

schopnost spojit obrazy pravého a levého oka v jeden smyslový vjem. Potíže nastávají, pokud se retinální obrazy liší ve velikosti o 4-5 %. U pacienta proto dochází k velmi obtížnému spojení obrazů, provázené častými astenopickými obtížemi [1,6,7,8,9]

Nejčastější příznaky anizeikonie vyjádřených v procentech: [1]

| | |
|---------------------------|-----|
| <i>Astenopie</i> | 67% |
| <i>Bolesti hlavy</i> | 67% |
| <i>Fotofobie</i> | 27% |
| <i>Potíže při čtení</i> | 23% |
| <i>Nevolnost</i> | 15% |
| <i>Zhoršená motilita</i> | 11% |
| <i>Nervozita</i> | 11% |
| <i>Závrať</i> | 7% |
| <i>Celková únava</i> | 7% |
| <i>Zkreslení prostoru</i> | 6% |

K zahájení vyšetření je důležité určit pacientův hlavní symptom společně s jeho frekvencí a dobou trvání. Ty, které přetrvávají a jsou bezúspěšně léčeny, zvyšují pravděpodobnost přítomnosti anizeikonie. [1]

Nejčastější příznaky jsou ty, které přímo souvisí s používáním očí: řezání, bolest, svědění a únava očí. Souhrnně je označujeme jako astenopie. Mohou také zahrnovat subjektivní postřehy pacienta: rozmazané nebo dvojitě vidění, nebo dokonce naklonění a zešikmení rovného povrchu. Příznaky, které nesouvisí s používáním očí, jsou závrať, bolesti hlavy. [1]

1.3 Formy anizeikonie

1.3.1 Statická a dynamická anizeikonie

Anizeikonii můžeme rozdělit na dva typy: *statická* a *dynamická*. Jedná se o rozdílné problémy, které spolu zároveň souvisejí. Míru statické anizeikonie stanovuje skutečný rozdíl ve velikosti obrazů mezi očima při fixovaném směru pohledu. Ve většině případů se tento typ vyskytuje u pacientů s emetropií nebo ametropií. [1,10]

Velikost dynamické anizeikonie se stanoví analýzou rozdílů v navozené forii. Ta vzniká při pohledu do různých směrů skrze anizometrickou korekci. Aby došlo ke střetnutí pohledových os v jednom bodě prostoru, musí se oči stáčet každé v jiném rozsahu. Nejčastěji se tento typ objevuje u pacientů s korekčními brýlemi korigující vysokou myopickou anizometrii, kvůli rozdílu v síle korekčních čoček. Preferovaný způsob zmenšení dynamické anizeikonie je pomocí korekce kontaktními čočkami. [1,11]

Tyto dva typy anizeikonie se vyskytují většinou samostatně. V malém množství případů se mohou objevit obě najednou. [1]

1.3.2 Fyziologická a nefyziologická anizeikonie

Při pohledu na předměty ležící v různých vzdálenostech od očí jsou rozdíly ve velikosti obrazu nesymptomatické a jsou považovány za zcela běžné. Tyto velikostní obrazové rozdíly tvoří základ stereopse, která je jedním ze stupňů binokulárního vidění. [1,2]

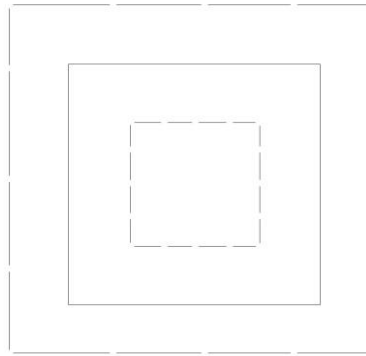
Na temporální straně hlavy je větší koncentrace tyčinek a čípků. Pokud je podrážděno stejné množství světločivných elementů vnímáme předměty jako velikostně stejné. Pokud pozorujeme předmět, který leží stranou je obraz na sítnici u oka, které je blíže předmětu větší. [4]

Tento typ anizeikonie lze demonstrovat i na jednoduchém pokusu s tužkou. Princip spočívá v tom, že před levým okem u spánkové strany držíme tužku tak, aby na ni vidělo i pravé oko. Když pozorujeme tužku pravým okem a přitom máme levé oko zavřené, jeví se obraz jako menší, než když se na tužku díváme naopak - s levým okem otevřeným a pravým zavřeným. Z toho vyplývá, že pro oko, které je blíže pozorovanému předmětu, se jeví obraz předmětu větší, a naopak v oku, které je dál od pozorovaného předmětu se obraz předmětu jeví menší.

Nefyziologická anizeikonie je symptomatická a pacientům způsobuje problémy při binokulárním vidění. Je způsobena například patologickými stavy oka nebo anizometrií.

1.3.3 Symetrická a asymetrická anizeikonie

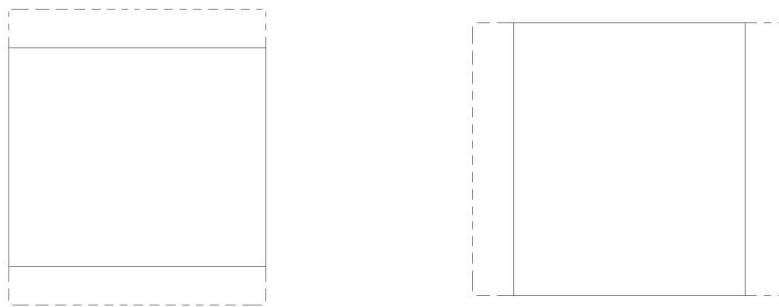
Zkreslení obrazu na sítnici může být buď *symetrické* nebo *asymetrické*. Pokud je zvětšení ve všech meridiánech stejné, jedná se o *celkovou symetrickou anizeikonii*. [12]



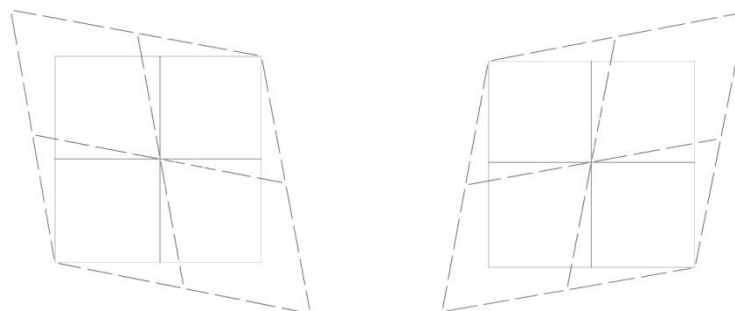
Obrázek 1: Celková symetrická anizeikonie [12]

Formou symetrické anizeikonie je i *meridionální anizeikonie*. Kdy dochází k symetrickému zvětšení/zmenšení v jednom směru. Podle meridiánu, ve kterém dochází ke změně sítnicových obrazů, rozdělujeme anizeikonii na: [12]

- *anizeikonie horizontální* - sítnicové obrazy se liší ve vodorovné rovině
- *anizeikonie vertikální* - sítnicové obrazy se liší ve svislé rovině
- *anizeikonie šikmá* - sítnicové obrazy se liší v šikmém směru [4]

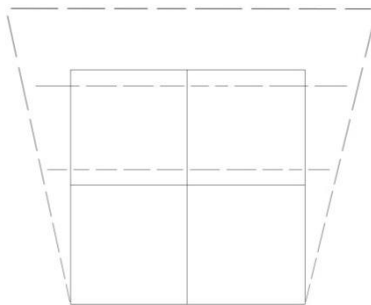


Obrázek 2: Meridionální anizeikonie - horizontální a vertikální [12]

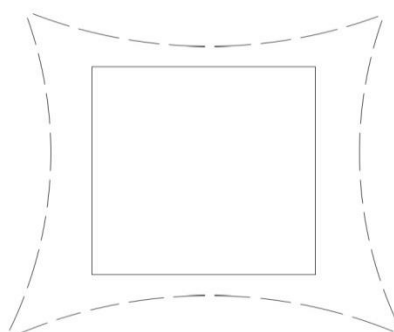


Obrázek 3: Meridionální anizeikonie - šikmá [12]

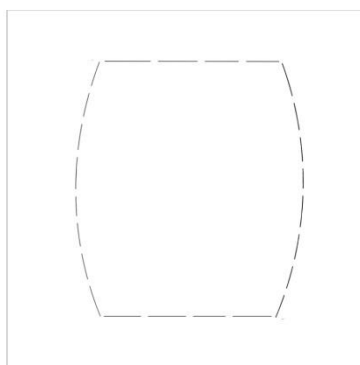
Při *asymetrické anizeikonii* je zvětšení/zmenšení v jednom směru. Většinou je způsobená plochým prizmatem. Zkreslení obrazu je buď *polštářovité*, nebo *sudovité*. [12]



Obrázek 4: Asymetrická anizeikonie [12]



Obrázek 5: Polštářovité zkreslení [12]



Obrázek 6: Sudovité zkreslení [12]

1.3.4 Anatomická anizeikonie

Tento typ anizeikonie je důsledkem rozdílu v optickém systému nebo v axiální délce očí. Také se může jednat o anomálii v uspořádání neuronů u obou očí. Odlišnosti mohou být přítomné již při narození. Mohou se objevit v útlém věku nebo pozvolna během života. V mnoha případech se optický systém může těmto odlišnostem přizpůsobit, buď tolerancí těchto rozdílů nebo může jedno oko zcela potlačit. [13]

1.3.5 Brýlová anizeikonie

Anizeikonie je nejčastěji spojená s anizometrií. Anizometropie je rozdíl mezi refrakčním stavem obou očí. To znamená rozdílnou dioptrickou hodnotu na pravém a levém oku. Způsoby jakými se mohou oči stát anizotropickými a způsoby korekce ametropie mají vliv na velikost sítnicového obrazu. [3,13,14]

Přítomnost anizeikonických problémů lze do jisté míry předpokládat z přítomnosti anizometropie zejména v případě, kdy je rozdíl v brýlovém zvětšení větší než 5 %. Obvykle, 1D anizometropie vyvolává 1 % až 1,5 % anizeikonii. Anizometropie s hodnotou rozdílu 1,25D může způsobit klinicky významnou anizeikonii. [13]

2 Diagnostika anizeikonie

Rozhodnout, zda pacient trpí nebo netrpí anizeikonií, není obecně složité. Důležité je pečlivě posoudit anamnézu a provést některé základní klinické binokulární testy. Tyto kroky by nám měli poskytnout dostatečné množství informací, abychom mohli stanovit předběžnou diagnózu u téměř všech pacientů, kteří mají podezření na anizeikonii. V potaz bereme nejen symptomy, ale také jeho refrakční stav a zakřivení rohovky. [1]

Nejvíce charakteristickým příznakem, podle kterého můžeme předpokládat přítomnost anizeikonie, je porucha prostorového vnímání. Například při pohledu přes brýlovou korekci se podlaha a další horizontální předměty jeví nakloněné. Definitivní diagnózu anizeikonie však stanovíme, pokud změříme velikost sítnicového obrazu přístrojem, například pomocí eikonometru. [13]

2.1 Testy na vyšetření anizeikonie

2.1.1 Brecherův test

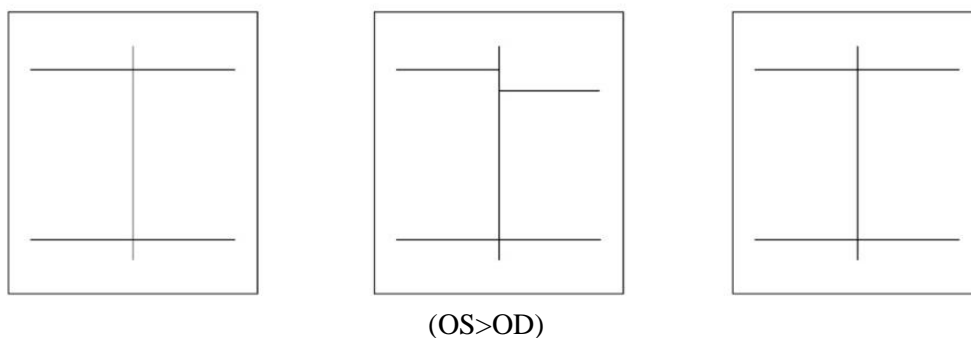
Tato metoda nese název po Dr. Brecherovi, který ji v roce 1951 popsal. Teoreticky je tento test velmi jednoduchý. K vyšetření potřebujeme Maddoxův cylindr, dva bodové zdroje světla a sadu anizeikonických čoček. [1,15]

1. Máme horizontálně 20 cm od sebe upevněny dva světelné body, přibližně ve vzdálenosti 60 cm od pacienta. Před jedno oko předsadíme Maddoxův cylindr v ose 180° , přes který pacient pozoruje zdroje světla. Jedno oko vidí dva světelné zdroje a druhé s předsazeným cylindrem vidí dvě svislé čáry.
2. Vyzveme pacienta, aby určil umístění světelných čar vzhledem ke světelným zdrojům.
3. Pokud se vzdálenosti mezi světelnými čarami a body světla u očí liší, pak je potvrzena přítomnost anizeikonie.
4. Ke změření anizeikonie používáme anizeikonické čočky. Ty předkládáme před oko, před kterým není umístěný Maddoxův cylindr. Jejich sílu měníme, dokud se nevyrovná rozdíl vzdálenosti mezi světlem a světelným pruhem.
5. Ke stanovení přítomnosti a měření vertikální anizeikonie umístíme zdroje světla vertikálně opět s rozstupem 20 cm. Maddoxův cylindr předkládáme v ose 90° .
6. Míru anizeikonie zaznamenáme pomocí anizeikonické čočky, se kterou je vzdálenost mezi zdrojem světla a světelnými pruhy stejná. [1,15]

2.1.2 Turvillův test

Tento test slouží ke zjištění přítomnosti a velikosti vertikální anizeikonie. Principem disociace je vertikální septum, které odděluje dvě souběžné horizontální linky. [1]

1. Pomocí septa se pacientovi disociuje vjem a každé oko vidí jinou část horizontálních linií. Pravé oko vnímá pravou část a levé oko levou.
2. Pacient porovnává vertikální rozdíl těchto dvou linek na pravé a levé straně. Rozdíl v těchto vzdálenostech určuje přítomnost vertikální anizeikonie.
3. Pomocí anizeikonických čoček zjistíme její velikost. Čočku předkládáme před to oko, u kterého se podle pacienta jeví linky blíže k sobě. Navyšujeme hodnotu čoček do okamžiku, dokud se linky z pravé i levé části nespojí v jednu. [1]



Obrázek 7: Turvillův test [1]

2.1.3 Hákový test

Tento test byl původně navržen pro diagnostiku anizeikonie. Nyní se v praxi spíše používá pro vyšetřování heteroforie. Princip testu je založen na disociaci očí. Ta je zajištěna pomocí polarizace. Na bílém pozadí pozorovatel vidí dva černé háky orientované naproti sebe. Ve středu se nachází nepolarizovaný bod, který slouží jako fúzní podnět. S polarizací vidí každé oko jeden hák a centrální bod vidí obě oči. Pomocí testu lze ověřit rozdíly velikosti obrazů zobrazených na sítnici. [16,17]

Hákový vertikální test

Slouží pro zjištění a měření vertikální anizeikonie. Háky jsou orientovány horizontálně naproti sebe. Pacient se svojí brýlovou korekcí do dálky pozoruje centrální bod na vyšetřovací vzdálenost 6 m. Úkolem je porovnání pozice a velikost háků vůči sobě. Rozdíl na sítnici ve velikosti obrazů do šířky háků považujeme jako nevýznamný. Pacient dokáže tyto rozdíly pomocí fúze eliminovat. Pokud se postavení háků liší více než o jejich šířku,

používáme na jejich vyrovnání anizeikonické čočky. Míru anizeikonie určuje anizeikonická čočka, se kterou je pacient vidí háky stejně velké a v paralelním postavení. [16,17]

Hákový horizontální test

Využívá se pro měření horizontální anizeikonie. Háky jsou naproti sebe ve vertikálním postavení. Principem testu je porovnávání pozice a velikosti vertikálních háků vůči sobě. [16,17]

2.2 Moderní metody na zjištění přítomnosti anizeikonie

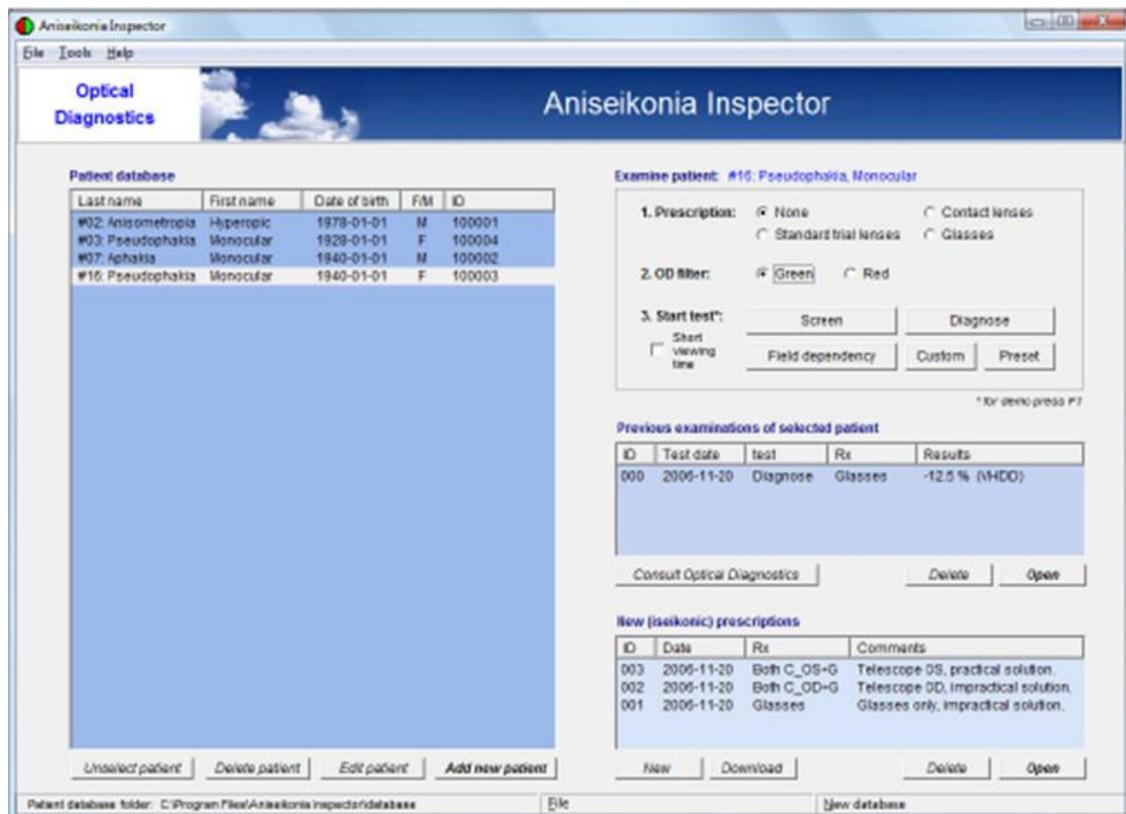
2.2.1 New Aniseikonia Test

Vyšetření anizeikonie pomocí tohoto testu spadá do kategorie přímého srovnávání. [15]

1. Pacient má před svojí příslušnou brýlovou korekcí nasazený červeno-zelený filtr.
 2. Disociace pomocí filtrů zajistí, že každé oko vidí jeden půlkruh; pravé oko červený a levé zelený.
 3. Na začátku testu se nachází dvojice stejně velkých půlkruhů a pokračuje sérií půlkruhů, které představují 25% rozdíl ve velikosti.
 4. Úkolem pacienta je srovnání těchto půlkruhů.
 5. Test je ve formě bookletu. Jeho natočením pak můžeme změřit nejen horizontální, ale i vertikální anizeikonii.
 6. Míru anizeikonie udávají půlkruhy, které se pacientovi jeví jako velikostně identické.
- [1,15]

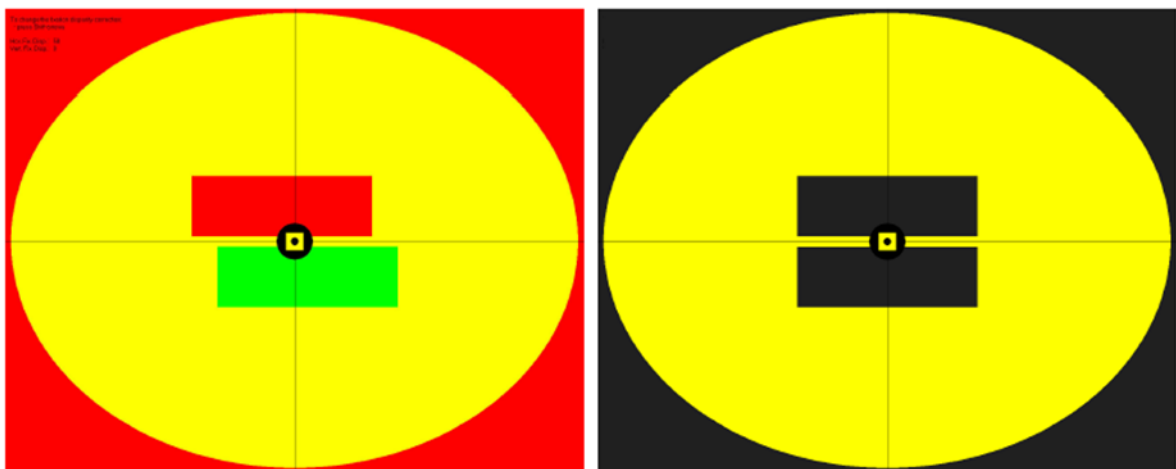
2.2.2 Aniseikonia Inspector

Jedná se o metodu přímého srovnávání. Principem testování je navození haploskopického stavu. To znamená, že každé oko vidí svůj vlastní obraz. Haploskopický stav je vytvořený pomocí červeno-zeleného filtru, který pacientovi předkládáme před oči a pomocí velikostních obdélníků na obrazovce. Každé měření se skládá z 12 až 14 snímků, na kterých pacient porovnává velikost zobrazených obdélníků. Úkolem je určit, který z obdélníků se mu jeví větší. [18]



Obrázek 8: Hlavní nabídka softwaru AI [18]

Měření zahajuje test na fixační disparitu. Její přítomnost má za následek obtížnější srovnávání velikosti obdélníků a tudíž i nepřesné měření. Na obrazovce počítače se zobrazí dva stejně velké obdélníky umístěné nad sebou. Pokud se jeví pacientovi horizontálně posunuty, lze je pomocí šipek vpravo a vlevo na klávesnici nastavit do koincidenčního postavení. [18]



Obrázek 9: Přítomnost fixační disparity. Pohled přes červeno-zelený filtr [18]

Před samotným testováním anizeikonie provádíme dva druhy kalibrace. Velikostní kalibraci provádíme pomocí pravítka, kterým změříme horizontální šířku žlutého obdélníku, jež se zobrazuje na obrazovce počítače. Naměřenou hodnotu zadáváme v cm do systému. Software na základě zadané hodnoty vypočítá vzdálenost mezi očima pacienta a obrazovkou počítače. Ta musí být zachována po celou dobu testování. Barevnou kalibraci provádíme, abychom zajistili haploskopický stav. Před zahájením testu zapisujeme do systému také refrakční hodnotu pacientovi korekce. [18]

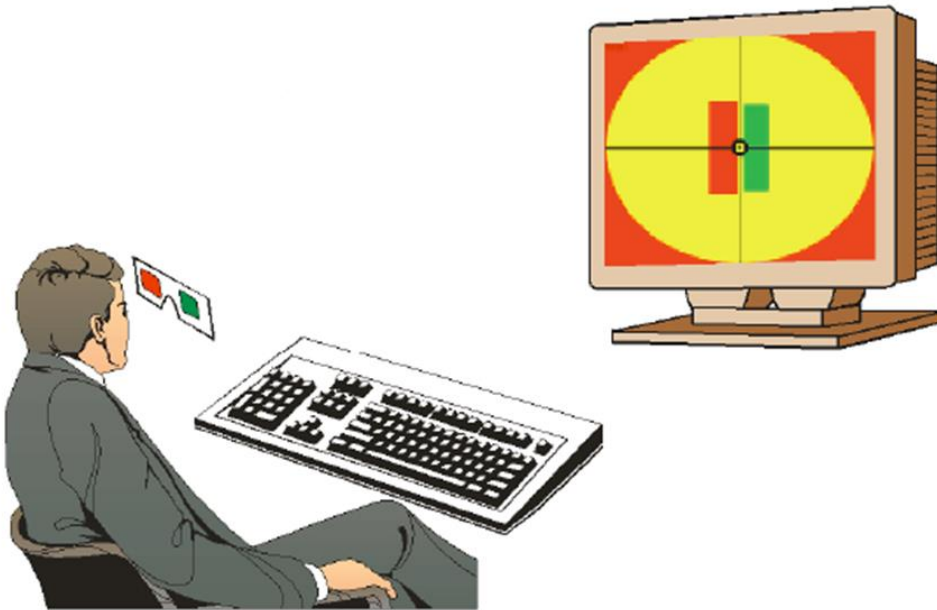
V dalším kroku předsadíme pacientovi před oči červeno-zelený filtr. Dále vybereme testovací postup, podle kterého budeme anizeikonii měřit. Metoda vyšetřování, která je závislá na zorném poli pacienta je vhodná pro testování anatomické anizeikonie. [18]

Anizeikonii můžeme testovat ve 4 směrech: horizontálním, vertikálním a dvou diagonálních. [18]

Nastavení testu

Test provádíme následovně:

1. Pacientovi nasadíme červeno-zelené brýle, pomocí kterých mu navodíme haploskopický stav.
2. Abychom dosáhli co nejpřesnějších výsledků, provádíme testování v místnosti s tlumeným osvětlením.
3. Pacient s vyrovnaným postavením hlavy sleduje obrazovku počítače.
4. Požadovaná vzdálenost mezi obrazovkou počítače a očima pacienta je přibližně 40 cm.
5. Pacient fixuje centrální fixační značku na obrazovce počítače.
6. Pomocí šipek pacient vybírá obdélník, který se mu na promítaném snímku jeví větší (porovnává se velikost celého obdélníku, ne jen velikost stran).
7. Pokud se pacientovi jeví obdélníky stejně velké, zmáčkne na klávesnici písmeno E (z angl. *equal* tzn. *stejný*).
8. V případě, že se pacientovi pomocí fúze spojí oba obdélníky v jeden, je možnost je pomocí šipek od sebe odtáhnout. [18]

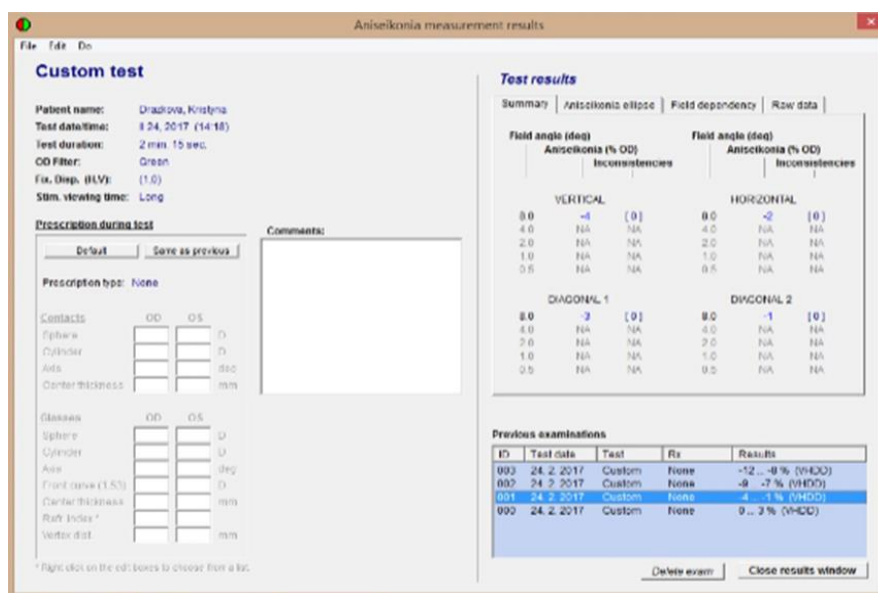


Obrázek 10: Testování pomocí AI [18]

Testování se v každém ze čtyř směrů provádí dvakrát, hodnoty se pak zprůměrují. Celková míra anizeikonie je automaticky určena z naměřených dat pomocí výpočtů softwaru. [1]

Po dokončení testu se na obrazovce počítače ukáže schéma s výsledky měření. Nalezneme zde *souhrnnou tabulku, schéma anizeikonické elipsy, graf závislosti na zorném poli a tabulku dat.* [18]

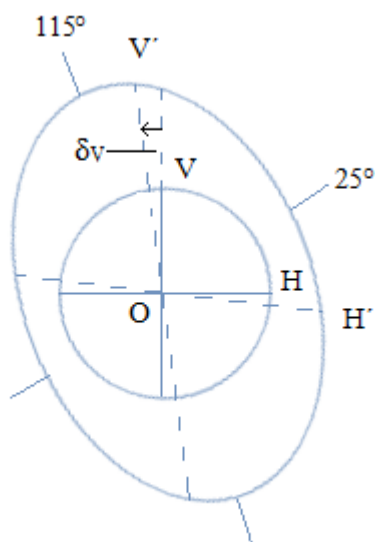
Souhrnná tabulka poskytuje rychlý přehled o výsledcích testů. Je zde znázorněna výsledná anizeikonie, ve všech směrech a úhlech, ve kterých byla testována. Tabulka anizeikonické elipsy ukazuje anizeikonii jako funkci naměřených směrů. [18]



Obrázek 11: Souhrnná tabulka měření

Anizeikonická elipsa

Tato elipsa popisuje anizeikonii ve všech meridiánech. Používá se pro popis korekce anizeikonie, která může vyžadovat relativní velikost jednoho obrazu na sítnici. Na *Obrázku 8* je zobrazena kružnice, která je zvětšena v ose 25° přibližně o 100 % a v ose 115° o 40 %. Výsledkem se stává elipsa je dána hlavní a vedlejší poloosou. Horizontální se označuje OH a vertikální OV. OH a OV jsou převedeny do šikmých linií OH' a OV', ty jsou nakloněny v meridiánu, kde dochází ke zvětšení. V praci není možné určit šikmá zvětšení a jejich orientaci. Parametry anizeikonické elipsy se tudíž určují jinými způsoby. Ke zjištění horizontálního (OH'/OH) a vertikálního (OV'/OV) zvětšení a vertikálního úhlu deklinace δ_v (VOV') používáme v praxi eikonometry. [2,11]



Obrázek 12: Anizeikonická elipsa [2]

Graf závislosti anizeikonie na zorném poli ukazuje, zda je patrná závislost anizeikonie na zorném poli nebo nikoliv. V tabulce dat uvádíme odpovědi pacienta, co přesně odpověděl na každém snímku. Tabulka zobrazuje špatné odpovědi pacienta a také naměřené hodnoty anizeikonie. [18]

AI obsahuje také nomogram pro design izeikonických čoček. Lze nasimulovat potenciální korekci a tím si ověřit, zda by byla vhodná k redukci příznaků pacienta. Tímto způsobem se dá posléze upravit výsledná korekce, abychom zajistili pacientovi co největší komfort. [1,15,18]

2.3 Eikonometry

Jedná se o přístroje, které určují přítomnost a měří velikost anizeikonie. Principem je měření rozdílu velikosti sítnicových obrazů za binokulárních podmínek. Jako nejčastější princip je poměřování dvou vzdáleností koincidenčních testů. Potřebné seprace lze docílit pomocí polarizačního nebo anaglyfního principu. U některých eikonometrů se využívá změn prostorového vnímání nebo paobrazů. [16,19]

Tudíž můžeme tyto přístroje rozdělit podle toho, jakým způsobem zajišťují separaci obrazu. Mezi anaglyfní patří *Brecherův* a *Maddoxův eikonometr*, na principu polarizace je založen eikonometr *Ames-Glendonův*. Paobrazů neboli následně vybavujících se obrazů využívá *Bleskový eikonometr*. Na změnách prostorového vnímání funguje *Ogle-Amesův Space eikonometr*. [16,19]

2.3.1 Brecherův anaglyfní eikonometr

Pacientovi předsadíme červeno-zelený filtr před oči, čímž zajistíme jejich disociaci. Obvykle se předkládá červený filtr před oko pravé. Pacient pozoruje dvě dvojice šipek, které mají podobu písmene V. Znaky jsou uspořádány ve dvou horizontálních řadách, orientovány hrotem proti sobě. Horní dvojice šipek je zbarvena zeleně a spodní dvojice červeně. Úkolem vyšetřovaného pacienta je porovnat pozici šipek vůči sobě. Pokud nejsou šipky v koincidenčním postavení, je potvrzena přítomnost anizeikonie. [16]

Pomocí speciálního afokálního zoom-systému, který má proměnlivou ohniskovou vzdálenost, vyhodnotíme výsledek testu. Na stupnici přístroje se zobrazuje naměřená hodnota anizeikonie v procentech. [16]

2.3.2 Maddoxův eikonometr

Pacient ve vyšetřovací vzdálenosti 6 m pozoruje tmavě zbarvený terč. Uprostřed se nachází vertikálně orientovaná štěrbinu, která slouží jakou fúzní podnět. Dále jsou po stranách umístěna Maddoxova světla, na každé straně jedno. Před levé oko pacienta předkládáme filtr v zelené barvě. Před oko pravé umístíme modifikovaný Maddoxův cylindr. Jeho úprava spočívá v rozříznutí a následném symetrickém obroušení obou částí. Štěrbinu, která vznikla v centrální části má šířku 1,5 – 2 mm a je kolmá na osu cylindru. Přes takto vytvořený otvor, vidí pacient jen štěrbinu umístěnou na tmavém pozadí testu. Dále vidí dvě svítící linie, které vzniknou předsazením Maddoxových cylindrů a Maddoxových světel. Linie procházejí středem zdroje světla. [16]

Pokud je přítomna anizeikonie a na sítnicích pravého a levého oka nevznikají shodné obrazy, vytvořené linie neprotínají zdroje světla. Mohou být posunuty směrem vně nebo dovnitř od zdrojů světla. [16]

Stupeň anizeikonie se stanovuje pomocí afokálního systému. Díky tomuto eikonometru lze zaznamenat i anizeikonickou elipsu v celém jejím rozsahu. Toho docílíme, když budeme současně otáčet testem i upraveným Maddoxovým cylindrem. [16]

2.3.3 Ames-Glendonův standartní eikonometr

Pomocí tohoto eikonometru lze testovat anizeikonii ve směru horizontálním a vertikálním. K vyšetření prostřednictvím tohoto testu, nemusíme provádět měření na vyšetřovací vzdálenost 6 m. Součástí přístroje je kolimátor, který svým zobrazením promítá test v nekonečnu. [16]

Jako fixační a zároveň i fúzní podnět zde slouží terčová figura a osový kříž. Nachází se zde 8 koncidenčních značek. Liché značky vnímá pouze pravé oko a levé oko vnímá značky sudé. [16]

Pokud je u pacienta přítomná symetrická anizeikonie, dochází k posunu značek v horizontálním i vertikálním směru. Když dochází k posunu značek jen v jednom směru, buď horizontálním, nebo vertikálním, jedná se o anizeikonii asymetrickou. K vyhodnocení se používá afokálním systémem, u kterého lze nastavit zvětšení. [16]

2.3.4 Bleskový eikonometr

Zpravidla se doporučuje vyšetřovat pomocí tohoto přístroje na 1 m. Principem je z krátké vzdálenosti co nejvíce ozářit sítnici, abychom u vyšetřované osoby vyvolaly tzv. paobrazy. To znamená, že se pacientovi po osvětlení následně vybaví pozorované obrazy. [16]

Jako fixační podnět zde slouží dvě světla, která jsou vertikálně pod sebou a jsou umístěna na prvé straně tmavého pole. 20 cm nalevo od světla se nachází svislá šterbina, za kterou je situovaný elektronický blesk. Tento test je možno rozdělit na dvě poloviny pomocí clony, a tím střídavě zakrývat jednu z částí. [16]

Úkolem pacienta je sledovat vždy polovinu testu, která zůstává nezakrytá. Monokulárně pozoruje buď horní světlo a horní část šterbiny, nebo dolní světlo a dolní část

šterbiny. Blesk umístěný za šterbinou oslní sítnici, kde dochází k podráždění a vniká paobraz, který je negativním obrazem této šterbiny. [16]

Pokud je u pacienta přítomna anizeikonie, nevidí poloviny šterbiny orientované naproti sebe, ale jeví se mu horizontálně posuté. Velikost v procentech určíme pomocí afokálního systému. [16]

2.3.5 Ogle-Amesův space-eikonometr

Měřením pomocí tohoto eikonometru lze dosáhnout velmi přesných výsledků, a to až do 5 % rozdílu ve velikostech sítnicových obrazů. Diagnostika anizeikonie tímto přístrojem také usnadňuje vyšetřujícím předepisování korekce k eliminaci rozdílů sítnicových obrazů. Ogle-Amesův Space eikonometr je založen na principu změn v prostorovém vnímání, ke kterému v případě přítomnosti anizeikonie dochází. Lze je použít pouze u lidí se stereoskopickým viděním. Pacienti se závažnou anizeikonií nejsou schopni sfúzovat obrazy, a proto nejsou schopni posoudit stereoskopické vidění, vyvolané přístrojem. Je možné jej zkonstruovat pomocí lan, což je ale velmi prostorově náročné. Častější varianta je, když je test součástí předlohy stereoskopu. [1,16, 20]

Test se skládá z červeného kříže, který má v centru vertikální linii. Před ním se zobrazují dvě jasně bílé vertikální čáry a za ním dvě vertikální zelené linie. Pacient pozoruje předložený test binokulárně s potřebnou korekcí do dálky. Před obě oči umístíme afokální systém. Ten jen opatřen nastavitelným zvětšením, pomocí kterého můžeme působit symetricky v celém rozsahu testu nebo pouze v určitém směru. Díky tomuto opatření můžeme ovlivnit deformace vnímaného obrazce v případě, že má pacient asymetrickou anizeikonii. [1,16]

Pokud pacient nemá žádné rozdíly sítnicových obrazů, jeví se mu postavení zobrazených čar stále stejné. U horizontální anizeikonie dochází k otočení všech částí testu. V případě vertikální anizeikonie se vertikální kříž jeví pacientovi pootočen kolem vertikální osy. Osově symetrická anizeikonie posune vnímané vertikální linie vzhledem k diagonálnímu kříži. Pokud pacient vidí kříž ve středu mírně sklopený k horizontální rovině, jedná se o anizeikonii šikmou [16]

3 Zvětšení brýlového skla

Pro korekci anizeikonie, hraje důležitou roli zvětšení brýlového skla. Brýlové zvětšení označuje změnu velikosti sítnicového obrazu, která nastane po předložení brýlové nebo kontaktní čočky před oko. Relativní zvětšení se týká velikosti sítnicového obrazu u korigované ametropie v porovnání s emetropickým okem. [12, 21]

Zvětšení brýlové čočky lze vyjádřit jako poměr:

$$SM = \frac{RICE}{RIVE} \quad (1)$$

RICE - velikost sítnicového obrazu korigovaného oka

RIVE - velikost sítnicového obrazu nekorigovaného oka

Zvětšení SM lze vyjádřit v procentech:

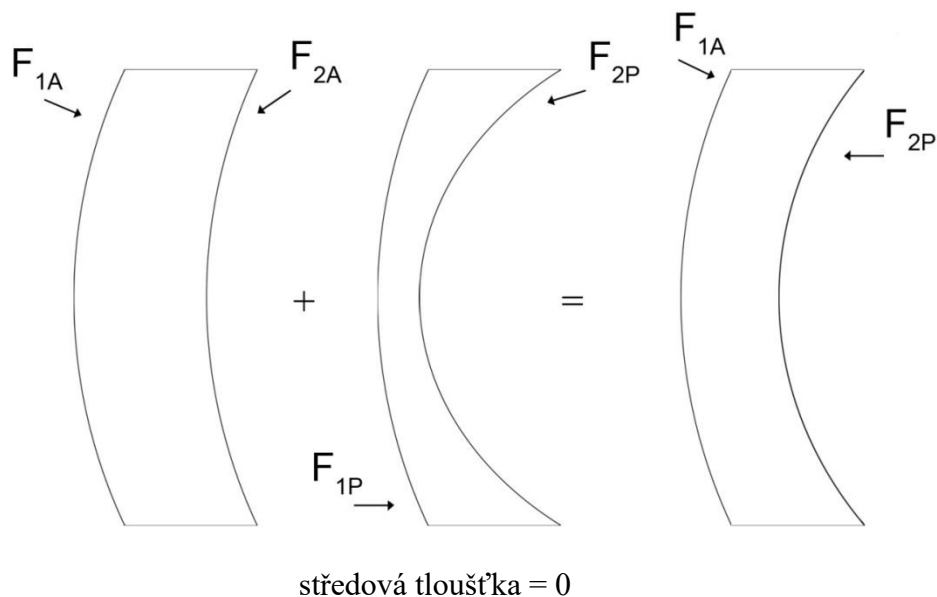
$$\%SM = (SM - 1) \cdot 100 \quad (2)$$

Potom hodnota například 1,05 reprezentuje zvětšení 5 % a hodnota 0,94 zase zmenšení 6 %.

$$(1,05 - 1) \cdot 100 = 5 \%$$

$$(1 - 0,94) \cdot 100 = 6\%$$

Brýlové čočky lze vnímat jako dvojici čoček. Například čočka, která je určena ke korekci na dálku má komponentu afokální (dalekohledovou) a komponentu lámavou. [12]



Obrázek 13: Schéma afokální, fokální a složené tlusté čočky [12]

V tomto přiblížení má afokální čočka tutéž tloušťku jako čočka složená. Fokální čočka je tenká, protože je středová tloušťka nulová. Přední plocha afokální čočky má stejnou hodnotu lámavosti jako složená čočka. Zadní vrcholová lámavost afokální čočky (komponenty) je nula => zadní vrcholová lámavost složené čočky: [12]

$$F_V = \frac{F_{1A}}{1 - \frac{t}{n} F_{1A}} + F_{2A} \quad (3)$$

- F_V - zadní vrcholová lámavost afokální komponenty [dpt]
- F_{1A} - optická mohutnost přední plochy afokální komponenty [dpt]
- F_{2A} - optická mohutnost zadní plochy afokální komponenty [dpt]

Protože afokální (dalekohledová) část má zadní vrcholovou lámavost $F_V = 0$, proto platí vztah:

$$F_{2A} = -\frac{F_{1A}}{1 - \frac{t}{n} F_{1A}} \quad (4)$$

Pro lámavou komponentu platí, že její přední plocha má stejné zakřivení jako zadní plocha afokální komponenty. Optická mohutnost lámavé komponenty je rovna optické mohutnosti zadní plocha afokální komponenty s opačným znaménkem. [12]

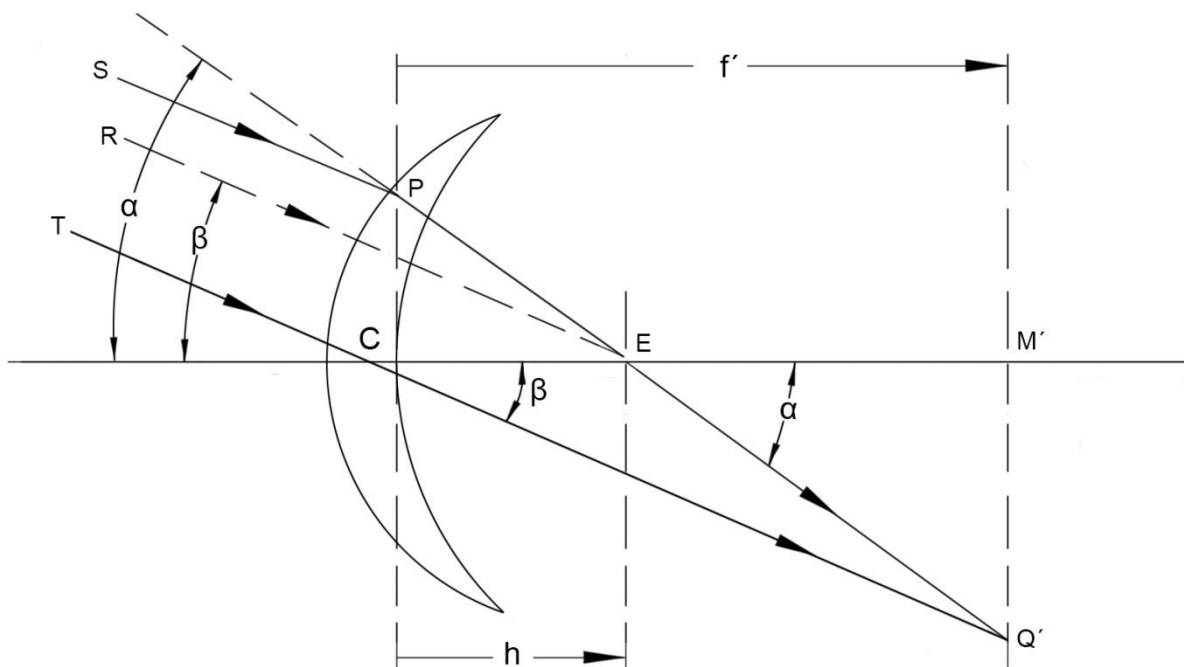
$$F_{1P} = + \frac{F_{1A}}{1 - \frac{t}{n} F_{1A}} \quad (5)$$

F_{1P} - optická mohutnost lámavé komponenty [dpt]

Optická mohutnost lámavé komponenty je současně zadní vrcholová lámavost složené čočky, protože lámavá komponenta je nekonečně tenká => optická mohutnost složené čočky je součtem optických mohutností jejich dvou povrchů. Když F_P je rovna zadní vrcholové lámavosti lámavé komponenty a když se $F_{1P} = F_{2P}$, potom $F_P = F_{1P} + F_{2P}$, neboli: [12]

$$F_P = \frac{F_{1A}}{1 - \frac{t}{n} F_{1A}} + F_{2P} \quad (6)$$

Tento výraz je shodný s výrazem pro zadní vrcholovou lámavost složené čočky a lze ji stanovit měřením pomocí fokometru.



Obrázek 14: Obrázek k určení úhlového zvětšení afokální komponenty [12]

Afokální komponenta sama o sobě neovlivňuje refrakci, protože nemění vergenci paprsků. Způsobuje ale změnu velikosti předmětu, má vliv na úhlové zvětšení. Na obrázku paprskem MP po lomu prochází středem křivosti první plochy C_1 . Tento paprsek se nelomí

ke kolmici, protože prochází středem křivosti, láme se až na druhém rozhraní ve směru PQ. Když se bod E nachází v ohniskové rovině přední plochy, paprsek se z bodu E skrz C_2 neláme. Láme se až na druhé ploše ve směru OS paralelně k MP. Když bod leží také v předmětové rovině druhé plochy, pak paprsek PQ musí být paralelní k paprsku OE a tedy paralelní dopadající paprsky (SO a MP) vycházejí po průchodu čočkou jako paralelní svazek. To odpovídá premise, že afokální komponenta má nulovou zadní vrcholovou lámavost. [12]

Úhlové zvětšení je definováno jako poměr úhlu vystupujících paprsků k úhlu paprsků vstupujících (vzhledem k optické ose):

$$AM_A = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\frac{RE}{C_2R}}{\frac{RE}{C_1R}} = \frac{C_1R}{C_2R} = \frac{l'_1 - r_1}{l_2 - r_2} \quad (7)$$

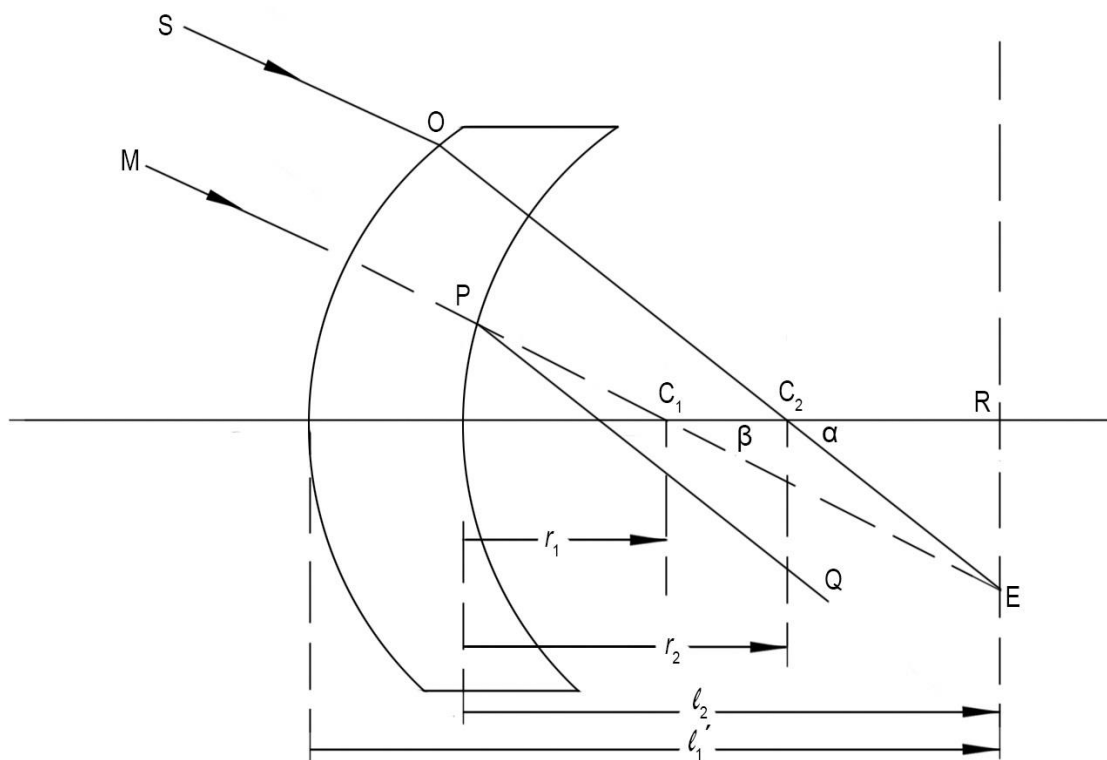
protože: $l'_1 = \frac{n}{F_1}$ a $r_1 = \frac{n-1}{F_1} \Rightarrow l'_1 - r_1 = \frac{n-n+1}{F_1} = \frac{1}{F_1}$

a protože $l_2 = -\frac{n}{F_2}$, potom $l_2 = \frac{n}{\frac{F_1}{1-\frac{t}{n}F_1}}$ a $r_2 = \frac{1-n}{F_2}$

a $r_2 = \frac{1-n}{-\frac{F_1}{1-\frac{t}{n}F_1}}$ a $r_2 = \frac{n-1}{\frac{F_1}{1-\frac{t}{n}F_1}}$

$$l_2 - r_2 = \frac{n-n+1}{\frac{F_1}{1-\frac{t}{n}F_1}} = \frac{1-\frac{t}{n}F_1}{F_1} \quad AM_A = \frac{l'_1 - r_1}{l_2 - r_2} = \frac{\frac{1}{F_1}}{\frac{1-\frac{t}{n}F_1}{F_1}}$$

$$AM_A = \frac{1}{1-\frac{t}{n}F_1} \quad (8)$$



Obrázek 15: Obrázek k určení úhlového zvětšení lámavé komponenty [12]

Odvození úhlového zvětšení lámavé komponenty

Paprsek TC z předmětu v nekonečnu se láme v bodě P a prochází středem vstupní pupily E a protíná obrazovou ohniskovou rovinu v bodě Q'. Kdyby nebylo čočky, bod Q by byl vidět ve směru OP. S čočkou je předmět Q vidět ve směru OP.

Úhlové zvětšení lámavé komponenty

$$AM_P = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{f'}{1 - \frac{h}{f}} \quad (9)$$

protože:

$$\frac{1}{f} = F_P$$

$$AM_P = \left(\frac{1}{1 - hF_P} \right) \quad (10)$$

Úhlové zvětšení (zvětšení brýlové čočky) složené čočky je rovno součinu afokální a fokální (lámavé) komponenty. Můžeme jej také rozdělit na dva různé faktory. Někdy se používá pojem *faktor tvaru* M_S (z angl. shape factor) a *faktor síly* M_P (z angl. power factor). [12]

$$AM = SM = M_S \cdot M_P = \frac{1}{1 - \frac{t}{n} F_1} \cdot \frac{1}{1 - hF_V} \quad (11)$$

F_1 - optická mohutnost přední plochy [dpt]

F_V - zadní vrcholová lámavost čočky [dpt]

t - tloušťka čočky [m]

n - index lomu

h - vzdálenost vstupní pupily oka od zadního vrcholu čočky (běžně se udává, že vstupní pupila je 3 mm za vrcholem rohovky) [m]

Ze vztahu pro faktor tvaru plyne, že se zvětšení brýlové čočky zvětšuje se zvětšující se lámavostí přední čočky a zvyšující se tloušťkou. Snižuje se zvyšujícím se indexem lomu. Ze vztahu pro lámavý faktor lze vidět, že se zvětšení mění na závislosti zadní vrcholové lámavosti. Velikost sítnicového obrazu roste se zvyšující se konvexitou čočky a snižuje se se zvyšujícím se konkávností čočky. Posune-li se plusová čočka k oku (zmenšuje se hodnota h), zvětšení se zmenšuje. Posune-li se mínusová čočka (zvětšuje se hodnota h) velikost sítnicových obrazů se zvětší. Je vidět, že lze konstruovat iseikonické čočky bez dioptrického účinku, pouze s potřebným zvětšením. [12]

3.1 Relativní brýlové zvětšení (RSM)

Jedná se o poměr velikosti obrazu sítnicového obrazu korigovaného ametropického oka vzhledem ke standardnímu redukovanému emetropickému oku. Pokud známe relativní brýlové zvětšení pro obě oči, můžeme vypočítat poměr velikostí obrazu korigovaného pravého a levého oka. [2,22,23]

Relativní brýlové zvětšení vyjádříme jako:

$$RSM = \frac{\text{sítnicový obraz korigovaného ametropického oka}}{\text{sítnicový obraz standardního emetropického oka}} \quad (12)$$

Vztah pro výpočet relativního brýlového zvětšení:

$$RSM = \frac{F_0}{F^*} = \frac{F_0}{F'_V + F_e - dF'_V F_e} \quad (13)$$

- F_0 - optická mohutnost standardního emetropického oka [dpt]
 F^* - optická mohutnost korigovaného ametropického oka [dpt]
 F'_V - zadní vrcholová lámavost [dpt]
 F_e - optická mohutnost ametropického oka [dpt]
 d - vrcholová vzdálenost [m]

3.1.1 Brýlové zvětšení u axiální ametropie

V případě axiální ametropie je rozdíl mezi nekorigovaným ametropickým okem a emetropickým okem pouze v axiální délce oka. Optická mohutnost ametropického oka F_e je stejná jako u standardního emetropického oka F_0 . [2,23,24]

Dosazením do vzorce pro relativní brýlové zvětšení, dostáváme vztah pro RSM při axiální ametropii:

$$RSM = \frac{F_0}{F'_V + F_0 - dF'_V F_0} \quad (14)$$

- F_0 - optická mohutnost standardního emetropického oka [dpt]
 F'_V - zadní vrcholová lámavost [dpt]
 d - vrcholová vzdálenost [m]

KNAPPŮV ZÁKON:

S korekcí axiální ametropie souvisí Knappův zákon. Ten říká, že pokud poloha korekční čočky shodná s polohou vzdáleného bodu (Punctum Remotum), bude velikost retinálního obrazu korigovaného oka stejně velká jako velikost obrazu na sítnici u emetropického oka. [15,23]

Podmínky Knappova zákona:

1. Musí se jednat o čistě axiální ametropii, to znamená že lámavost oka musí být stejná jako lámavost emetropického oka.
2. Tvarový faktor korekční čočky se musí rovnat 1. [15]

Dr. Knapp matematickými výpočty dokázal potvrdit, že korekci brýlovými skly navodíme u pacienta trpící axiální anizometrií menší aniseikonii, než v případě korekce kontaktními čočkami. [15]

3.1.2 Brýlové zvětšení u refrakční ametropie

U refrakční ametropie je axiální délka oka stejná jako u oka emetropického. Pokud je tato ametropie nekorigovaná, liší se ametropické oko od emetropického oka optickou mohutností. [22]

Vztah pro výpočet RSM při refrakční ametropii:

$$RSM = \frac{F_0}{F^*} = \frac{F_0}{F'_V + F_e - dF'_V F_e} = \frac{1}{1 - dF'_V} \quad (15)$$

F'_V - zadní vrcholová lámavost [dpt]

d - vrcholová vzdálenost [m]

4 Korekce anizeikonie

Principem anizeikonické korekce je eliminování rozdílu velikosti sítnicových obrazů. Cílem je odstranění pacientových potíží a zajištění kvalitního binokulárního vidění. Existuje několik metod, jakými můžeme korekci anizeikonie řešit. Každá z nich má své výhody i nevýhody. Patří mezi ně korekce pomocí anizeikonických čoček, anizodistančních brýlí, kontaktních čoček nebo operativní řešení pomocí refrakční chirurgie. V krajních případech se u některých pacientů řeší anizeikonické problémy pomocí okluze.

4.1 Anizeikonické čočky

Jedná se o čočky, které jsou určeny k tomu, aby měnily velikost obrazu na sítnici a zároveň, aby nedošlo ke změně jeho pozice. Používají se pro diagnostiku a korekci anizeikonie. Afokální anizeikonické čočky jsou bez korekčního efektu. Rozlišuje dva typy afokálních čoček. Ty, které poskytují celkové zvětšení, tj. stejné zvětšení ve všech meridiánech. Tento typ má meniskovou formu. Její pohledové zvětšení je závislé na faktoru tvaru, protože faktor síly se v tomto případě rovná nule. Pokud použijeme vyšší index lomu, než je u standardního korunového skla (1,50 - 1,54), dochází ke ztenčení čočky a k oploštění přední plochy. A druhým typem jsou čočky, které mají v každém meridiánu různé zvětšení. Číslování afokálních anizeikonických čoček označuje brýlové zvětšení vyjádřené v procentech; buď celkové nebo meridionální. [2,25]

Kromě afokálních čoček existují takové, které mají optický účinek, protože se jejich optická mohutnost nerovná nule. [2,25]

Pro anizeikonické čočky platí, že jejich zadní vrcholová lámavost je rovna nule $F_v = 0$. Po dosazení do vztahu pro M_s dle vztahu (11):

$$M_s = \frac{1}{1-hF_v}$$

$$M_s = \frac{1}{1-0}$$

$$M_s = 1$$

F_v - zadní vrcholová lámavost čočky [dpt]

h - vzdálenost vstupní pupily oka od zadního vrcholu čočky (běžně se udává, že vstupní pupila je 3 mm za vrcholem rohovky) [m]

Po dosazení do vztahu pro brýlové zvětšení dle vzorce (11):

$$AM = SM = M_S \cdot M_P = \frac{1}{1 - \frac{t}{n} F_1} \cdot 1$$

Dostáváme vztah pro zvětšení anizeikonických čoček

$$SM = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{t}{n}\right) \cdot F_1\right]} \quad (16)$$

F_1 - optická mohutnost přední plochy [dpt]

t - tloušťka čočky [m]

n - index lomu

Z uvedeného vztahu je patrná přímá úměra mezi zvětšením anizeikonické čočky, optickou mohutností přední plochy a tloušťkou čočky. Se zvyšující se optickou mohutností přední plochy nebo tloušťkou čočky roste i její zvětšení. Naopak se zvyšujícím se indexem lomu toto zvětšení klesá.



Obrázek 16: Sada anizeikonických čoček se zvětšení 1-7% [18]

4.2 Anizodistanční brýle

Abychom změnili zvětšení korekční brýlové čočky, musíme změnit její vrcholovou vzdálenost. To znamená, že pokud změníme vzdálenost brýlové čočky od oka (od vrcholu rohovky) změní se tím její zvětšení. V případě konvexní čočky se jejím přiblížením k oku

retinální obraz zmenšuje, oddálením naopak zvětšuje. U konkávních čoček přiblížení retinální obraz zvětší a oddálení zmenší. [26]

Formy anizodistančních úprav brýlí:

1. Deformace nosníku - provádí se u plastových obrub.
2. Různá poloha břitu brýlových fazet - možné jen v případě, že má brýlová čočka velkou okrajovou tloušťku.
3. Zdvojení očí - je zapotřebí udělat kopii jedné oční. [26]

4.3 Kontaktní čočky

Tento způsob korekce se používá zejména u pacientů trpících anizometrií, protože pohled přes kontaktní čočku vyvolává menší anizeikonii, než při pohledu přes čočku brýlovou. Zvláště korekce anizometropie u malých dětí, kdy hrozí riziko vzniku amblyopie. Kontaktní čočkou lze korigovat pouze refrakční ametropii. Z kosmetického hlediska jsou pro pacienta nejlepší volbou. Optické indikace nošení kontaktních čoček jsou zaměřeny na zlepšení vizuální ostrosti. Té nelze dosáhnout brýlovou korekcí za podmínky, že je anizeikonie vyvolána brýlovou korekcí anizometropie. Kontaktní čočky jsou doporučovány ke korekci afakie. Při použití kontaktní čočky je vrcholová vzdálenost $d = 0$. Dosazením do vztahu (15), kdy $d = 0$, dostáváme zvětšení 1. [3,11,13, 27,28]

Aplikace kontaktních čoček není možná u všech pacientů. Mezi kontraindikace aplikace kontaktních čoček patří:

- akutní nebo subakutní zánět předního segmentu oka
- uzavření slzných cest
- chronické oční infekce
- anomálie víčkové štěrbin
- rohovková anestezie
- degenerativní postižení víček, rohovky, spojivky
- syndrom suchého oka
- porucha slzného filmu
- dekompenzovaný glaukom [29]

4.4 Refrakční chirurgie

Mezi další možnosti korekce anizeikonie patří laserová refrakční chirurgie. Hlavními technikami operačního zákroku jsou metody PRK, LASEK a LASIK.

Tyto metody se od sebe liší rozsahem zákroku. U PRK neboli fotorefraktivní keratometrie se ještě před samotným použitím laseru odstraňuje epitel rohovky. Po provedení zákroku se tento defekt musí znovu zacelit. V případě metody LASEK se před použitím laseru vytvoří v epitelu lamela, která se po zákroku zase přiklopí zpátky. U metody LASIK se zákrok dělá velmi obdobně s tím rozdílem, že lamela obsahuje také descemetickou membránu a část stromatu. Po seříznutí lamely pomocí mikrokeratomu se provádí fotoablace a lamela se přiklopí zpět. [29,30]

5 Praktická část

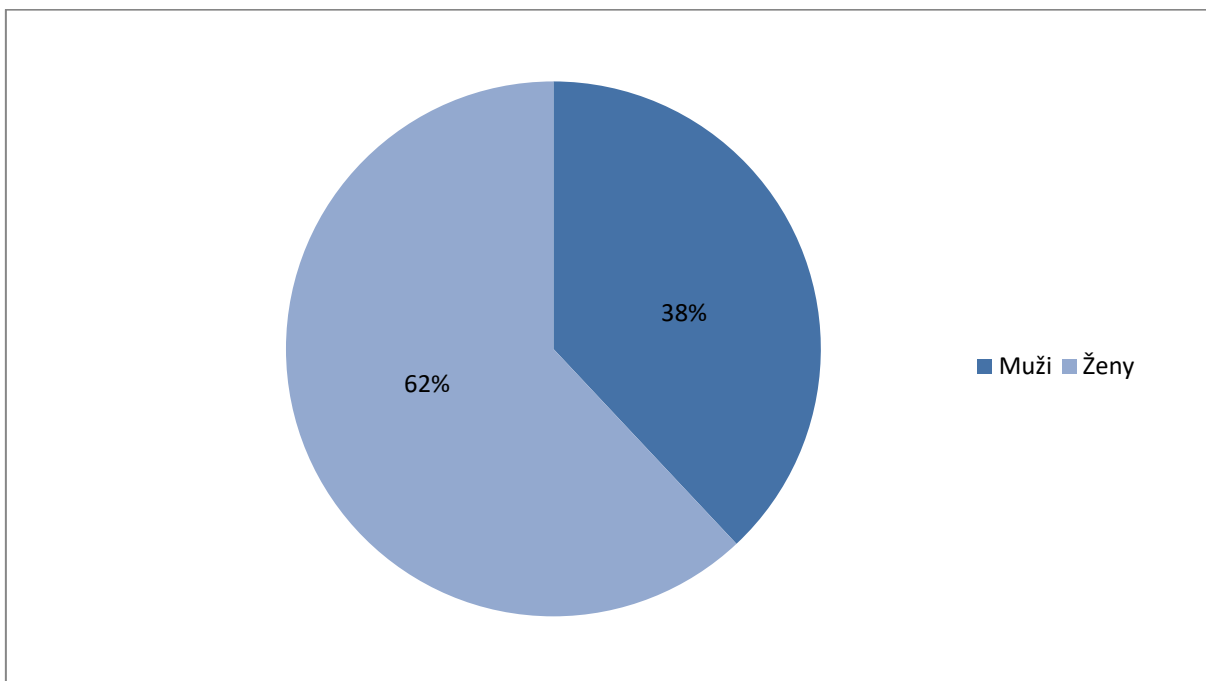
5.1 Úvod praktické části

Cílem praktické části bylo u statistického množství probandů porovnat měření anizeikonie pomocí tří metod - haploskopické, polarizační a metody Maddoxova cylindru se dvěma bodovými zdroji světla. Poslední zmíněná metoda se odborně označuje jako Brecherův test. Anizeikonie byla měřeným probandům navozena uměle, pomocí sady anizeikonických čoček s konkrétním zvětšením 3x, 8x a 10x.

5.2 Metodika

5.2.1 Měřené osoby

Veškerá měření probíhala v oční optice ALTA od února 2017 do dubna 2017. Celkem bylo naměřeno 50 probandů ve věkovém rozmezí od 18 do 63 let. Z celkového množství měřených osob se experimentu zúčastnilo 31 žen a 19 mužů. Jejich procentuální zastoupení je graficky znázorněno na *Obrázku 17*.



Obrázek 17: Procentuální zastoupení mužů a žen

5.2.2 Pomůcky a postup měření

Všechna měření probíhala za snížených světelných podmínek. U každé metody se lišila hodnota intenzity osvětlení. Při vyšetřování pomocí AI byla intenzita osvětlení 400 luxů, u Brecherova testu 250 luxů a u polarizační metody 700 luxů. Přesná hodnota luxů na každém pracovišti byla určena pomocí digitálního luxmetru LX - 1010B. Metody se lišily i vyšetřovací vzdáleností. U měření pomocí AI byla požadovaná vzdálenost 40 cm, u Brecherova testu 60 cm a u polarizační metody 2 m. Přesná vzdálenost byla změřena pomocí digitálního měřiče vzdálenosti BOSH DUS 20 plus. Celkové vyšetření trvalo přibližně 35 minut, z toho 15 minut pomocí haploskopické metody, 10 minut pomocí Brecherova testu a 5 minut pomocí polarizační metody.

Postup měření pomocí Aniseikonía Inspector

Pro měření pomocí metody byl použit počítačový software Aniseikonía Inspector verze 3. Měření anizeikonie probíhalo podle postupu uvedeného v kapitole 2.2.2. Z nabídky testovacích postupů, který software nabízí, byl vybrán postup Custom. Ten vyšetřuje anizeikonii ve čtyřech směrech - horizontálním, vertikálním a dvou diagonálních. Pro každý směr bylo na obrazovce zobrazeno 12 párů obdélníků. Měření bylo nejprve provedeno bez navození anizeikonie, tedy bez předsazené anizeikonické čočky. Pro simulování anizeikonie byly vybrány čočky se zvětšením 3x, 8x a 10x. Ty byly vždy předsazeny před pravé oko. Celkově se tedy měření ve všech směrech opakovalo čtyřikrát. Pro porovnání s ostatními hodnotami byly brány v potaz hodnoty naměřené v horizontálním směru.

Postup měření pomocí Brecherova testu

Měření probíhalo podle postupu uvedeného v kapitole 2.1.1. Anizeikonie byla navozena uměle pomocí čoček se zvětšením 3x, 8x a 10x. Čočky byly vyšetřovaným osobám předkládány vždy před pravé oko. K dorovnání vzdálenosti mezi světlem a světelným pruhem byly čočky předkládány před oko levé.

Postup měření polarizační metodou

Pro tuto metodu byl použit lineárně polarizovaný LCD optotyp značky POLAOPTO. K měření pomocí polarizačního optotypu bylo potřeba předsadit vyšetřovanému pacientovi polarizační brýle. Namísto horizontálních háků byly zvoleny šipky, protože rozdíl pozice

u šipek s předsazenou čočkou byl daleko více patrný než u háků. Čočky k navození anizeikonie byly předkládány před pravé oko s postupným zvětšením 3x, 8x a 10x. S předloženou čočkou se pozice šipek posunula určitým směrem. K dorovnání obrazu do původního konkidenčního postavení byly čočky předkládány před oko levé. Cílem bylo zjistit hodnotu čočky, se kterou se šipky vrátí do původního postavení.

5.2.3 Metoda statistické analýzy

Pro statistické porovnání naměřených dat byl použit program Microsoft Excel 2010. Na stejném souboru jedinců bylo provedeno měření stejných parametrů třemi metodami, které byly vzájemně porovnávány pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu - ANOVY. Hladina spolehlivosti α byla stanovena na 0,05.

5.3 Hypotézy

Byly stanoveny následující nulové a alternativní hypotézy. U nulových hypotéz se předpokládá, že střední hodnoty měření jsou u všech tří metod stejné. U alternativních hypotéz se předpokládá rozdíl mezi středními hodnotami měření.

5.3.1 Nulové hypotézy

- $H_{0,1}$ - Rozdíl středních hodnot měření pomocí Aniseikonia Inspector, pomocí Brecherova testu a pomocí polarizační metody s anizeikonickou čočkou se zvětšením 3x je nulový.
- $H_{0,2}$ - Rozdíl středních hodnot měření pomocí Aniseikonia Inspector, pomocí Brecherova testu a pomocí polarizační metody s anizeikonickou čočkou se zvětšením 8x je nulový.
- $H_{0,3}$ - Rozdíl středních hodnot měření pomocí Aniseikonia Inspector, pomocí Brecherova testu a pomocí polarizační metody s anizeikonickou čočkou se zvětšením 10x je nulový.

5.3.2 Alternativní hypotézy

- $H_{1,1}$ - Hodnota anizeikonie naměřená pomocí Aniseikonia Inspector, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 3x, bude maximálně o 20 % vyšší než hodnota naměřená pomocí polarizační metody.
- $H_{1,2}$ - Hodnota anizeikonie naměřená pomocí polarizační metody, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 8x, bude v maximálně o 10 % vyšší než hodnota naměřená pomocí Brecherova testu.

- $H_{1,3}$ - Hodnota anizeikonie naměřená pomocí Brecherova testu, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 10x, bude v maximálně o 10 % nižší než hodnota naměřená pomocí Aniseikonia Inspector

5.4 Výsledky

5.4.1 Výsledky měření anizeikonie bez předložené čočky

Haploskopickou metodou bylo nejprve provedeno měření bez umělého navození anizeikonie. Na *Obrázku 18* je znázorněna souhrnná tabulka softwaru, které ukazuje naměřené hodnoty ve všech čtyřech směrech. Tyto výsledky jsou zobrazeny v procentech a ukazují skutečnou hodnotu anizeikonie bez předložené čočky. Na *Obrázku 19* je znázorněna průměrná hodnota anizeikonie u všech měřených probandů. Graf zobrazuje hodnotu anizeikonie ve všech čtyřech směrech vyjádřenou v procentech.

Custom test

Patient name: Drázkova, Kristýna
 Test date/time: 11 24, 2017 (14:14)
 Test duration: 2 min, 27 sec.
 OD Filter: Green
 Fix. Disp. (H,V): (1,0)
 Stim. viewing time: Long

Prescription during test

Default | Same as previous

Prescription type: None

Contacts

| | OD | OS | |
|------------------|----|----|-----|
| Sphere | | | D |
| Cylinder | | | D |
| Axis | | | deg |
| Center thickness | | | mm |

Glasses

| | OD | OS | |
|--------------------|----|----|-----|
| Sphere | | | D |
| Cylinder | | | D |
| Axis | | | deg |
| Front curve (1.53) | | | D |
| Center thickness | | | mm |
| Krat. index * | | | |
| Vertex dist | | | mm |

* Right click on the edit boxes to choose from a list.

Test results

Summary | Aniseikonia ellipse | Field dependency | Raw data

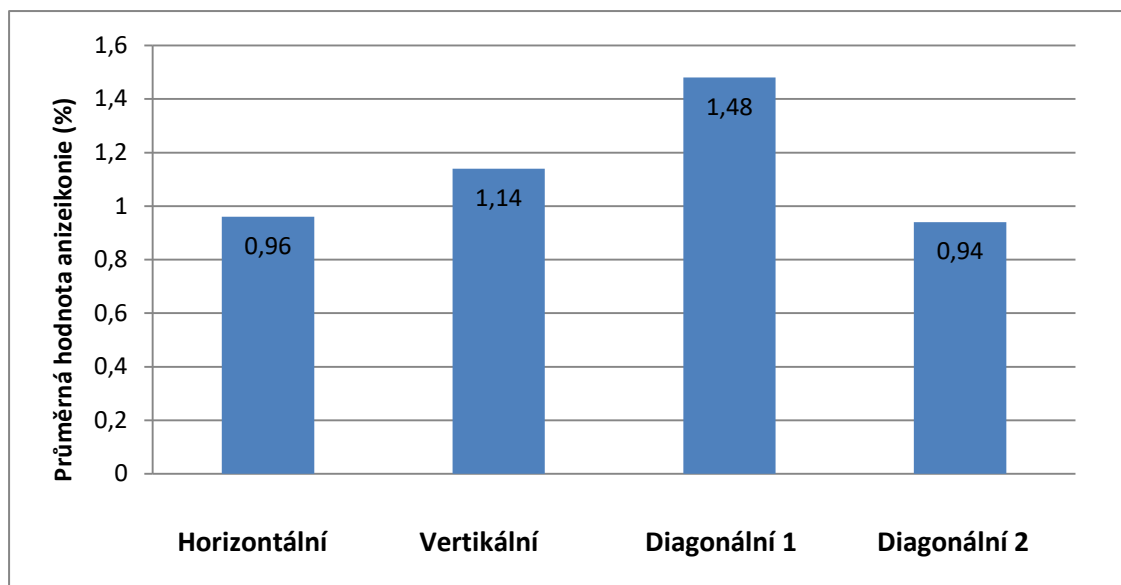
| Field angle (deg) | Aniseikonia (% OD) | | Field angle (deg) | Aniseikonia (% OD) | |
|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| | | Inconsistencies | | | Inconsistencies |
| VERTICAL | | | | | |
| 9.0 | 1 | [0] | HORIZONTAL | | |
| 4.0 | NA | NA | 4.0 | NA | NA |
| 2.0 | NA | NA | 2.0 | NA | NA |
| 1.0 | NA | NA | 1.0 | NA | NA |
| 0.5 | NA | NA | 0.5 | NA | NA |
| DIAGONAL 1 | | | | | |
| 9.0 | 0 | [0] | DIAGONAL 2 | | |
| 4.0 | NA | NA | 4.0 | NA | NA |
| 2.0 | NA | NA | 2.0 | NA | NA |
| 1.0 | NA | NA | 1.0 | NA | NA |
| 0.5 | NA | NA | 0.5 | NA | NA |

Previous examinations

| ID | Test date | Test | Rx | Results |
|-----|-----------|--------|------|------------------|
| 003 | 24.2.2017 | Custom | None | -12...-8% (VHDD) |
| 002 | 24.2.2017 | Custom | None | -9...-7% (VHDD) |
| 001 | 24.2.2017 | Custom | None | -4...-1% (VHDD) |
| 000 | 24.2.2017 | Custom | None | 0...3% (VHDD) |

Default exam | Close results window

Obrázek 18: Souhrnná tabulka naměřených hodnot anizeikonie bez předložené anizeikonické čočky



Obrázek 19: Průměrná hodnota anizeikonie naměřených ve čtyřech směrech pomocí AI bez představené anizeikonické čočky

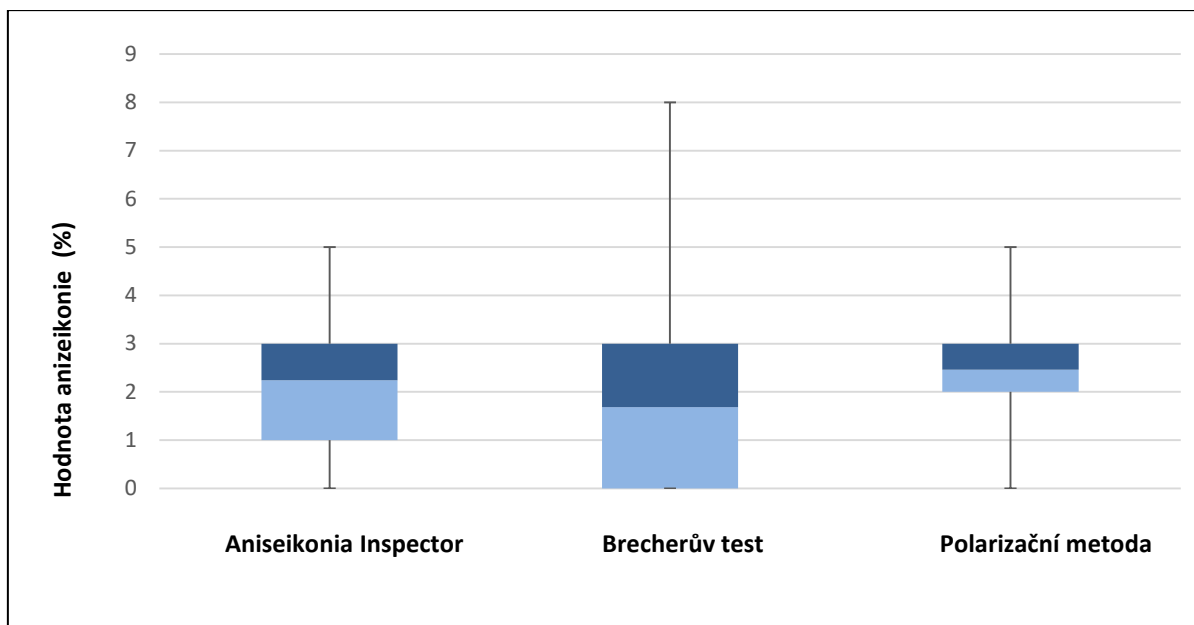
5.4.2 Výsledky měření anizeikonie simulované anizeikonickými čočkami

Zvětšení 3x

V *Tabulce 1* je uvedena základní charakteristika naměřených hodnot. Na *Obrázku 20* jsou graficky znázorněna měření třemi metodami. Jsou zde zobrazeny maximální a minimální naměřené hodnoty. Světle modrá barva znázorňuje první kvartil a tmavě modrá třetí kvartil. Spojnice barev ukazuje střední hodnoty.

Tabulka 1: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie pro zvětšení 3x

| Zvětšení 3x | | | |
|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | Aniseikonia Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
| Počet měření | 50 | 50 | 50 |
| Střední hodnota | 2,24 | 1,68 | 2,46 |
| Rozptyl výběru | 1,54 | 4,14 | 1,61 |
| Směrodatná odchylka | 1,24 | 2,03 | 1,27 |



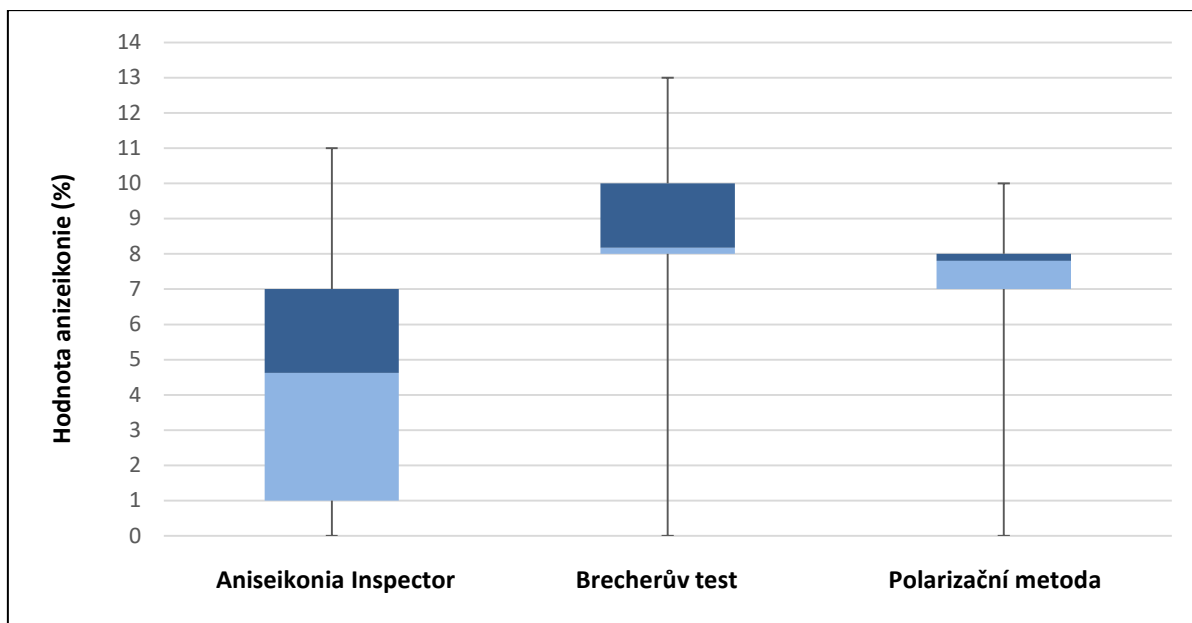
Obrázek 20: Graf průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 3x

Zvětšení 8x

V *Tabulce 2* je uvedena základní charakteristika naměřených hodnot. Na *Obrázku 21* jsou graficky znázorněna měření třemi metodami. Jsou zde zobrazeny maximální a minimální naměřené hodnoty. Světle modrá barva znázorňuje první kvartil a tmavě modrá třetí kvartil. Spojnice barev ukazuje střední hodnoty.

Tabulka 2: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie pro zvětšení 8x

| Zvětšení 8x | | | |
|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | Aniseikonia Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
| Počet měření | 50 | 50 | 50 |
| Střední hodnota | 4,62 | 8,18 | 7,80 |
| Rozptyl výběru | 9,28 | 5,43 | 2,72 |
| Směrodatná odchylka | 3,05 | 2,33 | 1,65 |



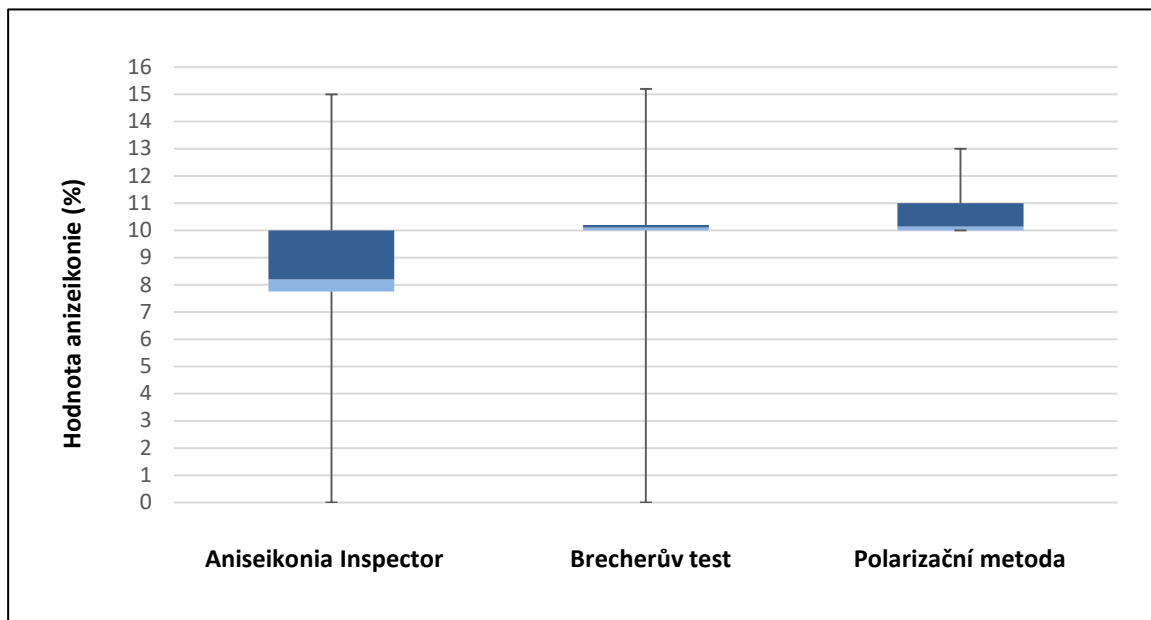
Obrázek 21: Graf průměrných hodnot anizeikonie s předsaženou anizeikonickou čočkou 8x

Zvětšení 10x

V *Tabulce 3* je uvedena základní charakteristika naměřených hodnot. Na *Obrázku 22* jsou graficky znázorněna měření třemi metodami. Jsou zde zobrazeny maximální a minimální naměřené hodnoty. Světle modrá barva znázorňuje první kvartil a tmavě modrá třetí kvartil. Spojnice barev ukazuje střední hodnoty.

Tabulka 3: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie pro zvětšení 10x

| Zvětšení 10x | | | |
|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | Aniseikonia Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
| Počet měření | 50 | 50 | 50 |
| Střední hodnota | 8,20 | 9,90 | 10,14 |
| Rozptyl výběru | 7,56 | 7,61 | 0,36 |
| Směrodatná odchylka | 2,75 | 2,76 | 0,60 |



Obrázek 22: Graf průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 10x

5.4.3 Statistická analýza nulových hypotéz

Staticky byly všechny tři metody porovnávány pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu. Bylo nutno ověřit, zda existuje statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami měřenými všemi třemi metodami. Pokud byla *kritická hodnota* koeficientu F na 95 % hladině významnosti větší než *vypočtená hodnota* koeficientu F , byla potvrzena nulová hypotéza.

- $H_{0,1}$

Nulová hypotéza $H_{0,1}$ předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření pomocí všech tří metod s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 3x je nulový.

Tabulka 4: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie se zvětšením 3x pro jednofaktorovou ANOVU

| Zvětšení 3x | | | |
|--------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | Aniseikonia Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
| Počet měření | 50 | 50 | 50 |
| Součet | 112 | 84 | 123 |
| Průměr | 2,24 | 1,68 | 2,46 |
| Rozptyl | 1,57 | 4,22 | 1,64 |

Tabulka 5: Výsledky jednofaktorové ANOVY pro zvětšení 3x

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|--------|-----|------|------|-----------|----------------|
| Zdroj variability | SS | df | MS | F | p-hodnota | $F_{kritická}$ |
| Mezi skupinami | 16,17 | 2 | 8,08 | 3,26 | 0,04 | 3,05 |
| Uvnitř skupin | 364,42 | 147 | 2,27 | | | |
| Celkem | 380,59 | 149 | | | | |

Z výsledků uvedených v *Tabulce 5* lze vyvrátit nulovou hypotézu. Vypočítaná hodnota koeficientu $F = 3,26$ a kritická hodnota koeficientu $F = 3,05$. Jelikož je $F > F_{kritická}$ je vyvrácena nulová hypotéza. Z toho vyplývá, že střední hodnoty všech tří metod jsou statisticky rozdílné.

- $H_{0,2}$

Nulová hypotéza $H_{0,2}$ předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření pomocí všech tří metod s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 8x je nulový.

Tabulka 6: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie se zvětšením 8x pro jednofaktorovou ANOVU

| Zvětšení 8x | | | |
|--------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | Aniseikonia Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
| Počet měření | 50 | 50 | 50 |
| Součet | 231 | 409 | 390 |
| Průměr | 4,62 | 8,18 | 7,80 |
| Rozptyl | 9,46 | 5,53 | 2,77 |

Tabulka 7: Výsledky jednofaktorové ANOVY pro zvětšení 8x

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|---------|-----|--------|-------|-----------|----------------|
| Zdroj variability | SS | df | MS | F | p-hodnota | $F_{kritická}$ |
| Mezi skupinami | 382,17 | 2 | 191,08 | 32,24 | 2,45E-12 | 3,05 |
| Uvnitř skupin | 871,16 | 147 | 5,926 | | | |
| Celkem | 1253,33 | 149 | | | | |

Z výsledku uvedených v *Tabulce 7* lze vyvrátit nulovou hypotézu. Vypočítaná hodnota koeficientu $F = 32,24$ a kritická hodnota koeficientu $F = 3,05$. Jelikož je $F > F_{kritická}$ je vyvrácena nulová hypotéza. Z toho vyplývá, že střední hodnoty všech tří metod jsou statisticky rozdílné.

- $H_{0,3}$

Nulová hypotéza $H_{0,3}$ předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření pomocí všech tří metod s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 10x je nulový.

Tabulka 8: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie se zvětšením 10x pro jednofaktorovou ANOVU

| Zvětšení 10x | | | |
|--------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | Aniseikonía Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
| Počet měření | 50 | 50 | 50 |
| Součet | 410 | 495 | 507 |
| Průměr | 8,20 | 9,90 | 10,14 |
| Rozptyl | 7,71 | 7,76 | 0,36 |

Tabulka 9: Výsledky jednofaktorové ANOVY pro zvětšení 10x

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|--------|-----|-------|-------|-----------|----------------|
| Zdroj variability | SS | df | MS | F | p-hodnota | $F_{kritická}$ |
| Mezi skupinami | 111,85 | 2 | 55,92 | 10,58 | 5,06E-05 | 3,05 |
| Uvnitř skupin | 776,52 | 147 | 5,28 | | | |
| Celkem | 888,37 | 149 | | | | |

Z výsledku uvedených v *Tabulce 9* lze vyvrátit nulovou hypotézu. Vypočítaná hodnota koeficientu $F = 10,58$ a kritická hodnota koeficientu $F = 3,05$. Jelikož je $F > F_{kritická}$ je vyvrácena nulová hypotéza. Z toho vyplývá, že střední hodnoty všech tří metod jsou statisticky rozdílné.

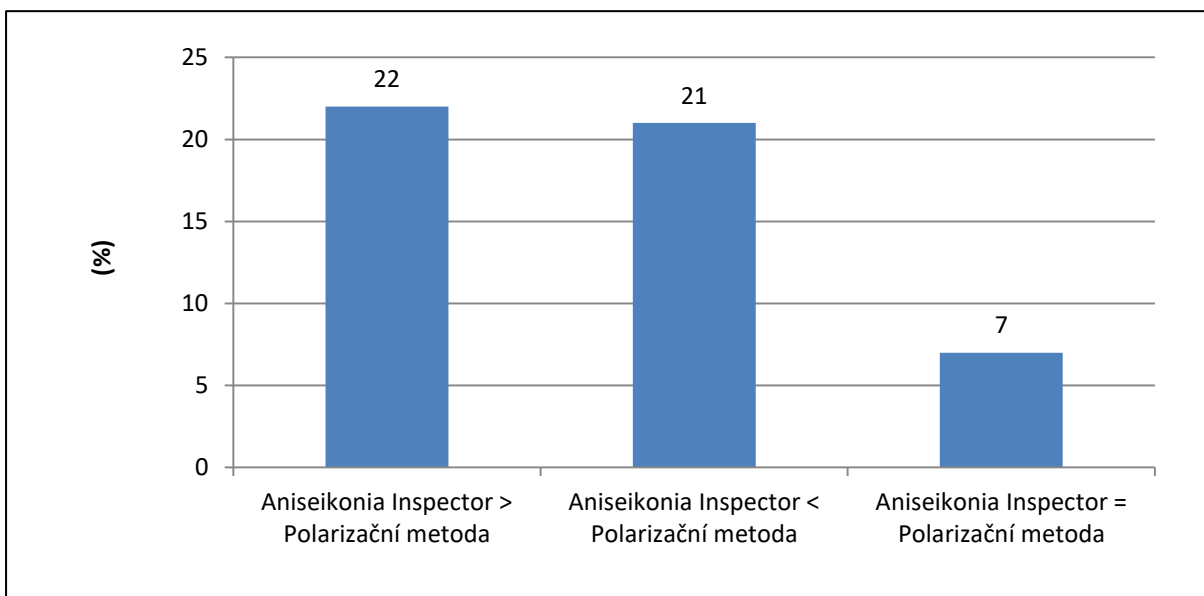
Tabulka 10: Přehled výsledků nulových hypotéz

| Hypotéza | Nelze zamítnout/zamítnuta |
|-----------|---------------------------|
| $H_{0,1}$ | Zamítnuta |
| $H_{0,2}$ | Zamítnuta |
| $H_{0,3}$ | Zamítnuta |

5.4.4 Statistická analýza alternativních hypotéz

- $H_{1,1}$

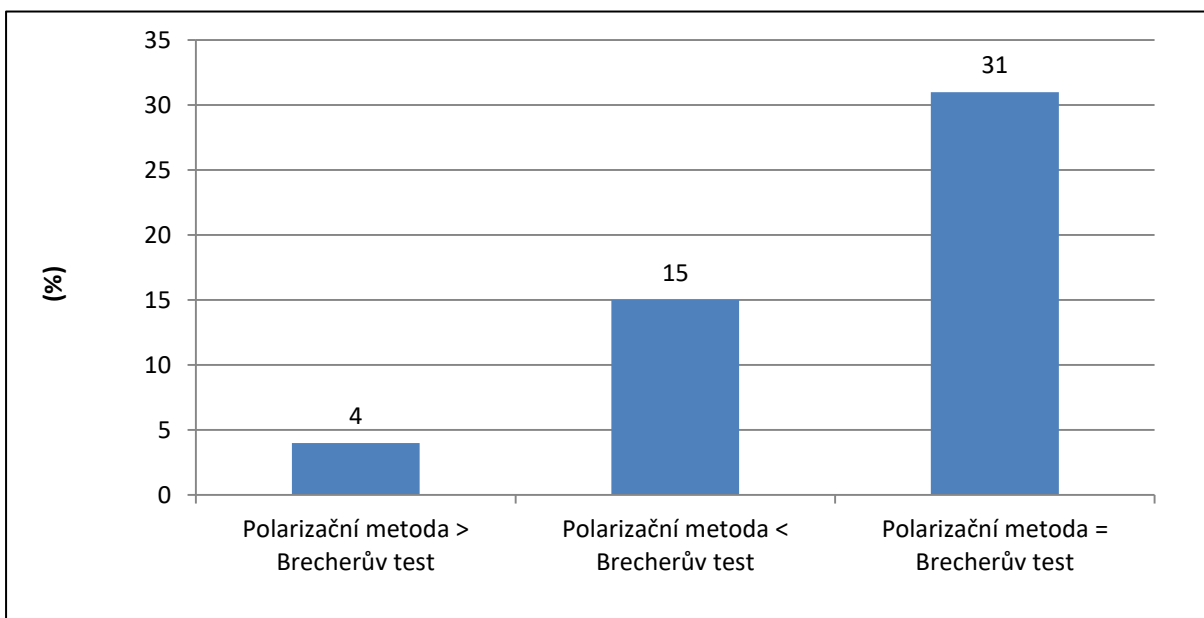
Alternativní hypotéza $H_{1,1}$ předpokládá, že hodnota anizeikonie naměřená pomocí Aniseikonía Inspector, nasimulována anizeikonickou čočkou 3x, bude maximálně o 20 % vyšší než hodnota naměřená polarizační metodou. Hodnoty naměřené pomocí Aniseikonía Inspector jsou ve 22 % vyšší, v 21 % nižší a v 7 % stejné jako hodnoty naměřené pomocí polarizační metody. Jelikož je hodnota anizeikonie pomocí Aniseikonía Inspector ve srovnání s polarizační metodou vyšší o více než 20 % je hypotéza $H_{1,1}$ je zamítnuta.



Obrázek 23: Porovnání průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 3x naměřené pomocí AI a polarizační metody

- $H_{1,2}$

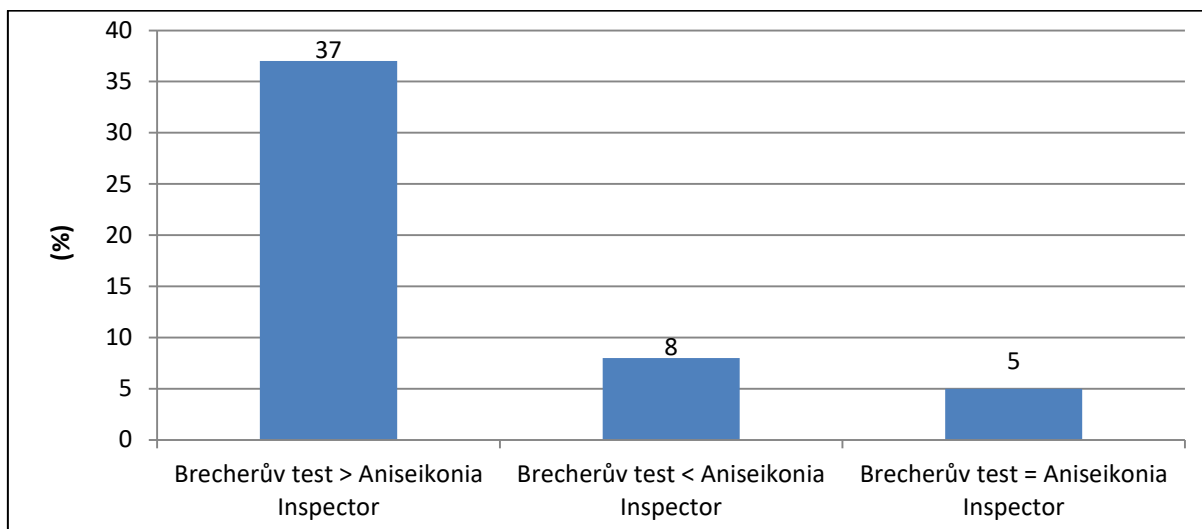
Alternativní hypotéza $H_{1,2}$ předpokládá, že hodnota anizeikonie naměřená pomocí polarizační metody, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 8x, bude maximálně o 10 % vyšší než hodnota naměřená pomocí Brecherova testu. Hodnoty naměřené pomocí polarizační metody jsou ve 4 % vyšší, v 15 % nižší a v 31 % stejné jako hodnoty naměřené pomocí Brecherova testu. Jelikož je hodnota anizeikonie pomocí polarizační metody ve srovnání s Brecherovým testem vyšší o méně než 10 % nelze hypotézu $H_{1,2}$ zamítnout.



Obrázek 24: Porovnání průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 8x naměřené pomocí polarizační metody a Brecherova testu

- $H_{1,3}$

Alternativní hypotéza $H_{1,3}$ předpokládá, že hodnota anizeikonie naměřená pomocí Brecherova testu, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 10x, bude maximálně o 10 % nižší než hodnota naměřená pomocí Aniseikonía Inspector. Hodnoty naměřené pomocí Brecherova testu jsou v 37 % vyšší, v 8 % nižší a v 5 % stejné jako hodnoty naměřené pomocí Aniseikonía Inspector. Jelikož je hodnota naměřená anizeikonie pomocí Brecherova testu ve srovnání s Aniseikonía Inspector nižší o méně než 10 % nelze hypotézu $H_{1,3}$ zamítnout.



Obrázek 25: Porovnání průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 10x naměřené pomocí Brecherova testu a AI

Tabulka 11: Přehled výsledků alternativních hypotéz

| Hypotéza | Kritérium (%) | Výsledek (%) | Nelze zamítnout/ Zamítnuta |
|-----------|---------------|--------------|-------------------------------|
| $H_{1,1}$ | 20% | 22% | Zamítnuta |
| $H_{1,2}$ | 10% | 4% | Nelze zamítnout |
| $H_{1,3}$ | 10% | 8% | Nelze zamítnout |

5.5 Diskuze

Z průměrných hodnot naměřených pomocí Aniseikonia Inspector bez simulované anizeikonie, lze zjistit, zda se u testovaných probandů skutečně vyskytovala významná hodnota anizeikonie. Software naměřil hodnotu anizeikonie ve všech čtyřech směrech. Průměrná hodnota anizeikonie u všech probandů byla v horizontálním směru 0,96 %, ve směru vertikálním 1,14 %, v diagonálních směrech 1,48 % a 0,94 %. Naměřené hodnoty nepřesahují významnou hodnotu anizeikonie a u žádné testované osoby se neobjevily symptomy, které toto onemocnění doprovází.

Z výsledků zjištěných pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu, lze nulové hypotézy zamítnout. To znamená, že průměrné hodnoty anizeikonie naměřené pomocí všech tří metod se od sebe statisticky významně odlišují.

Výsledky alternativních hypotéz byly opět založeny na střední hodnotě naměřených dat. U alternativní hypotézy $H_{1,1}$ byl stanoven předpoklad, že se průměrná hodnota anizeikonie simulovaná anizeikonickou čočkou 3x naměřená pomocí AI bude maximálně o 20 % vyšší než hodnota naměřená polarizační metodou. Tato hypotéza byla zamítnuta, jelikož se metody lišily o 22 %. Rozdíl mezi těmito dvěma metodami, může být způsoben tím, že AI měří přesnou hodnotu anizeikonie v procentech. Zatímco u polarizační metody určuje hodnotu anizeikonie předložená čočka, pomocí které se znaky dostanou do koincidenčního postavení. Vyšší hodnoty naměřené pomocí AI mohou být způsobeny tím, že vyšetření trvá oproti polarizační metodě třikrát déle. Z toho důvodu může mít na výsledky vliv i únava vyšetřované osoby.

U alternativní hypotézy $H_{1,2}$ byl stanoven předpoklad, že hodnota anizeikonie naměřená pomocí polarizační metody, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 8x, bude maximálně o 10% vyšší než hodnota naměřená pomocí Brecherova testu. Tuto hypotézu nelze zamítnout, protože naměřené hodnoty pomocí polarizační metody se liší pouze o 4 %. Obě metody jsou ve svém principu podobné, cílem každé z nich je pomocí anizeikonické čočky vyrovnat posun testovaných značek. Vyšší průměrná hodnota naměřená pomocí polarizační metody mohla být způsobena tím, že u Brecherova testu, nebylo možno několika probandům určit posun světelných pruhů. Z toho důvodu nebylo možno změřit hodnotu anizeikonie a zapsaná hodnota byla tudíž nulová.

U alternativní hypotézy $H_{1,3}$ byl stanoven předpoklad, že hodnota anizeikonie naměřená pomocí Brecherova testu, nasimulovaná anizeikonickou čočkou 10x, bude maximálně o 10% nižší než hodnota naměřená pomocí Aniseikonia Inspector. Tuto hypotézu

nelze zamítnout. Mnoho probandů u Brecherova testu nedokázalo zaznamenat posun testované značky, byla hodnota anizeikonie zaznamenána jako nulová. Z toho důvodu byly průměrné hodnoty naměřené anizeikonie nižší než pomocí AI.

Hodnoty měření mohou být ovlivněny různými faktory. Všechny tři metody jsou náročné na soustředěnost a vyžadují přesné odpovědi vyšetřovaných osob. Rozdílné výsledky tak mohou být způsobeny nepřesnými odpověďmi vyšetřovaných osob. Dalším faktorem, který mohl ovlivnit výsledky měření, mohlo být nedostatečné pochopení instrukcí vyšetřovaného nebo nepřesnou komunikací mezi vyšetřujícím a vyšetřovaným.

Závěr

Hlavním cílem teoretické části bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou anizeikonie. Dále také se symptomy doprovázející toto onemocnění a s formami, ve kterých se může vyskytovat. Následně se práce zabývá diagnostikou anizeikonie, kde jsou zmíněny klasické testy na vyšetření a také moderní metody jako jsou New Aniseikonia Test a Aniseikonia Inspector. Další kapitola byla zaměřena na brýlové zvětšení a výpočty, které se zvětšením souvisí. Ty pak byly použity v následující kapitole věnující se korekci anizeikonie pomocí anizeikonických čoček. V této kapitole jsou uvedeny i další možnosti korekce tohoto onemocnění.

Cílem praktické části bylo porovnání naměřených hodnot anizeikonie třemi metodami. Pro testování byly zvoleny následující metody - Aniseikonia Inspector, Brecherův test a polarizační metoda. Anizeikonie byla u měřených probandů navozena uměle pomocí anizeikonických čoček se zvětšením 3x, 8x a 10x. Před simulováním anizeikonie bylo nejprve provedeno měření bez předsazené anizeikonické čočky. Ze statistického zpracování naměřených výsledků bylo patrné, že u žádného z probandů nebyla naměřena významná hodnota anizeikonie.

Před měřením byly stanoveny nulové a alternativní hypotézy. Všechny nulové hypotézy byly podle výsledků jednofaktorové analýzy rozptylu zamítnuty. To znamená, že existuje statisticky významný rozdíl mezi všemi třemi metodami.

V druhé části byly posuzovány alternativní hypotézy. První alternativní hypotéza byla zamítnuta. Hodnota anizeikonie naměřená pomocí AI, simulovaná anizeikonickou čočkou 3x byla o 22 % vyšší než u polarizační metody. Druhou alternativní hypotézu není možno zamítnout. Hodnota anizeikonie naměřená polarizační metodou, simulovaná anizeikonickou čočkou 8x byla pouze o 4 % vyšší než u Brecherova testu. Poslední alternativní hypotézu není možno zamítnout. Hodnota anizeikonie naměřená pomocí Brecherova testu, simulovaná anizeikonickou čočkou 10x byla pouze o 8 % nižší než u Aniseikonia Inspector. Výsledky mohou být ovlivněny několika různými faktory. Podle výsledků nulových hypotéz lze říct, že jsou hodnoty, naměřené pomocí tří různých metod, odlišné. Může to být dáno tím, že se metody od sebe liší nejen svým principem, ale také mírou náročnosti.

Seznam použité literatury

- [1] SCHEIMAN, Mitchell a Bruce WICK. *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, c2008. ISBN 978-0-7817-7784-1.
- [2] RABBETTS, Ronald B. *Bennett & Rabbetts' clinical visual optics*. 4th ed. New York: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2007. ISBN 9780750688741.
- [3] BENJAMIN, William J. a Irvin M. BORISH. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006. ISBN 0750675241.
- [4] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [5] Aniseikonia. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aniseikonia>
- [6] SCHWARTZ, Steven H. *Geometrical and visual optics: a clinical introduction*. New York: McGraw-Hill, Medical Pub. Division, c2002. ISBN 0071374159.
- [7] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [8] Shaugeen Shores Family Eye Care [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <https://www.ssfeyecare.com/binocular-vision/#>
- [9] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Vyd. 3., nezměn. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-530-3.
- [10] SHAWLENSpatentpending:Aniseikonia. Http://shawlens.com/aniseikonia/what_is_aniseikonia/ [online]. [cit. 2017-04-26].
- [11] Aniseikonia. *Optical Diagnostics* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.opticaldiagnostics.com/info/aniseikonia.html>
- [12] FANNIN, Troy E. a Theodore P. GROSVENOR. *Clinical optics*. Boston: Butterworths, c1987. ISBN 0409900605.
- [13] EVANS, Bruce J. W. a David PICKWELL. *Pickwell's binocular vision anomalies*. 5th ed. New York: Elsevier Butterworth Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.

- [14] TUNNACLIFFE, Alan H. *Introduction to visual optics*. 4th ed. Godmersham Park: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 978-0-90009-928-1.
- [15] REED, Brandon. *Aniseikonia: A Case Series and Literature Review*. Forest Grove, 2011. Dostupné také z: <http://commons.pacificu.edu/opt/2>. Pacific University. College of Optometry
- [16] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [17] RUTRLE, Miloš. *Binokulární korekce na polatestu*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-302-3.
- [18] Optical Diagnostics, *Aniseikonia Inspector, version 3, USER'S MANUAL*, 2012
- [19] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [20] HOWARD, Ian P. a Brian J. ROGERS. *Perceiving in depth*. New York: Oxford University Press, c2012. ISBN 978-0-19-976414-3.
- [21] KEATING, Michael P. *Geometric, physical, and visual optics*. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c2002. ISBN 978-0-7506-7262-7
- [12] JALIE, M. *The principles of ophthalmic lenses*. 4th ed. London: Association of Dispensing Opticians, 1984. ISBN 97809000992
- [23] SMITH, George a David ATCHISON. *Optics of the human eye*. Oxford [u.a.]: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 9780750637756.
- [24] BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. *Základy lékařské fyziky*. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-2645-1.
- [25] LONG, Bill. *Spectacle Magnification* [online]. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://www.drdrbill.com/downloads/optics/opth-optics/Spectacle_Magnification.pdf
- [26] ÉDES, Éva. *Anisometropie a aniseikonie jako příčina poruchy jednoduchého binokulárního vidění* [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/411224/lf_b/Bakalarska_prace.txt. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Mgr. Petr Veselý, DiS., Ph.D.
- [27] JACK J. KANSKI,..BRAD BOWLING, Jack J. Kanski,..Brad Bowling a ..Andrew Pearson WITH CONTRIBUTIONS FROM KEN NISCHAL. *Clinical ophthalmology a systematic approach*. 7th ed. Edinburgh: Butterworth Heinemann Elsevier, 2011. ISBN 9780702040955.
- [28] Pediatric Population: *Anisometropia Treatment Options* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <https://www.reviewofoptometry.com/article/pediatric-population-anisometropia-treatment-options>
- [29] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007, 768 s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [30] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|-------|--|
| OS | oko levé |
| OD | oko pravé |
| AI | Aniseikonia Inspector |
| RICE | velikost sítnicového obrazu korigovaného oka |
| RIVE | velikost sítnicového obrazu nekorigovaného oka |
| M_s | faktor tvaru |
| M_p | faktor síly |
| RSM | relativní brýlové zvětšení |
| PRK | fotorefraktivní keratometrie |
| LASEK | Laser-assisted subepithelial keratectomy |
| LASIK | Laser in situ keratomileusis |
| ANOVA | Analýza rozptylu |

Seznam obrázků a grafů

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Celková symetrická anizeikonie [12]..... | 5 |
| Obrázek 2: Meridionální anizeikonie - horizontální a vertikální [12]..... | 5 |
| Obrázek 3: Meridionální anizeikonie - šikmá [12]..... | 5 |
| Obrázek 4: Asymetrická anizeikonie [12] | 6 |
| Obrázek 5: Polštářovité zkreslení [12] | 6 |
| Obrázek 6: Sudovité zkreslení [12] | 6 |
| Obrázek 7: Turvillův test [1] | 9 |
| Obrázek 8: Hlavní nabídka softwaru AI [18] | 11 |
| Obrázek 9: Přítomnost fixační disparity. Pohled přes červeno-zelený filtr [18] | 11 |
| Obrázek 10: Testování pomocí AI [18] | 13 |
| Obrázek 11: Souhrnná tabulka měření | 13 |
| Obrázek 12: Anizeikonická elipsa [2] | 14 |
| Obrázek 13: Schéma afokální, fokální a složené tlusté čočky [12]..... | 19 |
| Obrázek 14: Obrázek k určení úhlového zvětšení afokální komponenty [12] | 20 |
| Obrázek 15: Obrázek k určení úhlového zvětšení lámavé komponenty [12]..... | 22 |
| Obrázek 16: Sada anizeikonických čoček se zvětšení 1-7% [18] | 27 |
| Obrázek 17: Procentuální zastoupení mužů a žen | 30 |
| Obrázek 18: Souhrnná tabulka naměřených hodnot anizeikonie bez předsazené anizeikonické čočky..... | 33 |
| Obrázek 19: Průměrná hodnota anizeikonie naměřených ve čtyřech směrech pomocí AI bez předsazené anizeikonické čočky..... | 34 |
| Obrázek 20: Graf průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 3x | 35 |
| Obrázek 21: Graf průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 8x | 36 |
| Obrázek 22: Graf průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 10x | 37 |
| Obrázek 23: Porovnání průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 3x naměřené pomocí AI a polarizační metody | 41 |
| Obrázek 24: Porovnání průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 8x naměřené pomocí polarizační metody a Brecherova testu | 41 |
| Obrázek 25: Porovnání průměrných hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou 10x naměřené pomocí Brecherova testu a AI | 42 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie pro zvětšení 3x | 34 |
| Tabulka 2: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie pro zvětšení 8x | 35 |
| Tabulka 3: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie pro zvětšení 10x | 36 |
| Tabulka 4: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie se zvětšením 3x pro jednofaktorovou ANOVU | 37 |
| Tabulka 5: Výsledky jednofaktorové ANOVY pro zvětšení 3x | 38 |
| Tabulka 6: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie se zvětšením 8x pro jednofaktorovou ANOVU | 38 |
| Tabulka 7: Výsledky jednofaktorové ANOVY pro zvětšení 8x | 39 |
| Tabulka 8: Charakteristika naměřených hodnot anizeikonie se zvětšením 10x pro jednofaktorovou ANOVU | 39 |
| Tabulka 9: Výsledky jednofaktorové ANOVY pro zvětšení 10x | 40 |
| Tabulka 10: Přehled výsledků nulových hypotéz..... | 40 |
| Tabulka 11: Přehled výsledků alternativních hypotéz..... | 42 |

Seznam příloh

Příloha 1: Naměřená hodnota anizeikonie v % bez předložené anizeikonické čočky ve čtyřech směrech

| Číslo klienta | Horizontální | Vertikální | Diagonální1 | Diagonální2 |
|---------------|--------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 5 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 7 | 3 | 4 | 11 | 1 |
| 8 | 1 | 6 | 6 | 0 |
| 9 | 0 | 1 | 3 | 0 |
| 10 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 11 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 12 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| 14 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| 15 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| 16 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 17 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | |
|-----------|---|---|---|---|
| 19 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 21 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| 23 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 25 | 2 | 2 | 3 | 0 |
| 26 | 2 | 0 | 3 | 2 |
| 27 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 28 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 29 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 31 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 32 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 33 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 34 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 35 | 0 | 4 | 5 | 5 |
| 36 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 37 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 38 | 0 | 2 | 1 | 3 |
| 39 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 40 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|-----------|---|---|---|---|
| 41 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 42 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 44 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 45 | 0 | 0 | 5 | 4 |
| 46 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 47 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| 48 | 0 | 0 | 4 | 2 |
| 49 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Příloha 2: Naměřená hodnota anizeikonie v % s anizeikonickou čočkou 3x

| Číslo klienta | Aniseikonía Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
|----------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | 1 | 5 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | 5 | 0 | 3 |
| 7 | 4 | 0 | 3 |
| 8 | 1 | 0 | 3 |
| 9 | 2 | 0 | 3 |

| | | | |
|-----------|---|---|---|
| 10 | 1 | 0 | 3 |
| 11 | 1 | 0 | 0 |
| 12 | 2 | 3 | 0 |
| 13 | 1 | 6 | 0 |
| 14 | 2 | 0 | 3 |
| 15 | 3 | 0 | 3 |
| 16 | 5 | 3 | 3 |
| 17 | 4 | 0 | 3 |
| 18 | 2 | 8 | 3 |
| 19 | 2 | 0 | 3 |
| 20 | 1 | 3 | 3 |
| 21 | 3 | 3 | 3 |
| 22 | 0 | 0 | 3 |
| 23 | 1 | 0 | 3 |
| 24 | 4 | 0 | 3 |
| 25 | 4 | 0 | 3 |
| 26 | 1 | 0 | 3 |
| 27 | 2 | 0 | 3 |
| 28 | 3 | 3 | 3 |
| 29 | 4 | 0 | 3 |
| 30 | 3 | 0 | 3 |
| 31 | 0 | 3 | 3 |

| | | | |
|-----------|---|---|---|
| 32 | 2 | 0 | 3 |
| 33 | 4 | 0 | 3 |
| 34 | 2 | 6 | 4 |
| 35 | 1 | 0 | 3 |
| 36 | 1 | 3 | 0 |
| 37 | 2 | 3 | 0 |
| 38 | 2 | 3 | 3 |
| 39 | 1 | 0 | 3 |
| 40 | 4 | 0 | 5 |
| 41 | 3 | 3 | 3 |
| 42 | 4 | 5 | 3 |
| 43 | 2 | 0 | 0 |
| 44 | 2 | 0 | 0 |
| 45 | 1 | 0 | 3 |
| 46 | 2 | 3 | 3 |
| 47 | 2 | 3 | 0 |
| 48 | 1 | 0 | 0 |
| 49 | 3 | 3 | 0 |
| 50 | 1 | 3 | 3 |

Příloha 3: Naměřená hodnota anizeikonie v % s anizeikonickou čočkou 8x

| Číslo klienta | Aniseikonía Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
|---------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 7 | 10 | 3 |
| 2 | 5 | 8 | 8 |
| 3 | 6 | 8 | 8 |
| 4 | 2 | 8 | 8 |
| 5 | 7 | 8 | 8 |
| 6 | 5 | 0 | 8 |
| 7 | 11 | 8 | 8 |
| 8 | 1 | 0 | 3 |
| 9 | 7 | 8 | 8 |
| 10 | 5 | 10 | 8 |
| 11 | 8 | 0 | 10 |
| 12 | 4 | 8 | 8 |
| 13 | 7 | 8 | 8 |
| 14 | 9 | 8 | 8 |
| 15 | 6 | 8 | 8 |
| 16 | 7 | 10 | 8 |
| 17 | 6 | 10 | 8 |
| 18 | 6 | 13 | 8 |
| 19 | 6 | 10 | 8 |
| 20 | 0 | 8 | 8 |

| | | | |
|-----------|---|----|----|
| 21 | 8 | 8 | 8 |
| 22 | 6 | 8 | 8 |
| 23 | 6 | 10 | 8 |
| 24 | 7 | 8 | 8 |
| 25 | 6 | 8 | 8 |
| 26 | 6 | 8 | 8 |
| 27 | 6 | 0 | 8 |
| 28 | 8 | 8 | 8 |
| 29 | 7 | 10 | 10 |
| 30 | 6 | 10 | 8 |
| 31 | 5 | 8 | 8 |
| 32 | 7 | 8 | 8 |
| 33 | 7 | 8 | 8 |
| 34 | 7 | 10 | 9 |
| 35 | 7 | 8 | 9 |
| 36 | 2 | 8 | 8 |
| 37 | 4 | 10 | 0 |
| 38 | 6 | 8 | 8 |
| 39 | 1 | 8 | 8 |
| 40 | 0 | 10 | 8 |
| 41 | 0 | 8 | 8 |
| 42 | 0 | 10 | 8 |

| | | | |
|-----------|---|----|---|
| 43 | 0 | 8 | 8 |
| 44 | 0 | 8 | 8 |
| 45 | 0 | 8 | 8 |
| 46 | 0 | 10 | 8 |
| 47 | 0 | 8 | 8 |
| 48 | 0 | 8 | 8 |
| 49 | 0 | 8 | 8 |
| 50 | 0 | 10 | 8 |

Příloha 4: Naměřená hodnota anizeikonie v % s anizeikonickou čočkou 10x

| Číslo klienta | Aniseikonía Inspector | Brecherův test | Polarizační metoda |
|----------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 6 | 13 | 10 |
| 2 | 4 | 10 | 10 |
| 3 | 8 | 10 | 10 |
| 4 | 0 | 10 | 10 |
| 5 | 8 | 10 | 10 |
| 6 | 8 | 0 | 10 |
| 7 | 10 | 10 | 10 |
| 8 | 8 | 10 | 10 |
| 9 | 12 | 10 | 10 |

| | | | |
|-----------|----|----|----|
| 10 | 9 | 12 | 10 |
| 11 | 10 | 0 | 10 |
| 12 | 8 | 10 | 10 |
| 13 | 8 | 10 | 10 |
| 14 | 9 | 10 | 10 |
| 15 | 8 | 10 | 10 |
| 16 | 15 | 10 | 10 |
| 17 | 7 | 12 | 10 |
| 18 | 8 | 15 | 10 |
| 19 | 10 | 12 | 10 |
| 20 | 0 | 10 | 10 |
| 21 | 10 | 10 | 10 |
| 22 | 7 | 10 | 10 |
| 23 | 8 | 12 | 10 |
| 24 | 2 | 10 | 10 |
| 25 | 8 | 10 | 10 |
| 26 | 9 | 10 | 10 |
| 27 | 9 | 0 | 10 |
| 28 | 8 | 10 | 10 |
| 29 | 10 | 10 | 10 |
| 30 | 7 | 10 | 10 |
| 31 | 7 | 10 | 10 |

| | | | |
|-----------|----|----|----|
| 32 | 8 | 10 | 10 |
| 33 | 10 | 11 | 10 |
| 34 | 8 | 12 | 10 |
| 35 | 10 | 10 | 10 |
| 36 | 10 | 10 | 10 |
| 37 | 13 | 10 | 10 |
| 38 | 8 | 10 | 10 |
| 39 | 6 | 10 | 10 |
| 40 | 9 | 10 | 13 |
| 41 | 8 | 10 | 10 |
| 42 | 10 | 15 | 10 |
| 43 | 3 | 10 | 10 |
| 44 | 7 | 10 | 10 |
| 45 | 9 | 10 | 10 |
| 46 | 9 | 10 | 10 |
| 47 | 12 | 11 | 10 |
| 48 | 10 | 10 | 13 |
| 49 | 8 | 10 | 10 |
| 50 | 11 | 10 | 10 |