

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2020**

**ADÉLA  
KUBOŇOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů

**Vliv arteficiální anizeikonie na vidění**

**Influence of artificial aniseikonia on vision**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Adéla Kuboňová**

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Přemysl Kučera



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kuboňová** Jméno: **Adéla** Osobní číslo: **474341**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Optika a optometrie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv arteficiální anizeikonie na vidění**

Název bakalářské práce anglicky:

**Influence of artificial aniseikonia on vision**

Pokyny, pro vypracování:

Studentka zpracuje problematiku anizeikonie. V úvodní části popíše binokulární vidění, jeho stupně a případné poruchy binokulárního vidění. Dále se zaměří na anizeikonii, příčiny jejího vzniku, projevy a klasifikaci. V další části se studentka bude věnovat metodám zjištění anizeikonie, její kvantifikaci a řešení různými metodami. V praktické části studentka popíše zvolený postup a metodiku navození anizeikonie a statisticky zpracuje výsledky vlivu této anizeikonie na vidění probandů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] BENJAMIN, W. J., Borish's Clinical Refraction, ed. 2., Butterworth-Heinemann-Elsevier, 2006, 1694 s., ISBN 978-0-7506-7524-6
- [2] EVANS, B.J.W., Picwell's binocular vision anomalies, ed. 5., Elsevier, 2007, 454 s., ISBN 0-7506-8897-1
- [3] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Bc. Přemysl Kučera**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **10.02.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

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

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

## **Název bakalářské práce:** Vliv arteficiální anizeikonie na vidění

### **Abstrakt:**

Předmětem bakalářské práce s názvem „Vliv arteficiální anizeikonie na vidění“ je problematika anizeikonie. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou část. Úvodní kapitola teoretické části se věnuje definici binokulárního vidění, stupňům binokulárního vidění a také poruchám, kterými může být ovlivněno. Další kapitola je zaměřena na samotnou anizeikonii. Zejména se věnuje pozornost příčinám jejího vzniku, jejím projevům a jakým způsobem ji lze klasifikovat. Také jsou rozebrány možnosti řešení anizeikonie a jak spolu souvisí anizeikonie a anizometropie. Na závěr teoretické části popisují, jakými metodami lze zjišťovat přítomnost a velikost anizeikonie.

Praktická část se věnuje měření velikostní anizeikonie, která je simulována pomocí sady anizeikonických čoček se zvětšením 2%, 3%, a 7%. Zkoumá se, zda odpovídají naměřené hodnoty anizeikonie zvětšení předsazených anizeikonických čoček. Dále se věnuje pozornost, zda se naměřené hodnoty anizeikonie zvyšují se vzrůstajícím zvětšením anizeikonických čoček. Výsledky měření jsou podrobeny statistické analýze a následnému vyhodnocení, po kterém se ukazuje, že obě použité metody na měření podhodnocují hodnoty simulované anizeikonie.

### **Klíčová slova:**

Anizeikonie, eikonometr, izeikonické čočky, anizoforie

## **Title of bachelor thesis:** Influence of arteficial aniseikonia on vision

### **Abstract:**

The subject of the bachelor's thesis entitled "Influence of artificial aniseikonia on vision" is the issue of aniseikonia. The work is divided into two parts, theoretical and practical part. The introductory chapter of the theoretical part deals with the definition of binocular vision, the degrees of binocular vision and also the disorders that can be affected. The next chapter focuses on the aniseikonia itself. In particular, attention is paid to the causes of its origin, its manifestations and how it can be classified. The possibilities of solving aniseikonia and how aniseikonia and anisometropia are related are also discussed. At the end of the theoretical part I describe what methods can be used to determine the presence and size of aniseikonia.

The practical part is devoted to the measurement of size aniseikonia, which is simulated using a set of aniseiconic lenses with a magnification of 2%, 3%, and 7%. It is examined whether the measured values of aniseiconia correspond to the magnification of the suspended aniseiconic lenses. Furthermore, attention is paid to whether the measured values of aniseiconia increase with increasing magnification of aniseiconic lenses. The measurement results are subjected to statistical analysis and subsequent evaluation, after which it is shown that both methods used for measurement underestimate the values of simulated aniseikonia.

### **Key words:**

Aniseikonia, eikonometer, iseikonic lens, anisophoria

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala Bc. Přemyslu Kučerovi za vedení mé bakalářské práce a poskytnutí prostor na měření praktické části. Děkuji za ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi v průběhu psaní poskytl. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Jakubu Královi za poskytnutí prostor na měření praktické části.

## PROHLÁŠENÍ

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

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

V Kladně dne .....

.....

podpis

# Obsah

Úvod .....	1
1 Binokulární vidění.....	2
1.1 Stupně binokulárního vidění.....	2
1.2 Vývoj binokulárního vidění.....	3
1.3 Anomálie binokulárního vidění .....	3
1.3.1 Heteroforie a heterotropie.....	4
1.3.2 Amblyopie .....	5
2 Anizeikonie.....	7
2.1 Dělení anizeikonie.....	7
2.1.1 Fyziologická a nefyziologická anizeikonie .....	8
2.1.2 Statická a dynamická anizeikonie .....	8
2.1.3 Symetrická a nesymetrická anizeikonie .....	9
2.1.4 Optická anizeikonie.....	10
2.1.5 Retinální anizeikonie .....	11
2.1.6 Neurální anizeikonie .....	11
2.2 Příčiny vzniku anizeikonie .....	12
2.3 Anizometropie a anizeikonie .....	12
2.4 Knappův zákon .....	13
2.5 Projevy anizeikonie .....	14
2.6 Řešení anizeikonie.....	15
2.6.1 Penalizace .....	16
2.6.2 Anizodistanční brýle .....	16
2.6.3 Izeikonické čočky.....	17
2.6.4 Korekce kontaktními čočkami .....	18
2.6.5 Refrakční chirurgie.....	18
3 Metody a přístroje na měření anizeikonie .....	20
3.1 Testy na měření anizeikonie .....	20
3.1.1 Hákový test.....	20
3.1.2 Turvillův test.....	21
3.1.3 Brecherův test .....	22
3.2 Přístroje na měření anizeikonie.....	23
3.2.1 Maddoxův eikonometr .....	23
3.2.2 Brecherův anaglyfní eikonometr.....	24
3.2.3 Ames-Glydonův standardní eikonometr.....	25



3.2.4	Bleskový eikonometr.....	26
3.2.5	Ogle-Amesův space eikonometr .....	27
3.3	Moderní metody pro zjišťování anizeikonie.....	29
3.3.1	New Aniseikonia Test .....	29
3.3.2	Anisekonia Inspektor.....	30
4	Praktická část .....	33
4.1	Úvod praktické části.....	33
4.2	Měřené osoby a podmínky měření.....	33
4.3	Postup měření.....	34
4.3.1	Metoda statistické analýzy.....	36
4.4	Hypotézy.....	36
4.5	Výsledky .....	37
4.5.1	Výsledky měření naturální anizeikonie bez anizeikonických čoček.....	37
4.5.2	Výsledky měření anizeikonie s předsazenými anizeikonickými čočkami .....	39
4.5.3	Statistická analýza hypotéz.....	42
5	Diskuze .....	52
	Závěr.....	54
	Seznam použitých zdrojů.....	56
	Seznam zkratk .....	60
	Seznam obrázků .....	61
	Seznam tabulek .....	62
	Přílohy .....	63

## Úvod

Anizeikonie je anomálie binokulárního vidění, při které jsou vnímány rozdíly ve velikosti a tvaru obrazů obou očí. Oko vnímá velikost obrazu daného předmětu tak, že je předmět nejprve zobrazen pomocí optického systému na sítnici, kde sítnicové receptory nasnímají sítnicový obraz a cestou zrakových drah je tato informace dopravena do mozku, kde je následně zpracována. Pokud se vyskytne rozdíl mezi oběma očima v kterémkoli z těchto kroků zpracování obrazu, tak může vzniknout anizeikonie. Pro vznik jednoduchého binokulárního vjemu je zapotřebí, aby obrazy z obou očí byly co nejvíce podobné. Vlivem rozdílnosti obrazů může anizeikonie při vyšších hodnotách narušit binokulární vidění a může vést k diplopii a následně k supresi vjemu jednoho oka. Proto je třeba tyto obtíže řešit a korigovat anizeikonii.

V teoretické části bakalářské práce jsou rozvedeny informace pro pochopení problematiky týkající se anizeikonie. Úvodní část se zabývá binokulárním viděním a jeho stupni, kdy nejvyšším stupněm binokulárního vidění je stereopse. Drobné rozdíly ve velikosti obrazů jsou běžné a tvoří základ stereopse, kde nám poskytují informaci o umístění daného objekt ve vztahu k druhému.

Hlavní část teorie se zabývá samotnou problematikou anizeikonie, jak ji lze klasifikovat, příčinami jejího vzniku a jaké jsou možnosti jejího měření a následného řešení. Jednou z možností měření hodnoty anizeikonie jsou také New Aniseikonia Test a hákový test, které se využívají v následné praktické části bakalářské práce.

Cílem práce je ověřit, jaký vliv má arteficiální anizeikonie na vidění. Pacienti s anizeikonii se nevyskytují často a z toho důvodu je anizeikonie v praktické části simulována předsazením anizeikonických čoček s různými hodnotami zvětšení. Anizeikonické čočky jsou čočky, které mění velikost obrazu na sítnici, bez změny jeho pozice a díky tomu se také využívají na korekci a diagnostiku anizeikonie. Velikosti anizeikonie jsou v praktické části měřeny pomocí zmíněného New Aniseikonia Testu a hákového testu a následně jsou zaznamenány a statisticky vyhodnoceny.

# 1 Binokulární vidění

Binokulární vidění je senzomotorická činnost obou očí, při které se spojí vjem z pravého a levého oka za vzniku jednoduchého obrazu. Výsledný obraz je tvořen překrytím obrazů z obou očí (superpozice), jejich spojením (fúze), a pokud jsou splněny všechny podmínky, je završen prostorovým vjemem (stereopse). [1, 2]

Pro správný vývoj binokulárního vidění musí být splněny tyto podmínky:

- fyziologický vývoj oka a jeho okolí
- dvě zdravé oči a běžná vzdálenost mezi nimi
- normální nebo téměř normální vidění obou očí
- přibližně paralelní postavení očí při pohledu do dálky
- neporušená funkce centrálního nervového systému
- schopnost fúze
- přibližně stejná refrakce obou očí
- normální funkce zrakových drah a center
- přibližně stejné velikosti obrazů na sítnici pravého a levého oka
- normální rozsah zorných polí obou očí (temporálně 90 - 100 stupňů, nasálně nahoře 60 stupňů, dole 70 stupňů)
- správně fungující okoohybný aparát
- koordinace akomodace a konvergence
- centrální fixace obou očí
- normální retinální korespondence [3, 4, 5]

## 1.1 Stupně binokulárního vidění

Jednoduché binokulární vidění lze rozdělit do tří stupňů. Jako první stupeň označujeme superpozici nebo též simultánní vidění, což je schopnost vnímat současně sítnicemi obou očí. Další stupeň je fúze, při které dochází ke spojení obrazů z levého a pravého oka za vzniku jednoho obrazu. Jako nejvyšší stupeň binokulárního vidění se označuje stereopse. Tato schopnost vytvořit hloubkový vjem umožňuje trojrozměrné vnímání (vnímání hloubky obrazu, prostoru). Stereopse vzniká spojením lehce posunutých obrazů, neboť nedopadají na přesně odpovídající místa sítnice. [1, 6, 7]

## 1.2 Vývoj binokulárního vidění

Binokulární vidění není vrozená schopnost, ale postupně se vyvíjí. Dítě při narození má nejprve skotopické vidění, vnímá tvary a kontrast a je u něj přítomen pupilární reflex, ale nedokáže ještě fixovat a akomodovat. Do 2 měsíců se vyvíjí monokulární fixační reflex, kdy dítě fixuje převážně jedním okem. Ve 2. měsíci již začíná fixovat oběma očima (binokulární fixační reflex). Ve 3. měsíci se vyvíjí konvergence a divergence. Ve 4. měsíci začíná dítě akomodovat díky vývoji ciliárního svalu. Okolo 6. měsíce dochází k dokončení vývoje makulární oblasti. Dítě začíná fixovat centrálně a v této době se také začíná rozvíjet fúze (spojení obrazů obou očí v jeden smyslový vjem). V tomto věku je třeba se zaměřit na koordinaci okulomotoriky, neboť je to kritické období pro diagnostiku strabismu. Okolo 1. roku dítě začíná chodit a to přispívá k rozvoji binokularity, prostorového vidění a smyslu pro vzdálenost, velikost a polohu předmětu. Až do 6 let se binokulární vidění zdokonaluje a stabilizuje. Zasáhne-li do normálního vývoje nějaká porucha, může dojít ke vzniku šilhání, amblyopie nebo anomální retinální korespondence. [2, 6, 8]

## 1.3 Anomálie binokulárního vidění

Anomálie binokulárního vidění nastanou při problémech koordinace a spojení vjemů z levého a pravého oka. Správné fungování binokulárního vidění bez příznaků závisí na řadě faktorů, které lze rozdělit do tří širokých okruhů:

- 1) Anatomie zrakového aparátu.
- 2) Motorický systém, který koordinuje pohyby očí.
- 3) Senzorický systém, který přijímá a spojuje dva monokulární signály z obou očí.
  - Anatomie - abnormality v anatomii zrakového systému mohou být vývojové nebo získané. Vývojové abnormality se vyskytují například v embryonálním vývoji kostěné orbity, očních svalů nebo nervového systému.
  - Motorický systém - přestože je anatomie motorického systému normální, mohou se vyskytnout anomálie v jeho fungování a tím narušit binokulární vidění nebo ho dokonce poškodit. Příčinou těchto anomálií může být onemocnění nebo to mohou způsobit poruchy fyziologie motorického systému.
  - Senzorický systém - anomálie postihující senzorický systém mohou být způsobeny řadou faktorů. Mezi tyto faktory patří neostrý optický obraz v jednom

nebo obou očích, rozdílná velikost a tvar obrazu mezi pravým a levým okem (anizeikonie) nebo poruchy zrakové dráhy nebo mozkové kůry.

Pro přítomnost normálního binokulárního vidění je zapotřebí, aby byl anatomický, motorický a sensorický systém v pořádku. Při zvažování binokulárních obtíží konkrétního pacienta je tedy třeba prozkoumat všechny tyto tři oblasti. To určuje, zda vznikne fúze obrazů z obou očí za vzniku binokulárního obrazu a zda je dosaženo stereopse. [9]

Pokud se sítnicové obrazy liší, jako je tomu u anizeikonie, při korekci anizometropie, jednostranného onemocnění oka nebo amblyopie, může být obraz z jednoho oka potlačen. Pokud nejsou oči ve správném postavení, například díky nedostatečné konvergenci, dekompenzované forii nebo strabismu, může dojít dokonce k dvojitému vidění. Tento nepříjemný stav, při kterém pacient současně vidí dva obrazy jednoho předmětu najednou, může nastat, když obraz pozorovaného předmětu dopadne na foveu centralis neuchýleného oka a na periferii sítnice uchýleného oka. Mozek vyhodnocuje lokaci předmětu podle pozice obrazu umístěného blízko fovey. Pokud obraz dopadá přímo na foveu, předmět se nám jeví jako přímo před námi. Naopak obraz, který dopadá na sítnici na jiná místa než foveu, se jeví posunutý. Díky tomu mozek získává dva rozdílné obrazy jednoho daného předmětu, protože obraz sledovaného předmětu dráždí v každém oku jiné buňky sítnice. Mozek se většinou brání dvojitému vidění potlačením jednoho obrazu. [9, 10]

Lidé mají vizuální osy obou očí při pohledu na daleký bod téměř rovnoběžné. Pokud při zrušení fúze zůstává vzájemné postavení očí neměnné, jedná se o ortoforii. Změna vzájemného postavení očí při přerušení fúzních podnětů se nazývá heteroforie. Porucha vzájemné spolupráce očí (svalová nebo sensorická) se označuje heterotropie či též strabismus.

Jedním z oborů zabývajících se poruchami jednoduchého binokulárního vidění je ortoptika, která pomocí ortoptických cviků se snaží tyto poruchy napravit. [6, 7, 9, 11]

### 1.3.1 Heteroforie a heterotropie

Ortoforie je ideální stav, při kterém jsou okohybné svaly v dokonalé rovnováze, a bez jakéhokoli úsilí lze dosáhnout binokulárního vidění. Jakmile je zabráněno sensorické fúzi a zároveň zrakové osy zůstanou v paralelním postavení při pohledu do dálky, ortoforie. Fúzi lze zrušit například zakrytím jednoho oka, červenozeleným filtrem, polarizací světla nebo zkreslením obrazu jednoho oka. [9, 12]

Správné postavení očí zajišťují senzorické a motorické fúzní mechanismy. Pokud je přerušena senzorická fúze (např. okluzí jednoho oka, která se využívá zároveň u zakrývacího testu), bude motorická fúze frustrována a u mnoha pacientů dojde k odchylce zrakových os. Pokud motorický fúzní reflex eliminuje tuto odchylku, když je odstraněna překážka senzorické fúze, tak je odchylka latentní a nazývá se heteroforie. [9]

Druhý typ odchylky očí se nazývá heterotropie (strabismus, šilhání). Tato odchylka nastává, pokud se fúzní reflex nedokáže správně vyvinout nebo není schopen normálně fungovat a odchylka se projeví. Podle směru odchylky, které mohou nastat za následujících podmínek, rozlišujeme:

- stav, kdy se zrakové osy sbíhají, se nazývá esoforie/esotropie
- stav, kdy se zrakové osy rozcházejí, se nazývá exoforie/exotropie
- stav, kdy se jedna zraková osa stáčí vzhůru, se nazývá hyperforie/hypertropie
- stav, kdy se jedna zraková osa stáčí dolů, se nazývá hypoforie/hypertropie
- stav, kdy dochází k rotaci oka směrem ven je známa jako excykloforie/excyklotropie
- stav, kdy dochází k rotaci oka směrem dovnitř je známa jako incykloforie/incyklotropie [1, 9]

### 1.3.2 Amblyopie

Amblyopie (tupozrakost) je definovaná jako snížení zrakové ostrosti oka bez zřetelných organických příčin. Příčinou vzniku je přerušení vizuální stimulace, které nastává v kritickém období vývoje binokulárního vidění. Pokles vidění nelze vykorigovat optickou korekcí ani refrakční operací, při které lze odstranit pouze dioptrickou vadu nikoliv amblyopii.

Ve věku šesti až osmi let dítěte, kdy je ukončen vývoj zraku, je tupozrakost trvalá a nelze ji vyléčit. Doba potřebná pro vznik amblyopie je přibližně 6 až 8 týdnů a čím dříve vznikne, tím je postižení závažnější. Základní léčbou amblyopie je okluze, při které se zakryje lépe vidící oko, z důvodu zapojení oka tupozrakého. Výskyt v populaci dětí se pohybuje okolo 4 %. Amblyopie může postihovat jedno oko (jednostranná) nebo obě oči (oboustranná) a příčiny mohou být vrozené nebo získané. Podle příčiny se rozděluje na následující typy:

- Strabická amblyopie - je nejčastější formou amblyopie, která postihuje jedno oko. Tato amblyopie vzniká aktivním útlumem vjemů oka postiženého strabismem.

- Anizometropická amblyopie - vzniká vlivem rozdílu dioptrií mezi pravým a levým okem, při kterém selhává fúze. Tato amblyopie je jednostranná.
- Meridionální amblyopie - se objevuje při velkém vrozeném astigmatismu.
- Ametropická amblyopie - se vyskytuje při vysoké refrakční vadě, zejména u hypermetropie. Může být přítomna na jednom nebo obou očích.
- Kongenitální amblyopie - nastává při chybění stálé centrální fixace a vyskytuje se již od narození. Tato amblyopie se vyskytuje u nystagmu, achromatopsie a u albinismu.
- Amblyopie ex anopsia - vzniká zamezením vstupu vizuálních podnětů do oka. Tento stav se může dostavit při zkalení optického prostředí oka, jako je tomu u katarakty, zákalů rohovky nebo sklivce a u krvácení do sklivce. Patří sem i například tzv. okluzní amblyopie vznikající při dlouhodobém obvodu jednoho oka. [1, 6, 12, 13]

## 2 Anizeikonie

Termín anizeikonie poprvé použil v roce 1932 W.B.Lancaster. Anizeikonie je anomálie binokulárního vidění, při které se obraz pozorovaného předmětu pravého a levého oka zobrazí s nesejnou velikostí nebo tvarem. Množství anizeikonie se stanovuje prostřednictvím procentního rozdílu ve vnímání velikosti obrazu mezi pravým a levým okem. [14, 15]

Anizeikonie se vztahuje na rozdíl ve velikosti kortikálního obrazu obou očí. Je třeba rozlišovat mezi velikostí sítnicového (dioptrického) obrazu a velikostí kortikálního obrazu. Velikost sítnicového obrazu závisí na refrakci oka (dioptrická anizeikonie) a na hodnotě brýlové čočky, jejím sklonu a poloze (brýlová anizeikonie). Pokud jsou velikosti sítnicových obrazů stejné, ale pokrývají různý počet sítnicových receptorů v každém oku, pak velikost obrazů, které jsou následně zpracovávány mozkem, velikost kortikálního obrazu, se bude lišit. [1, 14]

Při izeikonii jsou obrazy vnímány stejně veliké. Drobné rozdíly ve velikosti obrazu jsou relativně běžné a většinou jsou bez příznaků. Teprve rozdíl velikosti obrazu okolo 1-2 % již může některým pacientům činit obtíže. Při rozdílu obrazu nad 5% je většinou znemožněno binokulární vidění a jsou často přítomné příznaky například bolest hlavy, zkreslení pohledu, nepohodlí až diplopie. [7, 14, 16, 17, 18]

### 2.1 Dělení anizeikonie

Oko vnímá velikost obrazu daného předmětu tak, že nejprve je předmět zobrazen pomocí optického systému s určitým optickým zvětšením na sítnici. Receptory sítnice následně vzorkují sítnicový obraz do „pixelů“. Nakonec je tato informace zpracována mozkem. [25]

Pokud by se vyskytl rozdíl mezi oběma očima v kterémkoli z těchto kroků zpracování obrazu, tak může vzniknout anizeikonie. Podle toho, v kterém kroku anizeikonie vznikne, rozlišujeme anizeikonii optickou, retinální či neurální. Optický systém se v mnoha případech dokáže přizpůsobit těmto rozdílům a tolerovat je nebo potlačí vjemy jednoho oka. V přítomnosti suprese, nelze využít žádné metody na odhalení anizeikonie, dokud není suprese vyléčena. [11, 25]



### 2.1.1 Fyziologická a nefyziologická anizeikonie

Fyziologická anizeikonie nastává při asymetrické konvergenci. Pokud je pozorovaný objekt přibližován k očím, jeho obraz se zvětšuje. To znamená, že pokud se objekt nachází ve středové linii tak, že oči na něj konvergují symetricky, je zvětšení obrazu na obou očích stejné. Pokud je však objekt přesunut blíže k jednomu oku, že zjevně není stejně blízko pro každé oko, tak sítnicový obraz v tomto oku je větší, neboť na temporální straně sítnice jsou světločivé elementy rozloženy hustěji. V tomto případě lidé většinou nemají problémy s anizeikonií, která může dosahovat 5-10% a více, díky tomu, že oči jsou schopné to kompenzovat. Tyto rozdíly v obrazu tvoří základ stereopse a poskytují informace, kde se daný objekt nachází ve vztahu k druhému. [11, 12, 19, 20]

Nefyziologická anizeikonie je způsobena korekcí anizometropie, změnami na sítnici, vyvolané patologickými vlivy nebo traumatem, a doprovázejí ji symptomy. [21]

### 2.1.2 Statická a dynamická anizeikonie

Anizeikonie doprovází anizometropickou korekci a je způsobena rozdílem ve zvětšení brýlových čoček při korekci anizometropie. Lze ji rozdělit na dva typy, které jsou rozdílné, ale přesto spolu souvisí. Tyto typy se nazývají statická a dynamická anizeikonie. Statická anizeikonie udává skutečný rozdíl ve velikosti obrazu mezi pravým a levým okem při statickém pohledu určitým směrem. Obvykle 1 D anizometropie způsobuje mezi 1% až 1,5% anizeikonií. Rozdíl v korekci do 2 D, při kterých vznikne zhruba 5% anizeikonie, je obvykle bez potíží, je to ale velmi individuální. Například děti dokážou snést rozdíl až 10 D. [4, 11, 17]



Obrázek 1A - Statická anizeikonie [22]



Obrázek 1B - Dynamická anizeikonie [22]

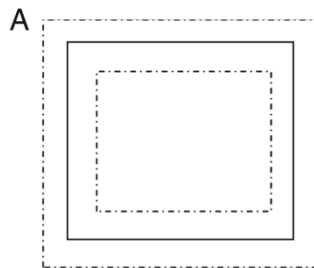
Dynamická anizeikonie se někdy též označuje jako opticky indukovaná anizoforie. Anizoforie vzniká při korekci anizometropie brýlovými čočkami. Množství dynamické anizeikonie se stanoví velikostí rozdílů indukované forie, ke které dochází v různých směrech pohledu, když se pacient nedívá přes optické středy brýlových čoček. Oči jsou nucené k rozdílné rotaci, aby obě hleděly na stejný bod v prostoru a zachovaly fúzi. To je zvláště obtížné při rotaci ve vertikálním směru. Neustálé změny fúznívergence mohou vést například k bolesti hlavy, diplopii a nauzei. Pacient často kompenzuje tyto obtíže pootočením hlavy tak, aby fixoval přes středy brýlových čoček. [1, 17, 23, 24, 25]

Anizometropická brýlová korekce společně s prizmatickou jsou pravděpodobně zodpovědný za nejvíce problémů s binokulárním viděním vyvolaných brýlovou korekcí. [16]

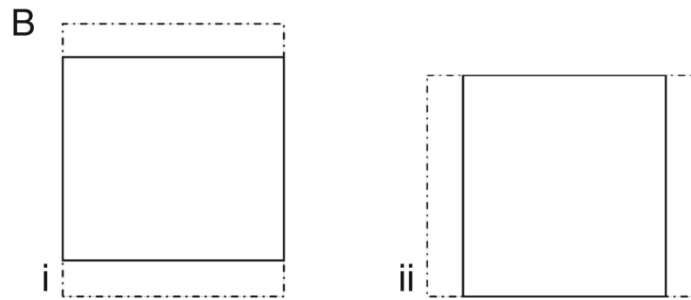
### 2.1.3 Symetrická a nesymetrická anizeikonie

Symetrická anizeikonie se může vyskytovat ve dvou formách: celkové nebo meridionální. Při celkové anizeikonii se velikost obrazu zvětšuje nebo zmenšuje ve všech meridiánech stejně a je obvykle způsobena sférickou anizometrií. Meridionální anizeikonie nastává, pokud je velikost obrazu ovlivněna pouze v jednom meridiánu. Tato forma je zpravidla způsobena astigmatickou anizometrií. Podle meridiánu, ve kterém dochází ke změně obrazu, se následně rozlišují:

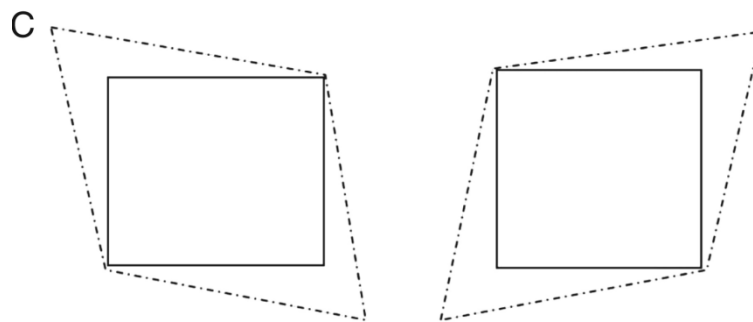
- vertikální anizeikonie - změna obrazu ve vertikálním směru
- horizontální anizeikonie - změna obrazu v horizontálním směru
- šikmá anizeikonie - změna obrazu v šikmém směru při kombinaci horizontální a vertikální anizeikonie



**Obrázek 2A** - Celková symetrická anizeikonie [15]



**Obrázek 2B** - Meridionální anizeikonie - horizontální a vertikální [15]



**Obrázek 2C** - Meridionální anizeikonie [15]

Při asymetrické anizeikonii dochází k zvětšování či zmenšování obrazu v jednom směru, což je většinou zapříčiněno plochým prizmatem. Podle tvaru se rozlišuje zkreslení obrazu sudovité či poduškové. [15, 16, 20]

#### 2.1.4 Optická anizeikonie

Příčinou optické anizeikonie je rozdíl refrakčních složek mezi oběma očima a obvykle je spojována s anizometrií, zejména při brýlové korekci. Anizeikonie v důsledku optických rozdílů mezi očima se vyskytuje u 1 až 3,5% populace a může bránit kvalitě binokulárního vidění. Mezi možné důvody vzniku patří šikmý astigmatismus, afakie, pseudofakie a refrakční operace rohovky. [26, 27]

Od nástupu nitroočních čoček je dnes jednostranná afakie méně obvyklá, ale přesto je to možná nejdramatičtější forma anizometropie, se kterou se lze v praxi setkat. Použití korekce brýlovými čočkami po odstranění oční čočky, která byla kvůli kataraktě vyjmuta z jednoho oka, může vytvořit zvětšení retinálního obrazu asi o 30 %. Pokud je pacient s jednostrannou afakií a dobrou zrakovou ostroť na obou očích, korigován brýlemi, zpravidla se u něj objeví obtíže, které znemožní nošení korekce. Kromě přítomné opticky indukované anizoforie, která

doprovází anizometropickou brýlovou korekci, čelí klient i anizeikonii, jejíž velikost činí zhruba 30 %, která znemožňuje zřúzovat obrazy kdekoli v zorném poli, kromě velmi malé oblasti v okolí foveol. [14]

### **2.1.5 Retinální anizeikonie**

Možným zdrojem anizeikonie je relativní distribuce sítnicových receptorů. Větší délka oka u střední nebo vysoké myopie může mít za následek větší rozestup mezi receptory nebo naopak u krátkého hypermetropického oka menší rozestup. Při větším rozestupu receptorů je vnímaný obraz menší, protože je stimulován menší počet sítnicových receptorů. Z toho vyplývá, že větší obraz při nekorigované anizeikonii, menší obraz u korigované anizeikonii, patří oku více myopickému nebo méně hypermetropickému. [12, 20, 28]

Retinální anizeikonie byla také zaznamenána u různých patologických stavů, jako je například epiretinální membrána, věkem podmíněná makulární degenerace, odchlípení sítnice, makulární edém a řady dalších. Vnímaný rozdíl velikosti obrazu v takových případech může být značný, někdy dokonce větší než 10 %. [26, 27]

### **2.1.6 Neurální anizeikonie**

Neurální anizeikonie vychází z kortikálního nervového zpracování vstupních obrazů z obou očí, které slouží ke snížení rozdílů ve velikosti obrazu z jiných příčin, jako je například optická anizeikonie. Neurální anizeikonie je tedy potenciální adaptivní proces, který umožňuje tolerovat malá množství anizeikonie bez škodlivých účinků na binokulární vidění. [15]

Například objektivně měřený rozdíl velikosti sítnicových obrazů, který může nastat díky axiální anizotropii, nemusí vést k vnímanému rozdílu ve velikosti obrazu. Předpokládá se, že v tomto případě je účinek ve velikost obrazu zrušen opačnou neurální anizeikonii. [24]

Náhla absence dlouhodobé anizotropie díky refrakční chirurgii, nejčastěji LASIK nebo odstraněním katarakty, může způsobit manifestaci neurální anizeikonie. V tomto případě již od dětství dobře přizpůsobený anizotrop, který měl optickou anizeikonii korigovanou neurálně ve zrakové kůře, se nemůže přizpůsobit optické izotropii. [29]

Operace katarakty zůstává pravděpodobně nejčastější příčinou akutní anizeikonie. Pokud má pacient s významnou ametropií velmi asymetrické katarakty, existuje nebezpečí, že extrakce katarakty vytvoří významnou anizometrii a anizeikonii. S ohledem na tuto skutečnost mnoho chirurgů při operaci šedého zákalu vytvoří maximálně 2D pooperační anizometrii, i když to znamená, že emetropická korekce IOL po odstranění druhé katarakty a po implantaci druhé nitrooční čočky není možná. [29]

## 2.2 Příčiny vzniku anizeikonie

Anizeikonie může být způsobena optickými či neoptickými příčinami. Optické příčiny způsobují, že se zobrazí na sítnici pravého a levého oka obrazy s rozdílnou velikostí. Optické příčiny můžeme ještě dále dělit na přirozené a uměle způsobené. Mezi přirozené příčiny se řadí rozdíly v optické soustavě pravého a levého oka a také nesouměrná konvergence, naproti tomu k uměle způsobeným patří korekce anizometrie brýlovými čočkami a stav po chirurgickém zákroku, při kterém z jednoho oka byla odstraněna čočka (jednostranná afakie). [30]

Při neoptických příčinách jsou promítané obrazy na sítnici obou očí stejné velikosti, ale subjektivně se jejich velikost jeví rozdílná. K těmto příčinám patří různé činitele v zrakových korových centrech a anomálie v uspořádání sítnicových elementů (čípků). Nerovnoměrné rozložení čípků se vyskytuje i u zdravého oka, kde je v temporální části sítnice větší hustota čípků než v části nasální. Také působení miotik nebo mydriatik může zapříčinit anizeikonii, kdy dochází jejich vlivem k navození makropsie (pozorovaný předmět vnímán větší, než je ve skutečnosti) či mikropsie (pozorovaný předmět vnímán menší, než je ve skutečnosti). [30]

## 2.3 Anizometrie a anizeikonie

Anizeikonie je spojována s anizometrií, díky tomu, že brýlová korekce anizometrie může způsobit anizeikonii. Anizometrie ovlivňuje fyzickou velikost obrazu promítaného na sítnici před jeho vizuálním zpracováním sítnicí nebo mozkem. [15]

Anizometrie je rozdíl ve velikosti refrakční vady mezi pravým a levým okem, který se vyskytuje v jednom nebo obou hlavních meridiánech a díky tomu může narušovat binokulární vidění. Za klinicky významnou anizometrii se považuje cylindrický nebo sférický rozdíl 1D

mezi pravým a levým okem. Mezi příčiny vzniku anizometropie patří například rozdílný vývoj refrakční vady, chirurgický zákrok (afakie, pseudoafakie) nebo úraz. [11, 16, 17, 18]

Při předepisování brýlové korekce anizometropie je třeba vzít v úvahu dva problémy, které by mohly nastat. Prvním problémem je možnost navození anizeikonie. Různé velikosti obrazu způsobené korekcí mohou vyvolat příznaky a ovlivnit senzoricou fúzi. Ačkoli se anizeikonie v klinické praxi může vyskytnout, postihuje pouze malé procento pacientů s anizometropií. [11, 17]

Druhý problém, který nastává při anizometropické brýlové korekce je dynamická anizeikonie, která vzniká vlivem prizmatického rozdílu, když se pacient nedívá optickými středy čoček. Zejména velké potíže nastávají, pokud se pacient dívá nad nebo pod optickými středy čočky, protože prizmatická tolerance ve vertikálním směru je mnohem menší než v horizontálním. U některých pacientů může dojít k narušení stereopse již při prizmatickém účinku  $0,5\Delta$ . Čím vyšší je rozdíl anizometropie, tím větší jsou prizmatické rozdíly. Tento problém postihuje všechny pacienty s anizometropií korigované brýlovou korekcí. V důsledku toho je lepší variantou korekce anizometropie pomocí kontaktních čoček. [11, 17]

Anizometropie se rozděluje na refrakční a axiální. V refrakční anizometrii se liší optické síly očních refrakčních složek (zakřivení rohovky, síla nebo poloha čočky) mezi očima, ale axiální délky očí jsou stejné. Naproti tomu u axiální anizometropie celkové refrakční síly jsou shodné, ale liší se axiální délky. Při korekci této refrakční vady brýlovými čočkami často vzniká anizeikonie. Obecně se předpokládá, že pokud je anizometropie větší jak 2 D, jedná se pravděpodobně o axiální anizometrii a menší množství bude anizometropie refrakční. [15, 16]

Ve skutečnosti většina anizometropických pacientů má obě tyto varianty a jen vzácně se u nich vyskytuje čistě jen axiální nebo refrakční anizometropie. [15]

## 2.4 Knappův zákon

Knappův zákon je pravidlem, podle kterého se často řídí předepisování refrakční korekce, aby se minimalizovala opticky indukovaná anizeikonie u pacientů s anizometropií. Knapp popsal dva typy anizometropie: refrakční, která je způsobena rozdílnou lomivostí optických prostředí oka (zejména čočky a rohovky) a axiální, která je způsobena rozdílnou délkou oka. [15, 16]

Zákon se vztahuje pouze na axiální ametropii, u které korekce tenkou čočkou umístěnou v předním ohnisku oka umožňuje vytvořit sítnicový obraz o stejné velikosti, jako je u standardního emetropického oka. [15]

Knappův zákon předpovídá, že rozdíly ve velikosti sítnicových obrazů v případě refrakční ametropie budou sníženy pomocí korekce kontaktními čočkami a naopak v případě axiální ametropie pomocí korekce brýlovými čočkami. U pacientů s refrakční anizometrií indukuje korekce brýlovými čočkami nestejnou velikost sítnicových obrazů. [16]

Praktická použitelnost Knappova zákona byla zpochybněna a zjistilo se, že kontaktní čočky jsou účinné při řešení refrakčních i axiálních případech. V praxi se anizometrie málokdy vyskytuje pouze čistě axiální nebo refrakční a Knappův zákon nezohledňuje kombinované účinky těchto dvou složek a stejně tak nezohledňuje retinální a neurální anizeikonii. [15, 29]

Existuje mnoho pacientů s axiální anizometrií, kteří nemohou pohodlně nosit brýlovou korekci, což naznačuje, že Knappův zákon neplatí ve všech případech. Konečná velikost očního obrazu závisí nejen na velikosti sítnicového obrazu tvořeného dioptrickými systémy oka, ale také distribucí sítnicových receptorů a fyziologických a kortikálních procesech zapojených do vidění. [17]

## 2.5 Projevy anizeikonie

Anizeikonie je příčinou řady subjektivních obtíží. Největším problémem je porucha binokulárního vidění a to zejména prostorového vidění. To se může projevit například při pohledu přes anizometropickou brýlovou korekci, kdy se podlaha nebo jiné vodorovné objekty mohou jevit nakloněné. [11, 12]

Příznaky, které zažívá pacient, jsou důležité při diagnostice anizeikonie. Tyto příznaky jsou podobné příznakům pacientů s heteroforií a nekorigovanou ametropií. Obtíže způsobené anizeikonií lze očekávat u pacientů, kteří si i přes vykorigovanou ametropii a heteroforii stěžují na nepohodlí, nedokonalou zrakovou ostrost a astenopické potíže. [12]

Na základě studie 500 pacientů podezřelých na anizeikonii, kterou provedli Bannon a Triller, patří mezi charakteristické příznaky anizeikonie následující:

Astenopie 67 %  
Bolesti hlavy 67 %  
Fotofobie 27 %  
Obtížnost čtení 23 %  
Nevolnost 15 %  
Obtížnost motility (diplopie) 11 %  
Nervozita 11 %  
Závratě 7 %  
Obecná únava 7 %  
Zkreslení prostoru 6 % [17, 25]

Při větším rozdílu obrazu je většinou znemožněno binokulární vidění a jsou často přítomné příznaky například bolest hlavy, zkreslení pohledu, nepohodlí až diplopie. [18]

## 2.6 Řešení anizeikonie

Anizeikonii lze řešit různými refrakčními korekčními možnostmi, které mají společnou snahu zmenšit rozdíly ve velikosti sítnicových a/ nebo kortikálních obrazech mezi očima a díky tomu dosáhnout optimálního binokulárního vidění a odstranění ostatních obtíží. Pro vhodné zvolení korekce anizeikonie je třeba zvážit řadu faktorů, jako je subjektivní velikost anizeikonie, její příčina, aktuální refrakční korekce a schopnost nosit kontaktní čočky. [15]

Hodnoty anizeikonie určují, o kolik je třeba obraz jednoho oka zvětšit nebo zmenšit, aby anizeikonie byla vyrušena. Například pokud je zjištěna 5% anizeikonie s tím, že obraz pravého oka je vnímán o 5 % větší než obraz oka levého, tak výsledná korekce se bude snažit zmenšit obraz pravého oka o 5 % nebo zvětšit o 5 % obraz levého oka nebo kombinace obou variant. Větší obraz při nekorigované anizeikonii, menší obraz u korigované anizeikonii, patří oku více myopickému nebo méně hypermetropickému. [12, 31]

Redukce anizeikonie lze dosáhnout pomocí následujících řešení, z nichž každé má své výhody a nevýhody. Nejlepší řešení se bude lišit od pacienta k pacientovi a může být kombinací různých řešení. [25]



### 2.6.1 Penalizace

Penalizace je zhoršení vidění jednoho oka a může mít krátkodobé, střednědobé až dlouhodobé využití. Řešit anizeikonie pomocí penalizace lze různými metodami, mezi které patří podkorigování či překorigování jednoho oka, výjimečně využití opakního skla nebo okluze, kdy je zcela zabráněno ve vidění vedoucího oka. Při podkorigování či překorigování se před jedno oko předloží čočka, které rozostří vidění. Zjišťujeme, zda má pacient snížené příznaky. Pokud ano, lze předepsat korekci s danou penalizací na jednom oku do brýlí. Pokud příznaky přetrvávají, lze využít dalších možností penalizace, jako je například opakní sklo či okluze. [17, 32]

Při optické penalizaci se využívají brýlová skla či cykloplegika k optickému znevýhodnění lepšího oka. Optickou penalizaci navrhl poprvé v roce 1958 Pfandl a v současnosti se často využívá při léčbě amblyopie, kdy se využívá samostatně nebo v kombinaci s dalšími pleoptickými metodami. [4]

### 2.6.2 Anizodistanční brýle

Anizodistanční úprava brýlí se používá ke korekci nižší anizeikonie. Abychom dosáhli změny velikosti sítnicových obrazů, musíme změnit zvětšení čočky. Toho lze dosáhnout pomocí úpravy vzdálenosti zadní plochy brýlové čočky od vrcholu rohovky. Při změně vzdálenosti spojné čočky dále od oka je známo, že sítnicový obraz se zvětšuje a naproti tomu při vzdalování rozptylné čočky se sítnicový obraz zmenšuje. [33]

Při anizodistanční úpravě dochází k zhoršení estetického vzhledu brýlí, pacient si dále může stěžovat na vyšší hmotnost obruby či na zúžené zorné pole. [34]

Možnosti posunutí brýlových čoček:

- deformace nosníku – provádí se u plastových obrub
- zdvojení očnic – musí se vyrobit identická očnice, která se připevní k základní očnici již se vsazenými brýlovými čočkami
- distanční kroužek – vybavený drážkou pro korekční čočku. Kroužek je zasazen do brýlové obruby tak, aby drážka byla umístěna před nebo za původní rovinu korekční čočky.
- posunutí břitu fazety – možné u čoček s velkou okrajovou tloušťkou (zejména rozptylky). [34]

### 2.6.3 Izeikonické čočky

Izeikonické čočky se používají pro diagnostiku a korekci anizeikonie. Jejich účelem je změnit velikost obrazu na sítnici, bez změny jeho pozice. Izeikonické čočky se dají dělit na dva typy: afokální čočky, které nemají korekční účinek a čočky, které mají korekční efekt vlivem nenulové optické mohutnosti. [21, 35]

Afokální izeikonické čočky způsobují zvětšení bez výrazné změny refrakce a díky tomu jsou také často nazývány *size lens* čočky. Tento efekt je možný díky rovnoběžnému posunutí světelných paprsků. Příčinou tohoto posunutí je, že izeikonické čočky fungují na principu planparalelní destičky, což je průhledná deska, která je omezená dvěma rovnoběžnými stěnami. Tato deska neodchyluje světelný paprsek od původního směru, ale pouze ho rovnoběžně posouvá. [12, 36]

Korekce pomocí izeikonických čoček odstraní veškeré obtíže spojené s anizeikoníí až u 50-60 % pacientů a u 10-15 % pacientů dochází alespoň k částečné redukci anizeikonických problémů. [12]

V případě afokálních čoček lze ještě rozlišovat další dva typy. Jedním z nich jsou čočky způsobující stejné zvětšení ve všech směrech. Tyto čočky mají tvar menisku a působí jako Galileiho dalekohled. Obraz pozorovaného předmětu ležícího v nekonečnu, se také zobrazí v nekonečnu. Afokální izeikonické čočky mění pohledový úhel obrazu, aby docílily změny množství úhlového zvětšení pozorovaného objektu. Dalším typem afokálních čoček jsou čočky, které v každém směru mají jiné zvětšení. [28, 36]



**Obrázek 3** - Sada izeikonických čoček [37]

Číslové označení izeikonických čoček vyjadřuje zvětšení velikosti obrazu v % (celkové nebo meridionální). [28]

## 2.6.4 Korekce kontaktními čočkami

Kontaktní čočky se mohou použít u určitých podtypů anizeikonie, zejména u stavů, kdy je rozdílná velikost obrazů vyvolaná rozdílem v předním zakřivení rohovky (refrakční ametropie). [38]

Díky korekci kontaktními čočkami je plně eliminována jakákoli opticky indukovaná anizoforie (dynamická anizeikonie). Poloha kontaktní čočky je přímo na rohovce, kde následuje pohyby oka a nevyvolává žádné prizmatické efekty při rotaci oka. Díky tomu umožňuje optimální vidění a je méně narušena binokulární spolupráce obou očí. [3, 25]

Mezi další výhody korekce kontaktními čočkami patří široké zorné pole, neboť pacient vidí ve všech směrech pohledu ostře a nepřekáží mu brýlová obruba, jako je tomu u brýlové korekce. Dále oproti brýlové korekci jsou kontaktní čočky z estetického hlediska velmi přijatelné, nevyvolávají chromatické aberace a pacient také nemusí snášet těžké brýlové čočky. [16, 25]

Korekci kontaktními čočkami nelze doporučit pro každého pacienta. Mezi kontraindikace nošení kontaktních čoček patří:

- patologie předního segmentu oka
- necitlivost rohovky
- uzávěry slzných cest
- syndrom suchého oka
- dekompenzovaný glaukom
- anomálie víčkové štěrbin
- infekce oka
- pacient s omezenou pohyblivostí rukou
- choroby vnitřních orgánů s projevy na předním segmentu oka
- čerstvé úrazy oka [3, 13, 39]

## 2.6.5 Refrakční chirurgie

V případě, že pacient špatně snáší nošení kontaktních čoček nebo korekci pomocí brýlových čoček, pak je další možností korekce anizeikonie refrakční operace pomocí laseru. Principem laserových operací je změna zakřivení rohovky za využití excimerového laseru. Mezi laserové chirurgické metody patří PRK (photorefractive keratectomy), LASEK (laser-

assisted subepithelial keratectomy) a LASIK (laser in situ keratomileusis). Metody se liší hloubkou a rozsahem zákroku. [13]

Při metodě PRK dochází pomocí excimerového laseru k ablací rohovkové tkáně, po předchozím mechanickým odstranění epitelu. Laser se aplikuje k ablací Bowmanovy vrstvy a předního stromatu. Rohovka je poté zakryta kontaktní čočkou. Myopie se léčí ablací centrální částí předního povrchu rohovky, kdy dochází k jejímu oploštění, naopak při hypermetropii laser působí na periferii a díky tomu se stává centrum strmější. PRK je schopen napravit myopii do 6 D, astigmatismus do 3 D a nízkou hypermetropii. [40, 41]

Laserová epiteliální keratomileusis (LASEK) je adaptací PRK, ale oproti ní má některé výhody, jako je například menší bolestivost, méně zákalu a rychlejší vizuální zotavení. Při LASEKu dochází nejprve k oddělení a odklopení epitelu, který se po aplikaci laseru opět přiklopí. Tato metoda funguje u pacientů s nízkými korekcemi nebo u pacientů, kteří nejsou vhodní pro LASIK metodu například z důvodu velmi tenké rohovky. [40]

Metoda LASIK je nejčastěji využívanou metodou, protože je všestrannější než PRK nebo LASEK a dokáže podle tloušťky rohovky korigovat myopii až 12 D, astigmatismus až 5 D a hypermetropii až 4 D. Při LASIKu dochází pomocí mikrokeratomu k seříznutí lamely, která je silnější, protože obsahuje kromě epitelu i descemetickou membránu a část stromatu. Poté následuje laserová fotoablace, kdy je odstraněno potřebné množství tkáně a následně je lamela přiklopena zpět. [13, 41]

## 3 Metody a přístroje na měření anizeikonie

Při určování anizeikonie lze využít objektivní či subjektivní metody. Objektivní metoda je založena na měření pomocí ultrazvuku, který se používá k určení předozadní délky oka, polohy optických prvků a hloubky přední komory. Z naměřených hodnot se vypočítá hodnota anizeikonie s přesností 0,5 až 1 %. Tato hodnota odpovídá plné dioptrické anizeikonii bez senzorické kompenzace. [42]

Subjektivní měření vyžaduje spolupráci pacienta a k separaci vjemů mezi pravým a levým okem se využívá například anaglyfní a polarizační princip. Mezi přístroje, které využívají anaglyfní metody, patří například Maddoxův eikonometr a Brecherův anaglyfní eikonometr. Princip anaglyfní metody je založen na aditivním a substraktivním mícháním barev. Naproti tomu Ames-Glydonův standardní eikonometr, hákový test či Titmusův test využívá polarizační metodu, při které se využívá vlastností polarizovaného světla k separaci vjemů pravé a levé oka. [1]

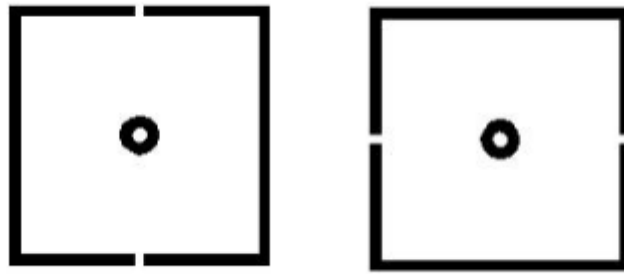
Další metody využívané k separaci u subjektivního měření jsou například paobrazy (bleskový eikonometr) nebo změny prostorového vnímání (Ogle-Amesův prostorový eikonometr). Subjektivní měření by se mělo vždy provádět až po korekci přidružené heteroforie. [1, 42]

### 3.1 Testy na měření anizeikonie

Testů na měření anizeikonie je více. K disociaci vjemů mezi pravé a levé oko používá každý test jiného principu.

#### 3.1.1 Hákový test

Hákový test se využívá k diagnostice anizeikonie a heteroforie. K disociaci vjemů pravého a levého oka používá polarizaci a patří do testů přímého srovnávání. Test nabízí pacientovi dva stejně veliké polarizované háky naproti sobě, ležící vpravo a vlevo (vertikální hákový test) nebo nahoře a dole (horizontální hákový test) od nepolarizovaného středu, který se nachází uprostřed a slouží jako fúzní podnět. [11, 43]



**Obrázek 4 - Vertikální a horizontální hákový test [44]**

Při vertikálním hákovém testu pozoruje pravé oko pravý hák a levý oko levý hák. Tento test se využívá k zjištění vertikální anizeikonie a její korekci. Vnímané rozdíly ve velikosti obrazů do šířky háků jsou nevýznamné, neboť odpovídají přibližně 3-4 % anizeikonie, což lze snadno zřítovat. Pokud rozdíly ve velikosti obrazu jsou větší než je šířka háků, pak lze použít izeikonické čočky s vlastním zvětšením pro vykorigování anizeikonie. Izeikonické čočky se předsazují, dokud pacient nevnímá oba háky stejně veliké a podle hodnoty izeikonické čočky víme množství anizeikonie v procentech. [1, 45]

Horizontální hákový test slouží k zjištění a korigování horizontální anizeikonie a je podobný vertikálnímu testu. Obsahuje stejné testovací značky, které jsou jinak rozmístěny. Pacient vnímá horní hák pravým okem a dolní hák levým okem. [1]

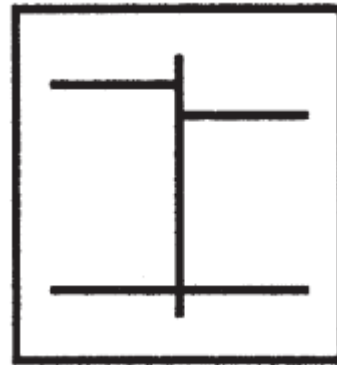
### 3.1.2 Turvillův test

Turvillův test vyvinul Morgan k detekci a měření anizeikonie ve vertikálním meridiánu. K měření se využívají izeikonické čočky a Turvillovo septum, které umožňuje disociaci vjemu mezi pravým a levým okem a díky tomu pacient vnímá každým okem jinou část ze dvou horizontálních linií. [17, 35]

Pacient s nejlepší korekcí porovnává vertikální vzdálenost mezi těmito dvěma rovnoběžnými liniemi rozdělenými disociací. Pokud pacient vnímá vertikální rozdíl mezi dvěma liniemi na pravé a levé straně, pak je potvrzena přítomnost vertikální anizeikonie. Před oko, které vnímá dvě linie blíže u sebe, předsazujeme izeikonické čočky o různé velikosti, dokud se linie nejeví na pravé i levé straně stejně od sebe vzdálené. [17, 46]



**Obrázek 6** - Uspořádání Turvillova testu při izeikonii [17]



**Obrázek 5** - Uspořádání Turvillova testu při anizeikonii [17]

Hodnota zvětšení izeikonické čočky, která spojila linie na pravé i levé straně ve dvě rovnoběžné, je množství anizeikonie. [46]

### 3.1.3 Brecherův test

Pomocí Brecherova testu lze zjistit vertikální i horizontální anizeikonii a heteroforie. K měření je zapotřebí Maddoxova cylindru, dvou zdrojů světla a sady izeikonických čoček. Při měření horizontální anizeikonie se zdroje bodového světla nacházejí horizontálně 20 cm od sebe a ve vzdálenosti okolo 60 cm od pacienta. Pacient pozoruje světelné zdroje s předsazeným Maddoxovým cylindrem před jedním okem v ose 180°. Oko s předsazeným cylindrem vidí dvě svislé čáry a druhé oko vidí dva světelné zdroje. [16, 17, 47]

Úkolem pacienta je porovnat umístění dvou světelných čar ve vztahu k bodům světla. Při izeikonii světelné čáry prochází středy světel. Pokud jsou světelné čáry posunuty na jednu stranu, tak má heteroforii. Při přítomnosti horizontální anizeikonie je odlišná vzdálenost mezi čarami a světelnými zdroji. Množství anizeikonie se určuje pomocí izeikonických čoček, které se předkládají před oko bez Maddoxova cylindru. Z hodnoty izeikonické čočky, při které se rozdíl ve vzdálenosti mezi čarami a světly vyrovná, lze určit procentuální anizeikonii. [16, 17]

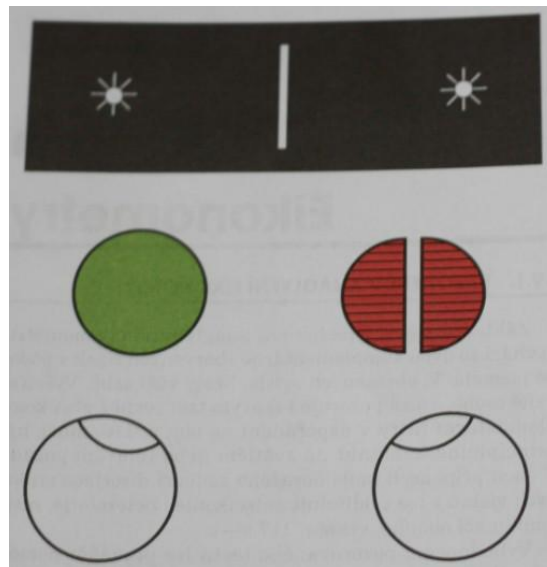
Test lze opakovat pro stanovení vertikální anizeikonie, kdy se pootočí zdroje světla do vertikální polohy a Maddoxův cylindr se předsadí v ose 90°. [17]

## 3.2 Přístroje na měření anizeikonie

Přístroje na měření anizeikonie se nazývají eikonometry. Eikonometr patří mezi subjektivní metody na zjištění anizeikonie, využívající postup, při kterém pacient porovnává vzdálenosti koincidenčních testů. Principem standardních eikonometrů je předkládání stejně velikých předmětů s malými nesrovnalostmi, které se dají snadno rozlišit. [1, 12]

### 3.2.1 Maddoxův eikonometr

Maddoxův eikonometr se skládá z vertikálně orientované štěrbiny, která slouží jako fúzní podnět. Štěrba se nachází uprostřed tmavého terče a po obou stranách je jedno Maddoxovo světlo. Pacient má na pravém oku předsazen modifikovaný Maddoxův cylindr. Levé oko není zakryté a vidí test normálně. Někdy se pro lepší disociaci vjemů předsazuje před levé oko komplementární filtr k barvě Maddoxova světla. [1, 45]

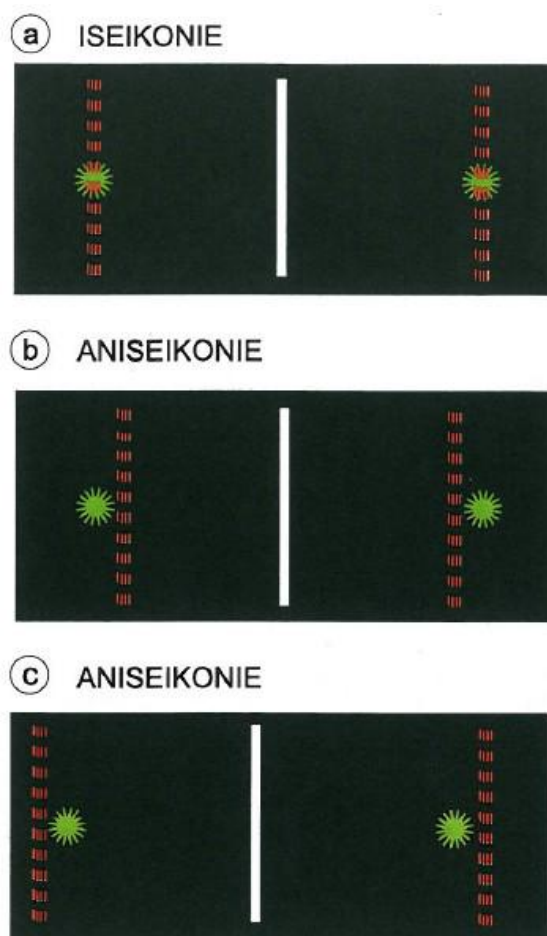


**Obrázek 7** - Uspořádání Maddoxova eikonometru [45]

Maddoxův cylindr je upraven rozříznutím a symetrickým obroušením obou částí. Touto úpravou vznikne uprostřed štěrba orientovaná kolmo na osu cylindru. Pacient při pohledu přes tento otvor široký 1,5-2 mm vnímá pouze vertikální štěrbinu umístěnou na tmavém pozadí, dále dvě Maddoxovy linie, což jsou světelné stopy vytvořené z Maddoxových světel. Při izeikonii procházejí tyto linie středy Maddoxových světel. Pokud jsou linie posunuty směrem vně nebo dovnitř od světel, pak je potvrzena přítomnost anizeikonie. To znamená, že pokud je obraz na sítnici pravého oka větší než na sítnici oka levého, tak linie se nachází blíže



ke středové štěrbině a naopak, pokud sítnicový obraz pravého oka je menší, tak linie budou dále od štěrbině. [1, 45]



**Obrázek 8** - Možnosti výsledných vizuálních vjemů u Maddoxova eikonometru [45]

Hodnota anizeikonie se určuje pomocí afokálního systému s proměnlivým zvětšením. Výhodou tohoto testu je možnost zmapovat celou anizeikonickou elipsu pomocí současného otáčení testu a Maddoxova cylindru. [1, 45]

### 3.2.2 Brecherův anaglyfní eikonometr

Pomocí Brecherova eikonometru lze zjistit anizeikonie i heteroforie. Základem jsou čtyři šipky na tmavém nebo světlém pozadí, které jsou komplementárně zbarvené (dvě zelené a dvě červené). Tyto šipky jsou umístěny ve dvou horizontálních řadách obrácený hroty k sobě. V horní řadě jsou dvě zelené šipky a v dolní dvě červené. K disociaci se využívá červeno-zelený filtr, kdy se před pravé oko předkládá filtr červený a před levé oko filtr zelený. [1, 45]

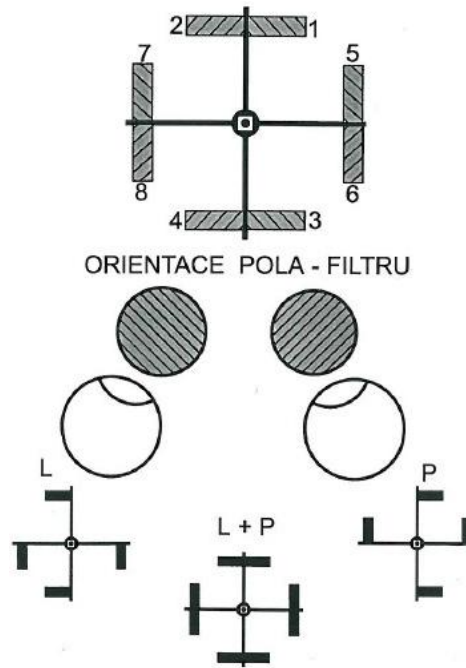


**Obrázek 9** - Možnosti vizuálních vjemů u Brecherova eikonometru [45]

Pacient s nasazenými červeno-zeleným filtrem porovnává vzájemné pozice šipek. Anizeikonie je přítomna, pokud je vzdálenost stejně barvených šipek menší nebo větší v porovnání s opačným párem šipek. Vyhodnocení lze provést pomocí afokálního systému s proměnlivým zvětšením. Stupeň anizeikonie přímo v procentech lze odečíst na stupnici. [1, 45]

### 3.2.3 Ames-Glydonův standardní eikonometr

Ames-Glydonův standardní eikonometr se používá ke zjištění vertikální a horizontální anizeikonie. K separaci vjemů obou očí se využívá vlastností polarizovaného světla. Výhodou tohoto přístroje je malá náročnost na prostor, neboť obsahuje kolimátor, díky kterému lze provádět měření na kratší vzdálenost než je standardních 5-6 metrů, jako je tomu u jiných eikonometrů. [1]



**Obrázek 10** - Uspořádání Ames-Glydonova standardního eikonometru [45]

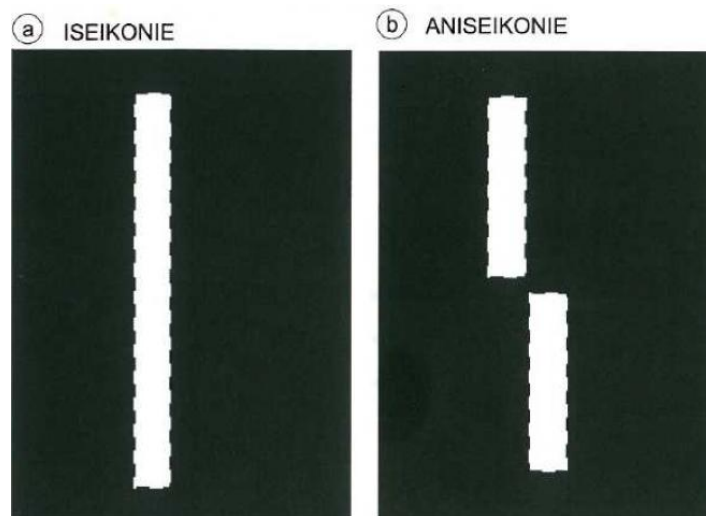
Eikonometr se skládá z osového kříže a terčové figury, která slouží jako fúzní podnět. Dále obsahuje 8 příčných koincidenčních značek, které jsou očíslované 1-8. Značky jsou vyrobeny z polarizační folie, díky tomu pacient vnímá liché značky (1,3,5,7) pravým okem a sudé značky (2,4,6,8) levým okem. Pokud se značky posunou horizontálním i vertikálním směrem, pak je přítomna symetrická anizeikonie. Naproti tomu při asymetrické anizeikonie se značky posouvají jen jedním směrem (vertikálním nebo horizontálním). Ke zjištění velikosti anizeikonie se využívá afokální systém s proměnlivým zvětšením. [45]

### 3.2.4 Bleskový eikonometr

Měření na Bleskovém eikonometru se většinou provádí ve vzdálenosti jednoho metru, kdy je sítnice podrážděna vysoce intenzivním světlem, za vzniku tzv. paobrazu. Pacient vnímá paobraz jako negativní obraz zdroje světla, který působil na sítnici. [1]

Základem je tmavé pole, na kterém se vpravo nachází dvě světla umístěné vertikálně pod sebou, které slouží jako fixační podnět. Na levé straně ve vzdálenosti 20 cm od světla je umístěna svislá štěrbina, za kterou je situován elektrický blesk. Další částí je mechanická clona, která umožňuje střídavé zakrytí horní a dolní poloviny plochy, díky čemuž pacient vnímá monokulárně pouze jedno fixační světlo (horní nebo dolní). Druhé oko je zakryté. Elektrický blesk umístěný za štěrbinou oslní sítnici nezakrytého oka, při čemž vznikne

paobraz. Následně se tento proces opakuje na druhém oku, kdy se zakryje první oko a posune se clona na druhou polovinu. [45]



**Obrázek 11** - Rozdílné vnímání při izeikonii a anizeikonii [45]

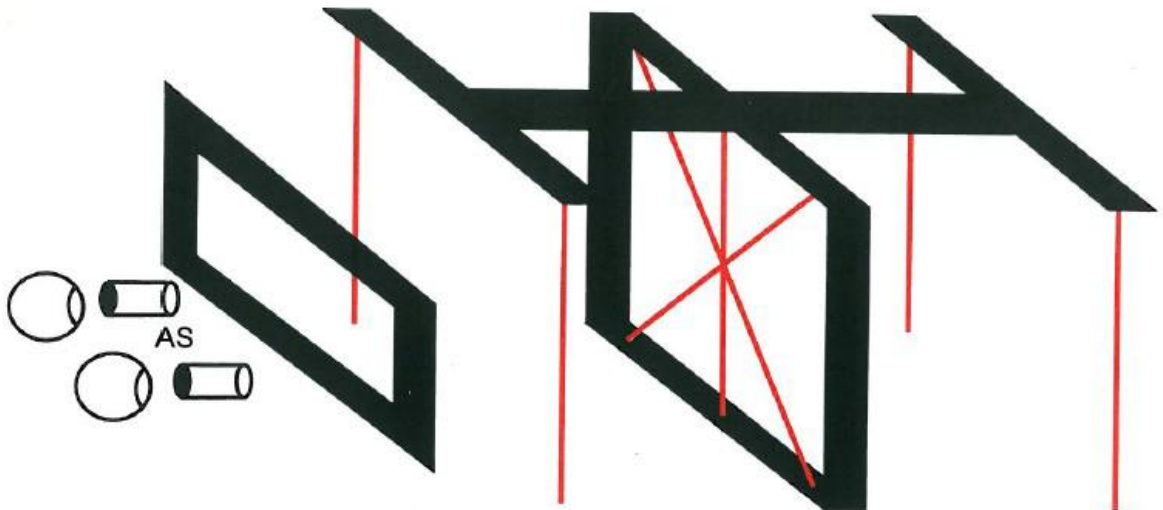
Při izeikonii jsou obě vertikální části paobrazu v koincidenci. Pokud je přítomna anizeikonie, tak se obě části obrazu štěrbiny jeví navzájem horizontálně posunuté. Množství anizeikonie lze opět určit pomocí afokálního systému s proměnlivým zvětšením. [1, 45]

### 3.2.5 Ogle-Amesův space eikonometr

Ogle-Amesův eikonometr je velmi přesný a funguje na principu změn v prostorovém vnímání, k čemuž typicky dochází při anizeikonii. Tuto metodu lze použít pouze u pacientů, kteří mají stereoskopické vidění. Při těžké anizeikonii totiž pacienti nejsou schopni zfúzovat obraz a díky tomu nemohou posuzovat stereoskopické zkreslení. [1, 24]

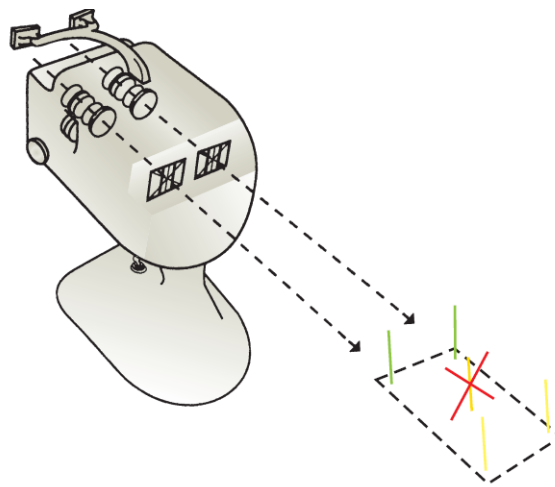
Existují dvě možnosti konstrukce testu. První z možností konstrukce je prostorově náročná a k měření využívá 7 zavěšených provazů, při čemž z jednoho páru provazů je uprostřed vytvořen kříž, přes jehož střed vertikálně prochází další provaz. Další pár vertikálních provazů se nachází v jiné frontální rovině před křížem a třetí pár je umístěn v další frontální rovině za křížem. [28]

Pacient s vhodnou korekcí do dálky pozoruje přes mechanickou clonu prostorové uspořádání provazů. Clona slouží k zakrytí konců provazů a dalších předmětů, které by pacientovi napověděly o rozložení provazů v prostoru. [28]



**Obrázek 12** - Uspořádání Ogle-Amesova space eikonometru [45]

Při druhé možnosti konstrukce testu, která je díky menší náročnosti na prostor častější, je test součástí stereoskopu, který může být umístěn na pracovní stůl. Základem této konstrukce je červený kříž a přes jeho střed vede vertikální linie. Před křížem se nachází dvě matně zelené vertikální linie a za křížem dvě jasně bílé (nebo nažloutlé) vertikální linie. [1, 17]



**Obrázek 13** - Zobrazení Ogle-Amesova space eikonometru jako součásti stereoskopu [17]

Pacient s vhodnou korekcí má před očima umístěn afokální systém s nastavitelným zvětšením, který může sám ovládat. Prostřednictvím tohoto systému lze působit symetricky v celé oblasti či jen v určitém směru a díky tomu můžeme ovlivnit deformace obrazu při asymetrické anizeikonii. [45]

V případě vertikální anizeikonie se jeví středový kříž pootočen kolem vertikální osy a svislé linie se jeví stejně jako při izeikonii. U horizontální anizeikonie jsou otočeny všechny

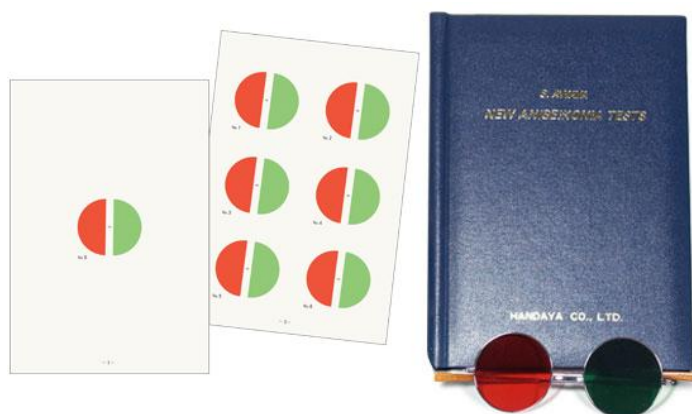
části testu. Pokud se středový kříž jeví sklopený o určitý úhel vůči horizontální rovině a přitom vertikální linie jsou ve správném postavení, pak je to typické u šikmé anizeikonii. [45]

### 3.3 Moderní metody pro zjišťování anizeikonie

Moderní metody pro zjištění hodnoty anizeikonie fungují na principu přímého srovnávání. Cílem těchto metod je dosáhnout stejné velikosti obrazů, které jsou předloženy před každé oko s rozdílnou velikostí. Toho lze dosáhnout pomocí izeikonické čočky umístěné před jedno oko či fyzickou změnou velikosti jednoho z obrazů. [1]

#### 3.3.1 New Aniseikonía Test

New Aniseikonía Test (Awaya) je přímý srovnávací test, který se velmi snadno spravuje a interpretuje. K disociaci vjemů mezi pravým a levým okem se využívají anaglyfní filtry. Test ve formě brožury obsahuje sérii dvojic půlkruhů (jeden červený a jeden zelený), kdy rozdíl ve velikosti mezi půlkruhy v každém páru představuje procentuální hodnotu anizeikonie. [48, 49]



**Obrázek 13** - New Aniseikonía Test (Awaya) [50]

Pacient s nasazeným červeno-zeleným filtrem a správnou korekcí porovnává z dané vzdálenosti dvojice sousedních půlkruhů a určuje, který z půlkruhů se jeví mít stejný vertikální průměr. Vlivem disociace vidí pravým okem červený půlkruh a levým okem zelený půlkruh. Na začátku je umístěn pár stejně velikých půlkruhů a poté se průměr jednoho z půlkruhů v každém kroku mění o 1 %. [17, 21, 49, 50]

Poté se předloží druhá sada párů půlkruhů, kde se naopak mění velikost druhého půlkruhu, pro ověření výsledků. Anizeikonický stav může být přítomen na jakémkoli radiánu, takže test by měl být prováděn alespoň na vertikální a pomocí natočení brožury i horizontální ose.

Výstupní hodnotou testu je procentuální míra anizeikonie, dána půlkruhy, které se pacientovi jeví stejně veliké. [17, 21, 50]

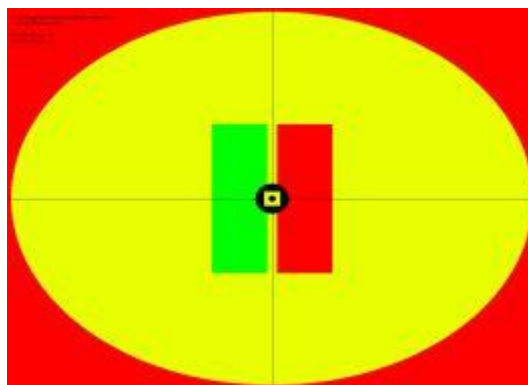
### 3.3.2 Anisekonia Inspektor

Aniseikonia Inspektor je softwarový program, který obsahuje testy na měření velikosti anizeikonie a dále navrhuje možnou korekci anizeikonie. Testy pracují na principu přímého srovnávání za použití disociace pomocí anaglyfních filtrů. Testování se provádí v tlumeně osvětlené místnosti, aby se získaly nejpřesnější výsledky. [37, 51]

Před samotným měřením anizeikonie se nejprve musí provést dvě kalibrace. Nejprve se provádí velikostní kalibrace, při které se pomocí pravítka změří vodorovná šířka žlutého obdélníka, který se zobrazuje na monitoru počítače. Na základě tohoto údaje software vypočítá správnou vzdálenost, v jaké by se měl nacházet pacient od monitoru počítače, která činí přibližně 40 cm. Barevná kalibrace zajistí, že během měření anizeikonie bude vytvořen skutečný haploskopický stav. [37]

Před prvním měřením pacienta se provede test na fixační disparitu. Je-li fixační disparita přítomná, způsobuje vzájemné posunutí dvou testovacích obrázků, které ztěžuje srovnání jejich velikostí a to může vést k méně přesnému měření. Aniseikonia Inspector umožňuje kompenzovat fixační disparitu pomocí posunutí těchto testovacích obrázků vůči sobě. [37]

Dále vybereme, který testovací postup využijeme pro měření anizeikonie. Diagnostický test se používá hlavně u opticky indukované anizeikonie, zatímco test závislosti na poli se používá hlavně u retinálně indukované anizeikonie. [37]



**Obrázek 14** - Aniseikonia Inspektor [25]

Pacient má nasazený červeno-zelené filtr a bez otáčení hlavy se dívá na fixační podnět uprostřed obrazovky počítače, kde se zobrazuje série snímků, na kterých jsou vyobrazené vždy dva testovací obrázky (jeden červený a jeden zelený), jejichž velikost lze měnit pomocí klávesnice nebo myši. Testovací obrázky mohou mít různé tvary jako například tvar obdélníka, půlkruhu, závorky. Díky červeno-zelenému filtru pacient vidí každý obrázek jiným okem a má za úkol identifikovat, který z obrázků vnímá jako větší. Měření se provádí dvakrát ve svislém, vodorovném a ve dvou diagonálních směrech. [25, 37]

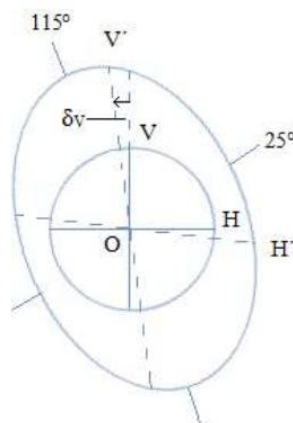
Pokud jsou takto porovnány všechny snímky ze série, pak jsou výsledky zprůměrovány pro každý směr a zaznamenány do tabulky a grafu. Na konci měření se na monitoru počítače zobrazí schéma s výsledky, které obsahuje *souhrnnou tabulku, schéma anizeikonické elipsy, graf závislosti na zorném poli a tabulka dat.* [25, 37, 51]

#### *Souhrnná tabulka*

Souhrnná tabulka poskytuje rychlý přehled výsledků testů. Zobrazuje výslednou anizeikonii ve všech testovaných směrech a úhlech. [37]

#### *Schéma anizeikonické elipsy*

Software vytvoří z výsledných hodnot tzv. anizeikonickou elipsu, která představuje naměřenou anizeikonii zobrazenou jako funkci změřených směrů. Anizeikonická elipsa se využívá ke korekci anizeikonie, která vyžaduje relativní zvětšení či zmenšení jednoho sítnicového obrazu o dvě různá množství ve dvou vzájemně kolmých polednicích. [28, 37]



**Obrázek 15** - Anizeikonická elipsa [2]

Na *Obrázek 15* je zobrazena kružnice, která byla zvětšena o 100 % v ose 25 ° a o 40 % v ose 115 °. Výsledný obrazec představuje anizeikonickou elipsu, která je dána horizontální a vertikální poloosou, označené jako OH a OV. Tyto poloosy jsou převedeny do šikmých linií



$OH'$  a  $OV'$ , které jsou nakloněné směrem k poledníku s větším zvětšením ( $115^\circ$ ). V praxi nelze určit šikmé zvětšení a její orientaci. Proto je třeba stanovit anizeikonickou elipsu jinou sadou parametrů. Nejpřístupnější pro klinické postupy je horizontální zvětšení ( $OH'/OH$ ), vertikální zvětšení ( $OV'/OV$ ) a vertikální úhel sklonu ( $VOV'$ ), které lze měřit subjektivně pomocí eikonometru. [28]

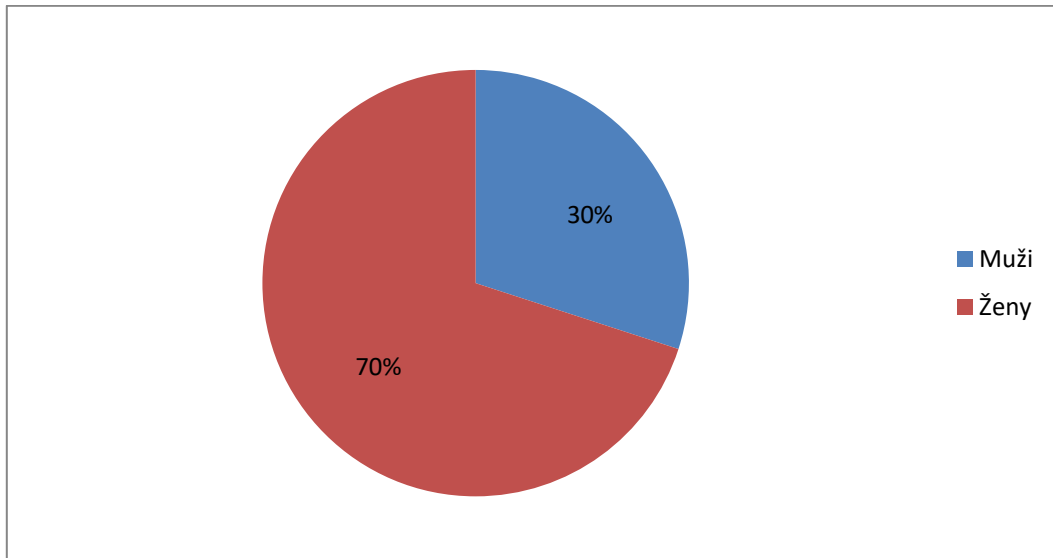
## 4 Praktická část

### 4.1 Úvod praktické části

Cílem mé praktické části bakalářské práce bylo zjistit, zda se liší naměřená hodnota anizeikonie od hodnoty předsazených anizeikonických čoček, prostřednictvím kterých byla anizeikonie simulována. Velikost anizeikonie byla měřena metodou přímého srovnávání na hákovém testu a na New Aniseikonia Testu (NAT). V první části byly nejprve zjištěny údaje o pacientovi a stanovena vhodná korekce jeho refrakčních vad. V další části byla nejprve zjišťována přítomnost naturální anizeikonie a následně byla simulována umělá anizeikonie předsazením čočky před pravé oko, ze sady anizeikonických čoček se zvětšením 2%, 3% a 7%.

### 4.2 Měřené osoby a podmínky měření

Měření probíhalo na více stanovištích. Původně mělo vyšetřování probíhat pouze v laboratoři oční optometrie na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně, kde bylo prováděno od 2. dubna 2020 do 9. dubna 2020. Z důvodu omezení přístupu na fakultu FBMI v Kladně, která byla uzavřena na základě příkazu rektora ke snížení rizika nákazy koronavirem (COVID-19), měření bylo přesunuto a probíhalo ve vyšetřovně Oční kliniky JL v Praze od 30. dubna 2020 do 15. května 2020 a 13. května 2020 ještě probíhalo ve vyšetřovně oční optiky Remi Optic v Poliklinice Barrandov v Praze. Vlivem nastalé situace spojené s pandemií COVID-19 byl změněn plánovaný počet probandů z původních 50 osob na 30. Měření se zúčastnili probandi ve věkovém rozmezí od 20 do 66 let. Celkově bylo změřeno 21 žen a 9 mužů a jejich zastoupení je znázorněno v procentech v *Obrázku 16*.



**Obrázek 16** - Graf procentuálního zastoupení probandů v závislosti na pohlaví

### 4.3 Postup měření

Na začátku vyšetření byly zjištěny dosavadní údaje o pacientovi: anamnéza, u které se kladl důraz na oční anamnézu, zda se v minulosti u pacienta vyskytly onemocnění ovlivňující binokulární vidění či zda v dětství podstoupil léčbu amblyopie pomocí okluze. Dále byly zjišťovány informace o rodinné a celkové anamnéze, jaké zaměstnání vykonává a jaké má zrakové požadavky či návyky. Zjištěné údaje byly zaznamenány do připraveného protokolu spolu s případnou symptomatikou. Dále byl zaznamenán monokulárně i binokulárně vizus naturalis a v případě dosavadní korekce vizus s nasazenou korekcí. Vyšetření vizu bylo prováděno na LCD optotypu (Tomey TCP - 3000P na Klinice JL v Praze) či projekčním optotypu (Tomey TCP-1000 v optice Remi Optic v Praze a Huvitz CCP 3100 na Fakultě FBMI v Kladně). Vyšetřovací vzdálenost ve vyšetřovně optometrie Fakulty FBMI v Kladně činila 6 metrů, v Remi Optic této vzdálenosti bylo docíleno pomocí zrcadla a ve vyšetřovně na Klinice JL v Praze vzdálenost činila 5 metrů. Tato vzdálenost byla zohledněna v LCD optotypu Tomey TCP -3000P.

Ke zjištění přesné hodnoty anizeikonie bylo zapotřebí přesně stanovit a korigovat refrakční stav oka. Po anamnéze bylo provedeno měření pomocí autorefraktometru (Topcon TRK 1-P na Fakultě FBMI v Kladně; Tomey RC-5000 na Klinice JL v Praze; Tomey TR-4000 v Remi Optic v Praze) pro stanovení objektivní refrakce.

Následně byla zjišťována přítomnost heteroforie či heterotropie. Ke zjištění se využily zakrývácí testy, konkrétně alternující a intermitentní test, kdy se pomocí neprůhledné destičky

opakovaně zakrývalo a odkrývalo nejprve pravé a poté levé oko (k diagnostice heterotropie) či střídavě zakrývalo pravé a levé oko (k diagnostice heteroforie) a sledovalo se, zda oko nevykonává fixační pohyb. Tyto testy byly prováděny do blízka i do dálky, kdy pacient fixoval nějaký fixační bod. Dále byla vyšetřena motilita a změřena hodnota NPC.

Sférocylindrická refrakce byla měřena monokulárně s použitím zkušební obruby. Ke zjištění sférické korekce byla využita sada rozptylných a spojných čoček z brýlové skříně. Stanovení cylindrické korekce bylo provedeno na testu se sadou kulatých znaků pomocí Jacksonova zkříženého cylindru s hodnotou  $\pm 0,25$  cyl.

Poté bylo provedeno binokulární vyvážení kvůli ověření naměřených hodnot, pro které byl zvolen Humphrissův test. Při Humphrissově testu byl pacient za binokulárních podmínek a při sledování nejmenšího čteného řádku monokulárně zamlžen spojnou čočkou + 0,75 D nejprve na pravém, poté na levém oku. Před druhé oko se předkládaly čočky s plusovou či minusovou hodnotou, dokud nedošlo k vyvážení.

Dále byla testována přítomnost heteroforie do dálky na Schoberově testu, při kterém se využil červený a zelený filtr k disociaci vjemu mezi pravé a levé oko. Tento jednoduchý test umožňuje určit velikost úchytky ve směru horizontálním, vertikálním a případně kombinovaném. Přítomnost heteroforie do blízka byla vyšetřována ve vzdálenosti 40 cm na Malletově testu s binokulárně předsazenými polarizačními filtry. Tento test umožňuje odhalit přítomnou fixační disparitu a heteroforii v horizontálním a vertikálním směru. S předsazenými polarizačními filtry se dále vyšetřovala stereopse na stereotestu do dálky.

Po této sérii vyšetření naměřené hodnoty byly zhodnoceny a byla stanovena doporučená korekce.

#### *Postup měření pomocí New Aniseikonia testu (NAT)*

U pacienta s předsazenou nejlepší korekcí byla následně zjišťována s pomocí New Aniseikonia Testu (NAT) přítomnost naturální horizontální a vertikální anizeikonie. Měření probíhalo podle postupu popsaného v kapitole 3.3.1. Po stanovení hodnoty naturální anizeikonie byla změřena hodnota arteficiální anizeikonie navozené pomocí předsazených anizeikonických čoček se zvětšením 2%, 3% a 7%. Čočky byly vždy předsazeny před pravé oko.

#### *Postup měření pomocí hákového testu*

Pomocí hákového testu nejprve byla zjištěna hodnota naturální anizeikonie v horizontálním a vertikálním směru podle postupu uvedeného v kapitole 3.1.1. Poté byla pomocí

anizeikonických čoček se zvětšením 2%, 3% a 7% navozena arteficiální anizeikonie, která byla následně změřena. Čočky byly vždy předsazeny před pravé oko a měření bylo prováděno v horizontálním i vertikálním směru.

### 4.3.1 Metoda statistické analýzy

Pro statistickou analýzu naměřených hodnot byl zvolen párový test v programu Microsoft Excel 2007. Měření stejných parametrů bylo provedeno na stejném souboru jedinců pomocí dvou metod, jejichž výsledky byly porovnány pomocí párového t-testu s hodnotami předsazených anizeikonických čoček. Hladina statistické významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Pro ověření hypotézy  $H_7$  byl použit Pearsonův korelační koeficient  $p$ , který ukazuje na lineární závislost hodnot.

## 4.4 Hypotézy

Cílem práce je zjistit, zda odpovídají hodnoty naměřené arteficiální anizeikonie s hodnotami předsazených anizeikonických čoček. Na začátku byly stanoveny následující nulové a alternativní hypotézy:

- $H_{0,1}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 2% je nulový.
- $H_{A,1}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 2% není nulový.
- $H_{0,2}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 2% je nulový.
- $H_{A,2}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 2% není nulový.
- $H_{0,3}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 3% je nulový.

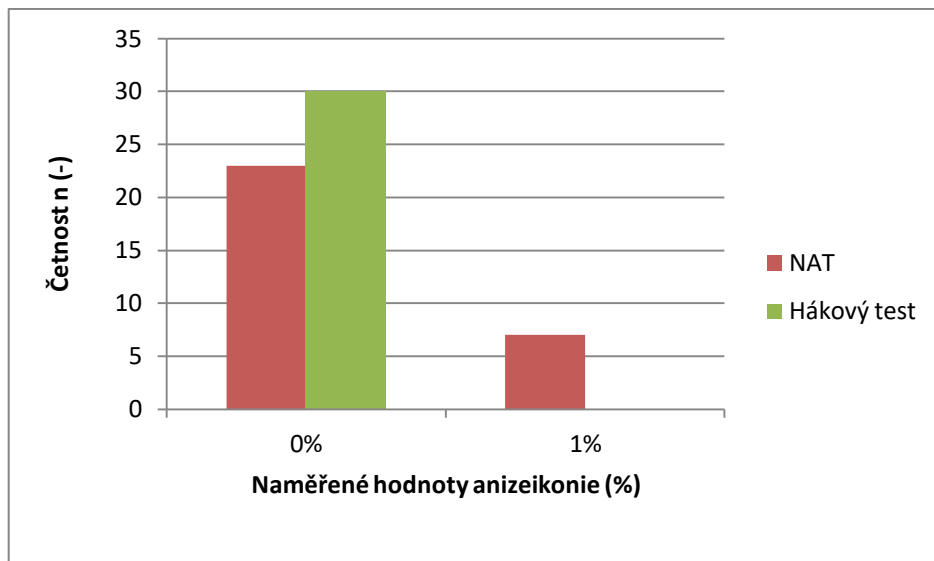
- $H_{A,3}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 3% není nulový.
- $H_{0,4}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 3% je nulový.
- $H_{A,4}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 3% není nulový.
- $H_{0,5}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 7% je nulový.
- $H_{A,5}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 7% není nulový.
- $H_{0,6}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 7% je nulový.
- $H_{A,6}$  - Rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 7% není nulový.
- $H_7$  - Se zvyšující se hodnotou předsazené anizeikonické čočky se bude zvyšovat hodnota naměřené arteficiální anizeikonie.

## 4.5 Výsledky

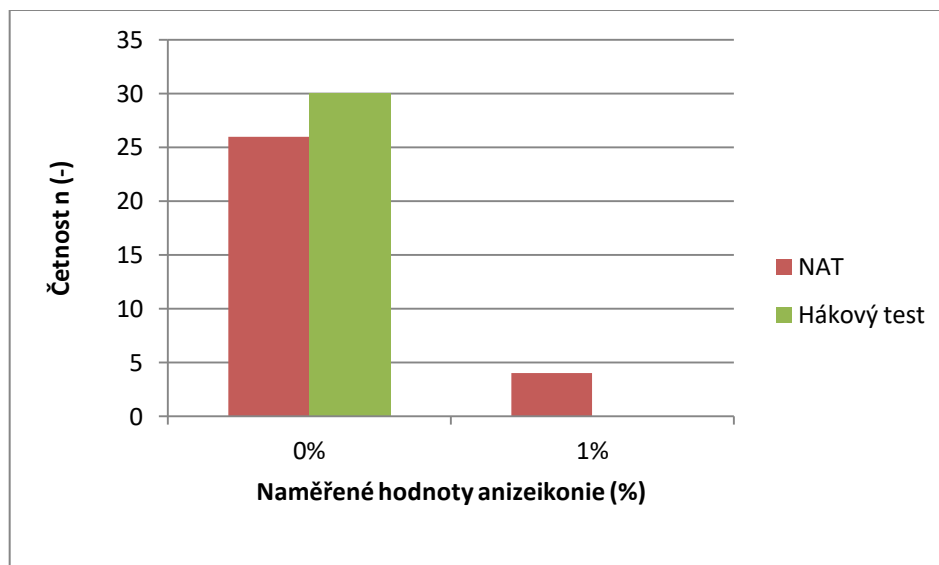
### 4.5.1 Výsledky měření naturální anizeikonie bez anizeikonických čoček

Měření naturální anizeikonie bez předložených anizeikonických čoček bylo provedeno na New Aniseikonia Testu a na hákovém testu v horizontálním a vertikálním směru. Výsledky měření jsou graficky znázorněny v *Obrázku 17*, kde jsou znázorněné naměřené hodnoty anizeikonie v horizontálním směru, a v *Obrázku 18*, kde jsou znázorněné naměřené hodnoty anizeikonie ve vertikálním směru. Z nich je patrné, že převážná většina měřených probandů neměla naturální anizeikonii. Výjimku tvořilo při měření pomocí New Aniseikonia Testu 7

probandů, u kterých byla zaznamenána naturální anizeikonie v horizontálním směru a 4 probandi, kteří vykazovali naturální anizeikonii ve vertikálním směru.



**Obrázek 17** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie v horizontálním směru bez předložených anizeikonických čoček

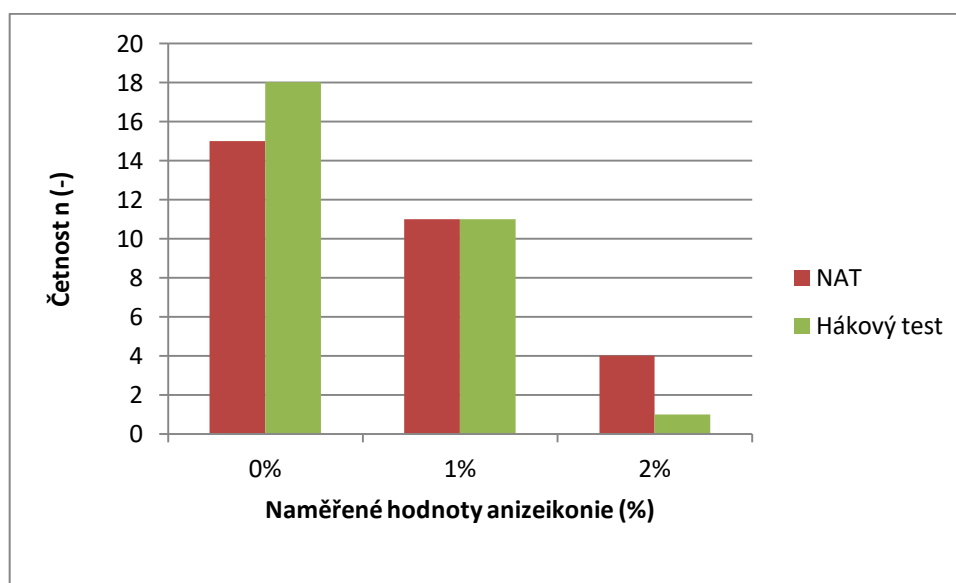


**Obrázek 18** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie ve vertikálním směru bez předložených anizeikonických čoček

#### 4.5.2 Výsledky měření anizeikonie s předsazenými anizeikonickými čočkami

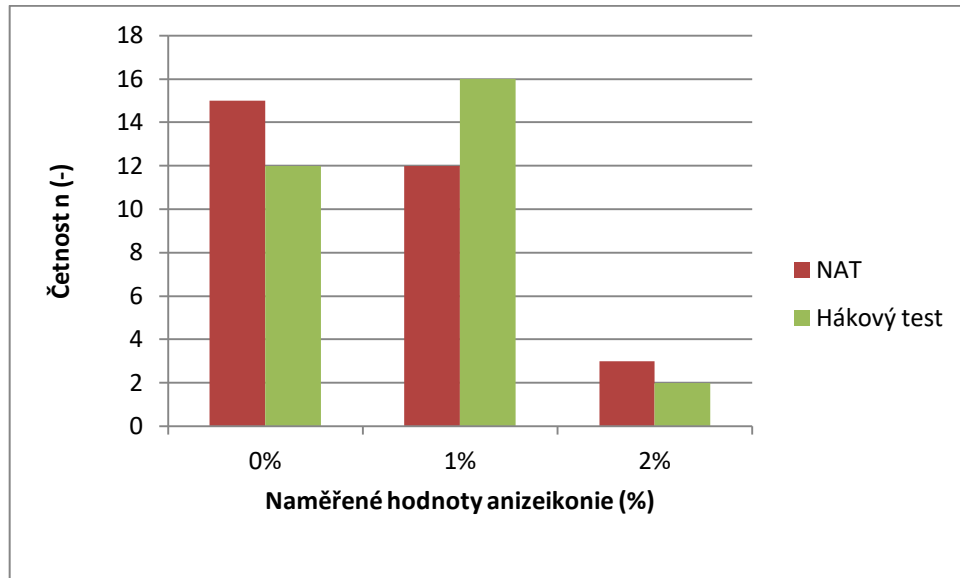
- Zvětšení 2%

V *Obrázku 19* je graficky znázorněná četnost naměřených hodnot anizeikonie při předsazení anizeikonické čočky se zvětšením 2% v horizontálním směru a v *Obrázku 20* ve vertikálním směru. Z grafů lze vyčíst, že při měření obou metodách v horizontálním směru převažovala naměřená hodnota anizeikonie 0%, kdežto ve vertikálním směru u hákového testu převažovala 1% anizeikonie.



**Obrázek 19** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 2% v horizontálním směru

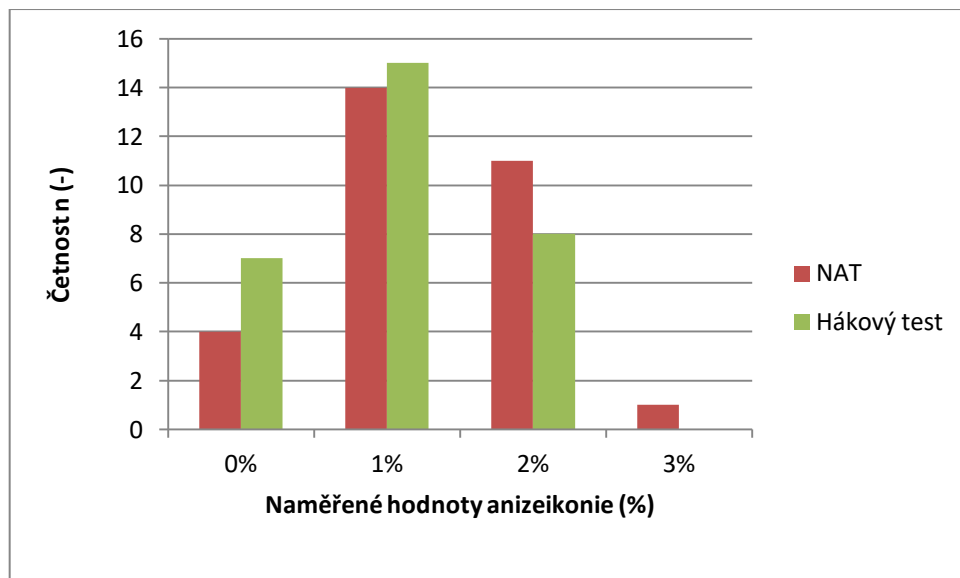




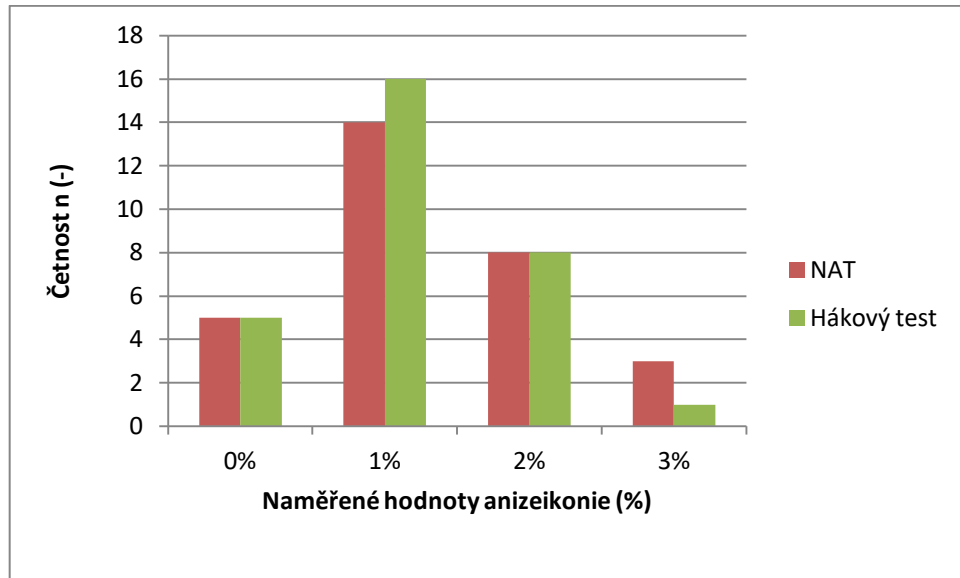
**Obrázek 20** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 2% ve vertikálním směru

- **Zvětšení 3%**

V *Obrázku 21* je graficky znázorněná četnost naměřených hodnot anizeikonie při předsazení anizeikonické čočky se zvětšením 3% v horizontálním směru a v *Obrázku 22* ve vertikálním směru, z nichž lze vyčíst, že v obou směrech převažuje 1% hodnota anizeikonie, která byla naměřena přibližně u poloviny probandů a druhá nejčetnější hodnota činí 2% anizeikonie.



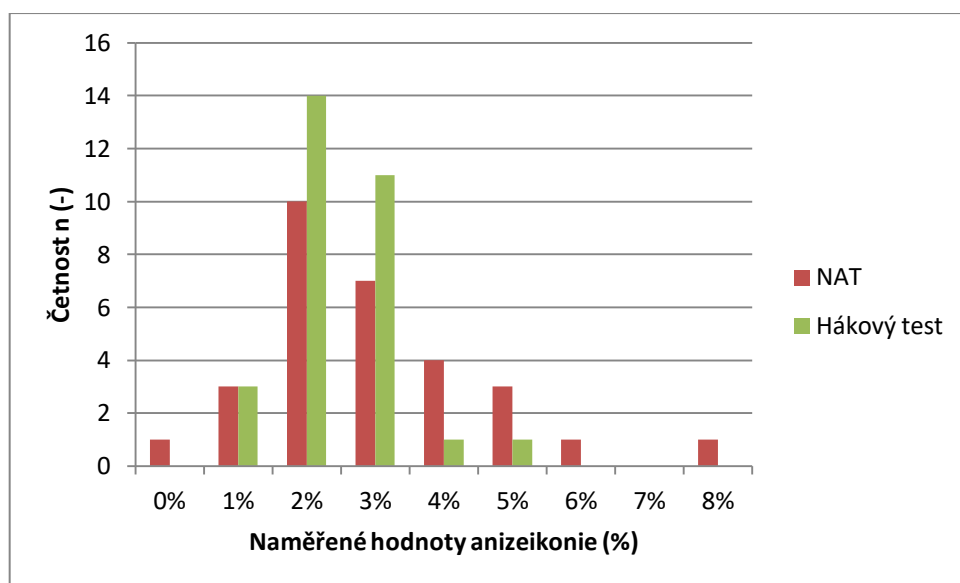
**Obrázek 21** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 3% v horizontálním směru



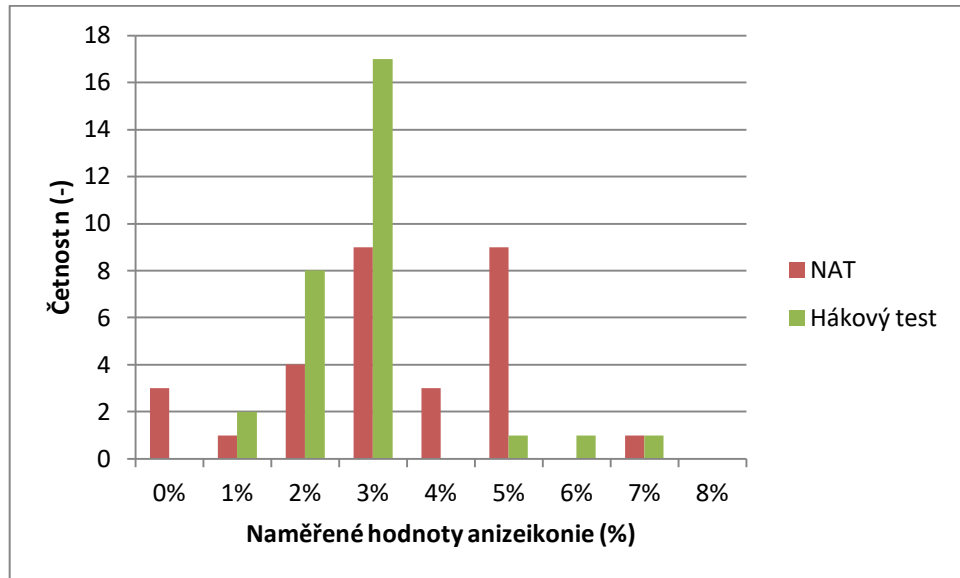
**Obrázek 22** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 3% ve vertikálním směru

- **Zvětšení 7%**

V *Obrázku 23* je graficky znázorněná četnost naměřených hodnot anizeikonie při předsazení anizeikonické čočky se zvětšením 7% v horizontálním směru a v *Obrázku 24* ve vertikálním směru, z nichž je patrné, že v horizontálním směru převažovala při měření hákovým testem 2% hodnota anizeikonie, která byla zaznamenána u 14 probandů. Naproti tomu ve vertikálním směru u hodnot měřených hákovým testem činila většinu 3% hodnota anizeikonie, která byla změřena u 17 probandů.



**Obrázek 23** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 7% v horizontálním směru



**Obrázek 24** - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 7% ve vertikálním směru

### 4.5.3 Statistická analýza hypotéz

K analýze nulových hypotéz byl využit párový t-test v programu Microsoft Excel, kdy byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Výstupní tabulka obsahuje základní statistickou charakteristiku výběru, jako jsou údaje o aritmetickém průměru, rozptylu a počtu hodnot. Pro interpretaci výsledků jsou klíčové údaje označeny:  $t_{Stat}$  a  $t_{krit} (2)$ . Při porovnání hodnoty  $t_{Stat}$  s kritickou hodnotou se bere absolutní hodnota  $t_{Stat}$ , neboť znaménko hodnoty  $t_{Stat}$  je závislé na pořadí výběru. K potvrzení či vyvrácení nulových hypotéz byl využit následující vztah:

Je-li  $|t_{Stat}| < t_{krit} (2)$ , tak platí nulová hypotéza.

Je-li  $|t_{Stat}| > t_{krit} (2)$ , tak platí alternativní hypotéza.

Nulová hypotéza  $H_{0,1}$  předpokládá, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřené v horizontálním směru pomocí New Aniseikonie Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 2% je nulový. Z výstupní *Tabulky 1*, kde jsou znázorněny statisticky vyhodnocené výsledky hodnot změřených v horizontálním směru pomocí New Aniseikonie Testu a *Tabulky 2*, kde jsou vyhodnocené hodnoty anizeikonie změřené v horizontálním směru pomocí hákového testu, lze vyčíst, že nulová hypotéza je zamítnuta, a tedy že je alternativní hypotéza  $H_{A,1}$  potvrzena.

**Tabulka 1** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy  $H_{0,1}$  a  $H_{A,1}$ 

	<i>zvětšení 2%</i>	<i>New Aniseikonia Test</i>
Stř. hodnota	2	0,633
Rozptyl	0	0,516
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	10,420	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

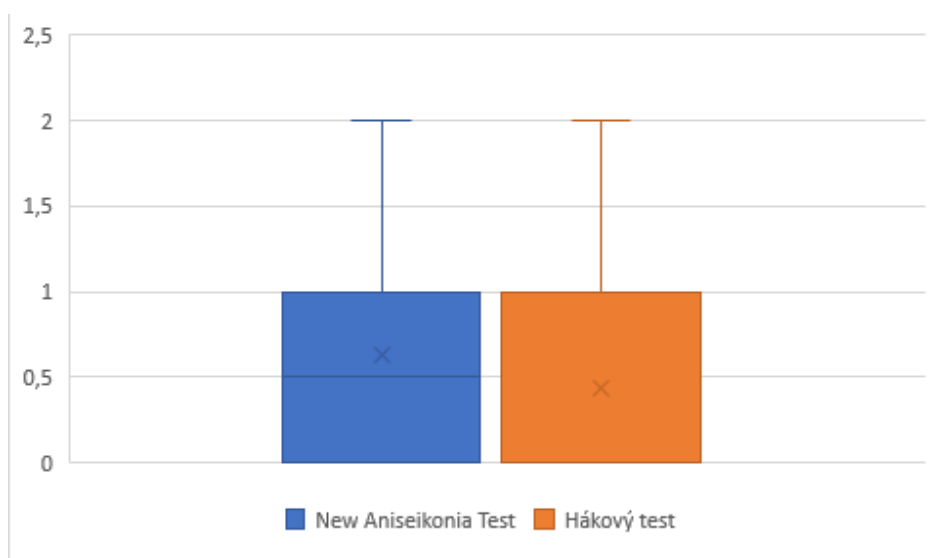
**Tabulka 2** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy  $H_{0,1}$  a  $H_{A,1}$ 

	<i>zvětšení 2%</i>	<i>Hákový test</i>
Stř. hodnota	2	0,433
Rozptyl	0	0,323
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	15,099	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

Pro grafické znázornění výsledků hypotéz  $H_{0,1}$  a  $H_{A,1}$  v *Obrázku 25* byl zvolen krabicový graf, který znázorňuje rozdělení dat do kvartilů a zvýrazňuje meridián a odlehlé hodnoty. Z barevných sloupců vedou vertikální čáry, které označují směrodatné odchylky. Základní charakteristiky souboru hodnot naměřené anizeikonie v horizontálním směru s čočkou s 2% zvětšením jsou uvedeny v *Tabulce 3*.

**Tabulka 3** - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 2% v horizontálním směru

Zvětšení 2% - horizontální směr		
	NAT	Hákový test
Počet měření	30	30
Střední hodnota	0,5	0
Rozptyl výběru	0,516	0,323
Směrodatná odchylka	0,718	0,568

**Obrázek 25** - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz  $H_{0,1}$  a  $H_{A,1}$ 

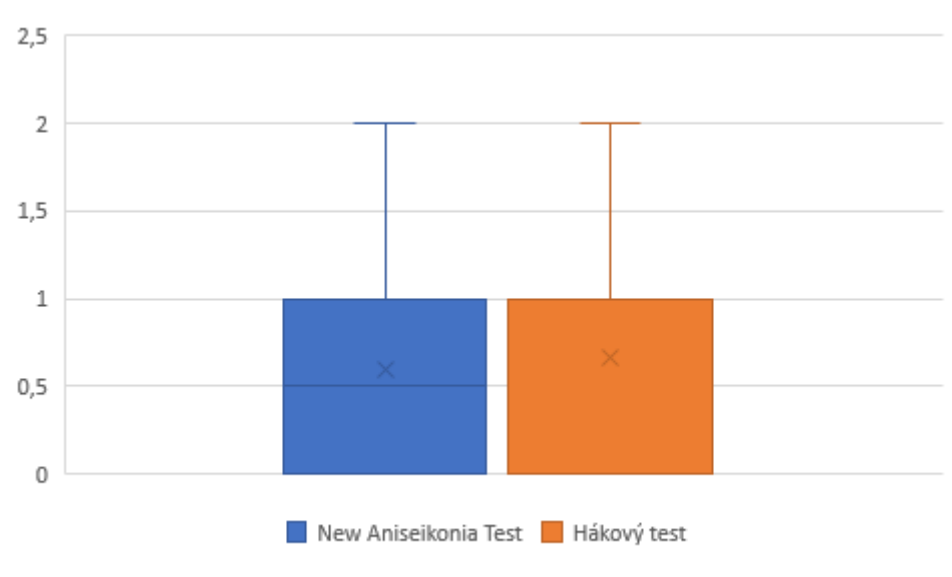
- $H_{0,2}$  a  $H_{A,2}$

Nulová hypotéza  $H_{0,2}$ , předpokládá, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřené ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 2% je nulový. Ve výstupní *Tabulce p 1* (viz. *Přílohy*) a *Tabulce p 2* (viz. *Přílohy*) jsou vyhodnocené hodnoty anizeikonie změřené pomocí New Aniseikonia Testu a hákového testu ve vertikálním směru. Z obou tabulek lze vyčíst hodnotu  $t$  Stat, která činí 11,366 (*Tabulka p 1*) a 12,042 (*Tabulka p 2*). Po porovnání s kritickou hodnotou ( $t_{krit}(2) = 2,045$ ) vychází, že nulová hypotéza je zamítnuta, a tedy že je alternativní hypotéza  $H_{A,2}$  potvrzena.

Pro grafické znázornění výsledků hypotéz  $H_{0,2}$  a  $H_{A,2}$  v *Obrázku 26* byl zvolen krabicový graf, který znázorňuje rozdělení dat do kvartilů a zvýrazňuje meridián a odlehlé hodnoty. Z barevných sloupců vedou vertikální čáry, které označují směrodatné odchylky. Základní charakteristiky souboru hodnot naměřené anizeikonie ve vertikálním směru s čočkou s 2% zvětšením jsou uvedeny v *Tabulce 4*.

**Tabulka 4** - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 2% ve vertikálním směru

Zvětšení 2% - vertikální směr		
	NAT	Hákový test
Počet měření	30	30
Střední hodnota	0,5	1
Rozptyl výběru	0,455	0,368
Směrodatná odchylka	0,675	0,606



**Obrázek 26** - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz  $H_{0,2}$  a  $H_{A,2}$

- $H_{0,3}$  a  $H_{A,3}$

Nulová hypotéza  $H_{0,3}$ , která předpokládá, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřené v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 3% je nulový. Ve výstupní *Tabulce p 3* (viz. *Přílohy*) a *Tabulce p 4* (viz. *Přílohy*) jsou vyhodnocené hodnoty anizeikonie změřené pomocí New Aniseikonia Testu a hákového testu v horizontálním směru. Z obou tabulek lze

vyčíst hodnotu  $t$  Stat, která činí 12,42 (*Tabulka p 3*) a 114,994 (*Tabulka p 4*). Po porovnání s kritickou hodnotou ( $t_{krit}(2) = 2,045$ ) vychází, že nulová hypotéza je zamítnuta, a tedy že je alternativní hypotéza  $H_{A,3}$  potvrzena.

Pro grafické znázornění výsledků hypotéz  $H_{0,3}$  a  $H_{A,3}$  v *Obrázku 27* byl zvolen krabicový graf, který znázorňuje rozdělení dat do kvartilů a zvýrazňuje meridián a odlehlé hodnoty. Z barevných sloupců vedou vertikální čáry, které označují směrodatné odchylky. Základní charakteristiky souboru hodnot naměřené anizeikonie v horizontálním směru s čóčkou s 3% zvětšením jsou uvedeny v *Tabulce 5*.

**Tabulka 5** - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 3% v horizontálním směru

Zvětšení 3% - horizontální směr		
	NAT	Hákový test
Počet měření	30	30
Střední hodnota	1	1
Rozptyl výběru	0,562	0,516
Směrodatná odchylka	0,750	0,718



**Obrázek 27** - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz  $H_{0,3}$  a  $H_{A,3}$

- $H_{0,4}$  a  $H_{A,4}$

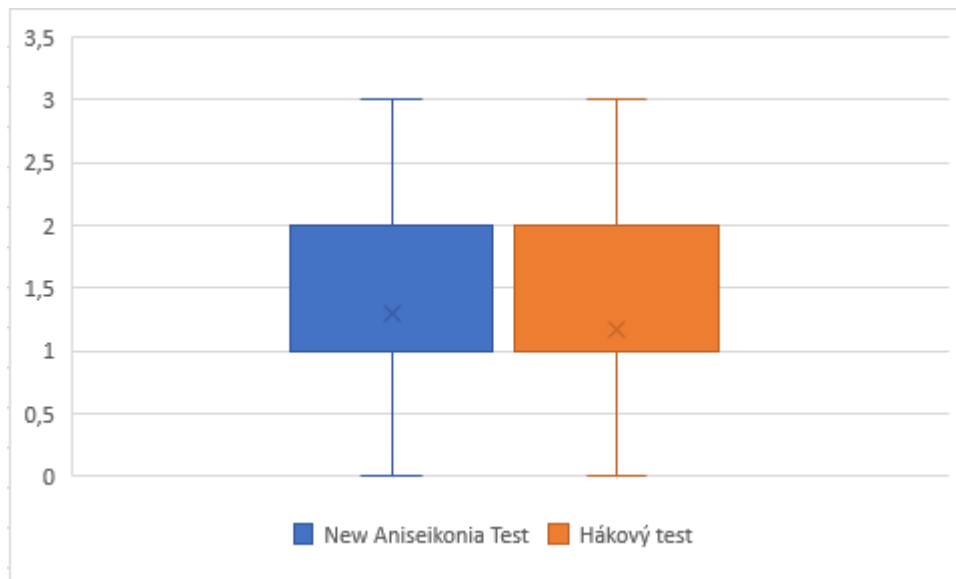
Nulová hypotéza  $H_{0,4}$ , která předpokládá, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřené ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonía Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 3% je nulový. Ve výstupní *Tabulce p 5* (viz. *Přílohy*) a *Tabulce p 6* (viz. *Přílohy*) jsou vyhodnocené hodnoty anizeikonie změřené pomocí New Aniseikonía Testu a hákového testu ve vertikálním směru. Z obou tabulek lze vyčíst hodnotu  $t$  Stat, která činí 10,618 (*Tabulka p 5*) a 13,449 (*Tabulka p 6*). Po porovnání s kritickou hodnotou ( $t_{krit}(2) = 2,045$ ) vychází, že nulová hypotéza je zamítnuta, a tedy že je alternativní hypotéza  $H_{A,4}$  potvrzena.

Pro grafické znázornění výsledků hypotéz  $H_{0,4}$  a  $H_{A,4}$  v *Obrázku 28* byl zvolen krabicový graf, který znázorňuje rozdělení dat do kvartilů a zvýrazňuje meridián a odlehlé hodnoty. Z barevných sloupců vedou vertikální čáry, které označují směrodatné odchylky. Základní charakteristiky souboru hodnot naměřené anizeikonie ve vertikálním směru s čočkou s 3% zvětšením jsou uvedeny v *Tabulce 6*.

**Tabulka 6** - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 3% ve vertikálním směru

Zvětšení 3% - vertikální směr		
	NAT	Hákový test
Počet měření	30	30
Střední hodnota	1	1
Rozptyl výběru	0,769	0,557
Směrodatná odchylka	0,877	0,747





Obrázek 28 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz  $H_{0,4}$  a  $H_{A,4}$

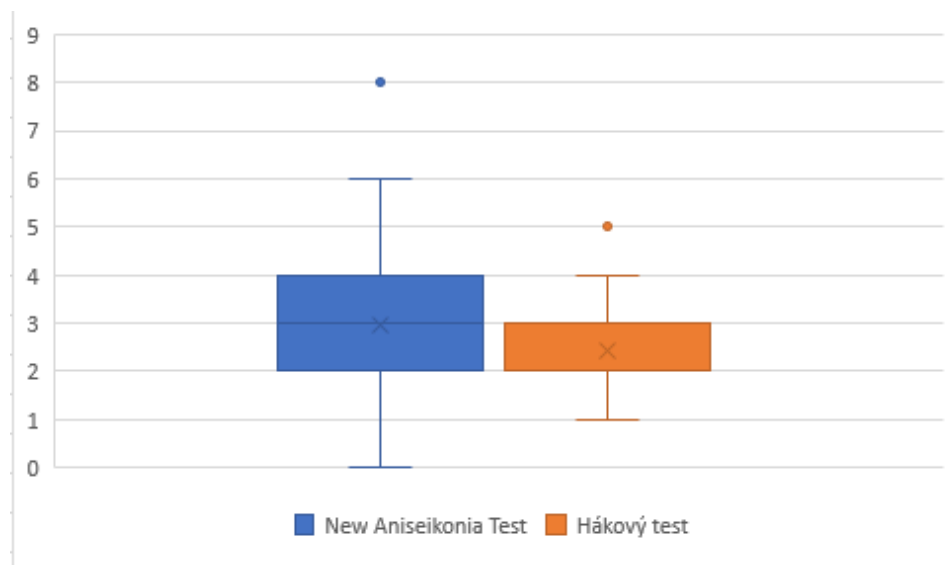
- $H_{0,5}$  a  $H_{A,5}$

Nulová hypotéza  $H_{0,5}$ , která předpokládá, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřené v horizontálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 7% je nulový. Ve výstupní *Tabulce p 7* (viz. *Přílohy*) a *Tabulce p 8* (viz. *Přílohy*) jsou vyhodnocené hodnoty anizeikonie změřené pomocí New Aniseikonia Testu a hákového testu v horizontálním směru. Z obou tabulek lze vyčíst hodnotu  $t$  Stat, která činí 13,221 (*Tabulka p 7*) a 29,140 (*Tabulka p 8*). Po porovnání s kritickou hodnotou ( $t_{krit}(2) = 2,045$ ) vychází, že nulová hypotéza je zamítnuta, a tedy že je alternativní hypotéza  $H_{A,5}$  potvrzena.

Pro grafické znázornění výsledků hypotéz  $H_{0,5}$  a  $H_{A,5}$  v *Obrázku 29* byl zvolen krabicový graf, který znázorňuje rozdělení dat do kvartilů a zvýrazňuje meridián a odlehlé hodnoty. Z barevných sloupců vedou vertikální čáry, které označují směrodatné odchylky. Základní charakteristiky souboru hodnot naměřené anizeikonie v horizontálním směru s čočkou s 7% zvětšením jsou uvedeny v *Tabulce 7*.

**Tabulka 7** - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 7% v horizontálním směru

Zvětšení 7% - horizontální směr		
	NAT	Hákový test
Počet měření	30	30
Střední hodnota	3	2
Rozptyl výběru	2,792	0,737
Směrodatná odchylka	1,671	0,858

**Obrázek 29** - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz  $H_{0,5}$  a  $H_{A,5}$ 

- $H_{0,6}$  a  $H_{A,6}$

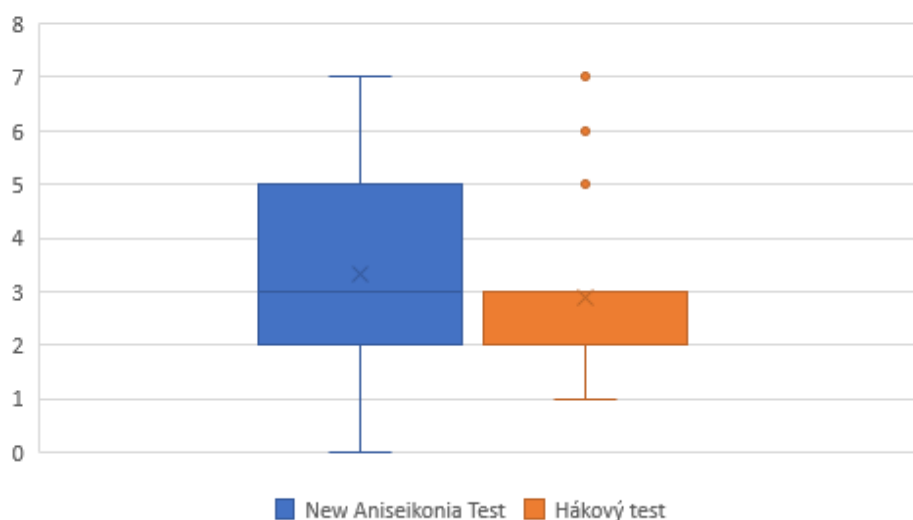
Nulová hypotéza  $H_{0,6}$ , která předpokládá, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřené ve vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu s hodnotou předsazené anizeikonické čočky se zvětšením 7% je nulový. Ve výstupní *Tabulce p 9* (viz. *Přílohy*) a *Tabulce p 10* (viz. *Přílohy*) jsou vyhodnocené hodnoty anizeikonie změřené pomocí New Aniseikonia Testu a hákového testu ve vertikálním směru. Z obou tabulek lze vyčíst hodnotu  $t$  Stat, která činí 11,617 (*Tabulka p 9*) a 18,088 (*Tabulka p 10*). Po porovnání s kritickou hodnotou ( $t_{krit}(2) = 2,045$ ) vychází, že nulová hypotéza je zamítnuta, a tedy že je alternativní hypotéza  $H_{A,6}$  potvrzena.

Pro grafické znázornění výsledků hypotéz  $H_{0,6}$  a  $H_{A,6}$  v *Obrázku 30* byl zvolen krabicový graf, který znázorňuje rozdělení dat do kvartilů a zvýrazňuje meridián a odlehlé hodnoty. Z barevných sloupců vedou vertikální čáry, které označují směrodatné odchylky. Základní

charakteristiky souboru hodnot naměřené anizeikonie ve vertikálním směru s čočkou s 7% zvětšením jsou uvedeny v *Tabulce 8*.

**Tabulka 8** - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 7% ve vertikálním směru

Zvětšení 7% - vertikální směr		
	NAT	Hákový test
Počet měření	30	30
Střední hodnota	3	3
Rozptyl výběru	2,989	1,541
Směrodatná odchylka	1,729	1,242



**Obrázek 30** - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz  $H_{0,6}$  a  $H_{A,6}$

**Tabulka 9** - Vyhodnocení nulových a alternativních hypotéz

Hypotéza	potvrzena/ zamítnuta
$H_{0,1}$	zamítnuta
$H_{A,1}$	potvrzena
$H_{0,2}$	zamítnuta
$H_{A,2}$	potvrzena
$H_{0,3}$	zamítnuta
$H_{A,3}$	potvrzena
$H_{0,4}$	zamítnuta
$H_{A,4}$	potvrzena
$H_{0,5}$	zamítnuta
$H_{A,5}$	potvrzena
$H_{0,6}$	zamítnuta
$H_{A,6}$	potvrzena

- **$H_7$**

Pro statistické vyhodnocení hypotézy  **$H_7$** , která předpokládá, že se zvyšující se hodnotou předsazené anizeikonické čočky se bude zvyšovat hodnota naměřené arteficiální anizeikonie byl využit korelační koeficient  $p$ , který se využívá pro vyjádření míry korelace. Dle obecných platností nabývá hodnot -1 až +1, které tvoří krajní hodnoty, jež ukazují na funkční závislost.

- Hodnota 0 znamená, že mezi hodnotami lineární závislost není.
- Platí-li  $p > 0$ , pak se jedná o vztah, kdy s rostoucími hodnotami jedné veličiny se zvyšují i hodnoty druhé (nebo obě klesají).
- Platí-li  $p < 0$ , pak se jedná o vztah, kdy s rostoucími hodnotami jedné veličiny klesají hodnoty druhé a naopak.
- Korelační koeficient  $p$  pro metodu měření pomocí New Aniseikonion Testu vyšel 0,66 a pro metodu měření pomocí hákového testu vyšel 0,76. Podle vztahu  $p > 0$ , se hypotéza  $H_7$  se potvrdila.

## 5 Diskuze

Před samotným měřením hodnot anizeikonie s předsazenými anizeikonickými čočkami byla zjišťována přítomnost naturální anizeikonie, která se zjišťovala v horizontálním a vertikálním směru pomocí dvou metod. Z grafů, které jsou znázorněny na *Obrázku 17* a *Obrázku 18*, je patrné, že pouze metoda New Aniseikonie testu zaznamenala několik případů anizeikonie, které ale nepřesahovaly významnou hodnotu. V horizontálním směru byla změřena 1% anizeikonie u 7 probandů z 30 a ve vertikálním směru byla zjištěna 1% anizeikonie u 4 probandů. Při měření se vyskytly i některé poměrně zajímavé případy, jako například u jednoho probanda se při měření metodou New Aniseikonie Testu vyskytla tvarová anizeikonie, která se projevila tvarovou deformací jednoho z dvojice půlkruhů, pomocí kterých se anizeikonie testovala. Nakonec byl tento proband z výběru vyřazen, díky intermitentní supresi pravého oka.

Pro potvrzení nebo vyvrácení nulových hypotéz byl použit párový t-test. Nulové hypotézy předpokládají, že rozdíl hodnot arteficiální anizeikonie naměřených pomocí New Aniseikonie Testu a pomocí hákového testu s hodnotami zvětšení předsazených anizeikonických čoček je nulový. Pro statistickou analýzu byly využity hodnoty naměřené v horizontálním a vertikálním směru. Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $\alpha = 0,05$ . Při ověřování nulových hypotéz vyšly vždy hodnoty  $t_{Stat}$  vyšší než byla kritická hodnota ( $t_{krit}(2) = 2,045$ ), a tedy platí  $|t_{Stat}| > t_{krit}(2)$ . Z toho vyplývá, že nulové hypotézy byly zamítnuty, a alternativní hypotézy byly potvrzeny. Statistická analýza tedy ukázala, že naměřené hodnoty arteficiální anizeikonie jsou podhodnoceny.

Pro ověření hypotézy  $H_7$ , která předpokládá, že se zvyšující se hodnotou předsazené anizeikonické čočky se bude zvyšovat hodnota naměřené arteficiální anizeikonie, byla provedena korelace naměřených hodnot s hodnotami zvětšení anizeikonických čoček. Z uvedených výsledků vyplývá, že platí vztah  $p > 0$ , a tedy že je hypotéza potvrzena. Hodnoty naměřené pomocí New Aniseikonie Testu se zvětšením anizeikonických čoček korelují na 66 %. Kdežto hodnoty naměřené pomocí hákového testu se zvětšením anizeikonických čoček dosáhly vyšší korelace a to 76 %. Tyto hodnoty nejsou až tak výrazné, jak by se dalo očekávat, vzhledem ke stanovené hypotéze. Jednou z možných příčin, že vyšly spíše středně silné korelace, by mohl být nízký počet zkoumaných probandů, který musel být z důvodu komplikací spojených s pandemií koronaviru (COVID-19) snížen. Proto by zde

mohl být prostor pro případný hlubší výzkum, který by zkoumal tento vztah u většího počtu probandů, a tím by byly výsledky přesnější.

Další z možných příčin, proč hodnoty arteficiální anizeikonie po předložení anizeikonických čoček vycházely takto nízké, by mohla být snížená koncentrace probandů, neboť celkové měření bylo poměrně časově náročné a hlavně náročné na soustředění. Z toho také vyplývá, že na měření mohl mít vliv celkový psychický a fyzický stav probanda. Také určité osobnostní nastavení, kdy někteří probandi sdělili své odpovědi po důkladném zvážení a jiní odpověděli ihned, mohlo také ovlivnit výsledky. Vliv také mohlo mít to, že většina probandů se nikdy dříve nesetkala s metodami měření anizeikonie, a proto mohly vzniknout nepřesné odpovědi díky nesprávnému pochopení instrukcí. V neposlední řadě se na hodnotách naměřené anizeikonie projevila senzorická kompenzace (adaptace) rozdílně velkých obrazů pravého a levého oka.

## Závěr

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo blíže se seznámit s problematikou anizeikonie. Anizeikonie je porucha binokulárního vidění, a proto je úvodní kapitola věnována právě binokulárnímu vidění a jeho stupně. Hlavní část je poté věnována samotné anizeikonii, kde je zaměřena pozornost především na klasifikaci anizeikonie a z jakých příčin může anizeikonie vzniknout. Velká část je také věnována metodám detekce a měření anizeikonie, mezi které patří i metody New Aniseikonia Testu a hákového testu, jež byly využity v praktické části bakalářské práce.

Řada studií uvádí, že změřené hodnoty anizeikonie jsou často podhodnoceny. Z toho důvodu byly na začátku praktické části stanoveny jisté předpoklady týkající se této problematiky. Při měření a následném vyhodnocení byla věnována pozornost, zda se vyskytuje rozdíl naměřených hodnot arteficiální anizeikonie pomocí dvou metod a hodnot zvětšení předsazených anizeikonických čoček, které činilo 2 %, 3 % a 7 %. Před navozením arteficiální anizeikonie se nejprve změřily hodnoty bez anizeikonických čoček. Měření ukázalo, že nikdo z probandů neměl vyšší anizeikonii než je 1 % a nevykazoval žádné symptomy.

Po změření hodnot arteficiální anizeikonie v horizontálním a vertikálním směru pomocí New Aniseikonia Testu a pomocí hákového testu, byly tyto hodnoty následně vyhodnoceny. Prokázalo se, že existuje rozdíl mezi změřenými hodnotami arteficiální anizeikonie a zvětšením předsazených anizeikonických čoček, díky kterým byla anizeikonie simulována. Výsledky mohly být ovlivněny několika faktory, mezi které můžeme zařadit například vysokou náročnost měření na koncentraci probandů.

Při bližším prozkoumání výsledků se ukázalo, že hodnoty anizeikonie jsou více podhodnoceny v horizontálním směru než ve vertikálním. Více znatelné to bylo především u hodnot změřených pomocí hákového testu. Možné odůvodnění nižší platnosti testů anizeikonie v horizontálním směru ve srovnání s vertikálním je vyšší výskyt heteroforií a fixačních disparit v horizontální rovině, což může způsobit nestabilitu obrázků a ztěžovat srovnání jejich velikostí.

Výsledkem praktické části je, že obě metody měření podhodnocují hodnoty anizeikonie a díky tomu spolehlivost testů není příliš vysoká. Tyto testy by při klinickém měření anizeikonie měly být používány s opatrností. Možnost porovnání výsledků této práce s

výsledky jiných studií jsou omezené a poukazuje to na potřebu dalších studií, které by potvrdily závěry, kterých bylo dosaženo.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlček, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [2] KUČERA, Přemysl. *Přednášky z předmětu 17PBOBZOA-Binokulární vidění, základy ortoptiky*
- [3] THEOCHARIDES, Andreas. *Velikost obrazu na sítnici, stanovení a korekce anizeikonie včetně optických principů*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- [4] DIVIŠOVÁ, Gabriela. *Strabismus*. 2., upr. vyd. Praha: Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0037-7.
- [5] ROWE, Fiona. *Clinical orthoptics*. Third edition. Chichester: Wiley, 2012. ISBN 978-1-4443-3934-5
- [6] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. 2. vydání. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1995. ISBN 80-7013-207-8.
- [7] KRAUS, Hanuš. a kol. *Kompendium očního lékařství*. 1. vydání. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1
- [8] Poruchy oka a vidění (pediatrie): Fyziologický vývoj vidění. *WikiSkripta* [online]. Praha: 1. lékařské fakulty a Univerzity Karlovy, 2008 Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Poruchy\\_oka\\_a\\_vidění\\_\(pediatrie\)#Fyziologick.C3.BD\\_v.C3.BDvoj\\_vid.C4.9Bn.C3.AD](https://www.wikiskripta.eu/w/Poruchy_oka_a_vidění_(pediatrie)#Fyziologick.C3.BD_v.C3.BDvoj_vid.C4.9Bn.C3.AD)
- [9] ELLIOTT, David. *Clinical Procedures in Primary Eye Care*. 3rd ed. Bradford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8896-3.
- [10] Diplopie: Binokulární diplopie. *WikiSkripta* [online]. Praha: 1. lékařské fakulty a Univerzity Karlovy, 2008 Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Diplopie>
- [11] EVANS, Bruce a David PICKWELL. *Pickwell's binocular vision anomalies*. 5th ed. New York: Elsevier Butterworth Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [12] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. 3. vydání. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2004. 96 s. ISBN 80-7013-402-X.
- [13] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007, 768 s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [14] TUNNACLIFFE, Alan. *Introduction to visual optics*. 4th ed. Godmersham Park: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 978-0-90009-928-1.
- [15] SOUTH, Jayshree, Tina GAO, Andrew COLLINS, Jason TURUWHENUA, Kenneth ROBERTSON a Joanna BLACK. Aniseikonia and anisometropia: implications for suppression and amblyopia. *Clinical and experimental optometry* [online]. 2019, 13 January 2019, **102**(6), 1-4 [cit. 2020-05-25]. DOI: 10.1111/cxo.12881. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/cxo.12881>

- [16] BENJAMIN, William a Irvin BORISH. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, 2006. ISBN 07-506-7524-1.
- [17] SCHEIMAN, Mitchell a Bruce WICK. *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders*. 4th ed. Philadelphia: LIPPINCOTT WILLIAMS AND WILKINS, 2013. ISBN 9781451175257.
- [18] AUTRATA, Rudolf a ČERNÁ, Jana. *Nauka o zraku*, 1. vydání, Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2006, 226 s. ISBN 80-7013-362-7.
- [19] LANCASTER, Walter. *A Bibliography of Visual Literature 1939-1944: Aniseikonia*. New Haven: New Haven: Yale Medical Library, 1945.
- [20] FANNIN, Troy a Theodore GROSVENOR. *Clinical optics*. Boston: Butterworths, c1987. ISBN 0409900605.
- [21] KLUKOVÁ, Barbora. *Anizeikonie - její měření a korekce: Fyziologická a nefyziologická anizeikonie* [online]. Kladno, 2017 Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74733/FBMI-BP-2017-Klukova-Barbora-prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Mgr. Bc. Pavel Fišer.
- [22] SHAWLENSpatentpending:Aniseikonia. [Http://shawlens.com/aniseikonia/what\\_is\\_aniseikonia/](http://shawlens.com/aniseikonia/what_is_aniseikonia/) [online]. [cit. 2020-01-10].
- [23] KRATKOCZKÁ, Daniela. *Metódy riešenia anizeikonie*. *Česká oční optika* [online]. Brno: EXPO DATA spol. s r.o., 2018, 59(4), 20-22, ISSN 1211-233X. Dostupné z: [https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci\\_2018\\_04.pdf](https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2018_04.pdf)
- [24] HOWARD, Ian a Brian ROGERS. *Binocular vision and stereopsis*. New York: Oxford University Press, 1995. 736 p., [4] p. of plates. ISBN 01-950-8476-4.
- [25] Aniseikonia. *Optical Diagnostics* [online]. Dostupné z: <http://www.opticaldiagnostics.com/info/aniseikonia.html>
- [26] LINGZHI, Zhao a Wu HUANG. Evaluation of aniseikonia with an auto-stereoscopic smartphone. *Annals of Translational Medicine* [online]. 2019, 16 October 2019, 7(22), 1-2 [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.21037/atm.2019.10.63. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6944609/pdf/atm-07-22-642.pdf>
- [27] De Wit Gerard. Retinally-induced aniseikonia. *Binocul Vis Strabismus* [online]. 2007, (22), 1-2 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: [http://classroster.lvpei.org/cr/images/ARCHEIVE/2019/Sourav%20Datta\\_Case%20Article%201\\_26-09-2019.pdf](http://classroster.lvpei.org/cr/images/ARCHEIVE/2019/Sourav%20Datta_Case%20Article%201_26-09-2019.pdf)
- [28] RABBETTS, Ronald. *Bennett & Rabbetts' clinical visual optics*. 4th ed. New York: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2007. ISBN 9780750688741.
- [29] KUNDART, James. Diagnosis and Treatment of Aniseikonia: A Case Report and Review. *Optometry & Visual Performance* [online]. 2018, July 2018, 6(3), 3-4 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.ovpjournal.org/uploads/2/3/8/9/23898265/63d.pdf>

- [30] POLÁŠEK, Jaroslav a kol. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Nakladatelství technické literatury ve Středisku interních publikací, 1974. 188-190, 329-330 s.
- [31] ANISEIKONIE 1. díl. *Očima: Studentský časopis Optometrie a Ortoptiky* [online]. Brno, 2013, 20.3.2014, (3.) [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <http://ocima.wz.cz/?p=616>
- [32] LIFELONG EDUCATION FOR THE OPHTHALMOLOGIST. Optics, refraction, and contact lenses: 1999-2000. San Francisco: American academy of ophthalmology, 1999, 304 s, ISBN 1560551569
- [33] NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010. 168-169, 177-178 s. ISBN 80-7013-328-7.
- [34] DOSTÁLOVÁ, Marcela. *Léčebné brýle*. Sborník přednášek 1. Celostátní studentské konference optometrie, Brno: Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta, Katedra optometrie a ortoptiky, 2010, roč.1, 141-142 s.
- [35] LONG, Bill. *Spectacle Magnification* [online]. Dostupné z: [http://www.drdrbill.com/downloads/optics/opth-optics/Spectacle\\_Magnification.pdf](http://www.drdrbill.com/downloads/optics/opth-optics/Spectacle_Magnification.pdf)
- [36] POMAJBÍKOVÁ, Vendula. *Iseikonické čočky – korekce anizometropie a výpočet vlastního zvětšení brýlových čoček*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- [37] Optical Diagnostics, *Aniseikonia Inspector, version 3, USER'S MANUAL*, 2012
- [38] TONG, Derek . *Awaya Aniseikonia Test Diagnosis* [online]. 1 ,Dostupné z: <https://www.good-lite.com/cw3/Assets/documents/137800%20diagnosis-web.pdf>
- [39] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Kontaktní čočky*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-7013-387-2.
- [40] KANSKI Jack, Brad BOWLING, Andrew PEARSON a Ken NISCHAL. *Clinical ophthalmology a systematic approach*. 7th ed. Edinburgh: Butterworth Heinemann Elsevier, 2011. ISBN 9780702040955.
- [41] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [42] METHLING, Dieter. *Bestimmen von Sehhilfen*. 3.Auflage. Stuttgart: Thieme, 2012. ISBN 978-3131639431.
- [43] RUTRLE, Miloš. *Binokulární korekce na polatestu*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-302-3.
- [44] HABERLAND, Tomáš. *Vysvětlení funkce jednotlivých optotypových testů k projekčnímu optotypu POTEC 6100*. Praha: meOph, SlideServe [online]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/ulf/vysv-tlen-funkce-jednotliv-ch-optotypov-ch-test-k-projek-n-mu-optotypu-potec-6100>
- [45] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. 133-137 s. ISBN 80-7013-301-5.

- [46] KRASŇANSKÝ, Michal. *The evaluation of a new iPad Aniseikonia Test*. Aalen, 2015. Diplomová práce. Hochschule Aalen. Vedoucí práce Matjaz Mihelcic Anna Nagl.
- [47] FLETCHER, Robert. *Normal binocular vision: Theory, investigation and practical aspects*. Oxford: Blackwell Publishing, 2011. ISBN 978-1405192507.
- [48] MCCORMACK, Glen, Eli PELI a Patrick STONE. Differences in Tests of Aniseikonia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. 1992, **33**(6), 1-2 [cit. 2020-01-10]. ISSN 1552-5783. Dostupné z: <https://iovs.arvojournals.org/>
- [49] MURAKAMI, Tomoya, Fumiki OKAMOTO, Yoshimi SUGIURA, Yoshifumi OKAMOTO, Takahiro HIRAOKA a Tetsuro OSHIKA. Changes in aniseikonia and influencing-factors following successful macula-off retinal detachment surgery. *Scientific Reports*. 2019, (9), 5. ISSN 2045-2322.
- [50] *Good-Lite* [online]. Elgin [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.good-lite.com/Details.cfm?ProdID=949>
- [51] ANTONA, Beatriz, Francisco BARRA, Ana BARRIO, Enrique GONZALEZ a Isabel SANCHEZ. Validity and Repeatability of a New Test for Aniseikonia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2007, **48**(1), 1-2.

## Seznam zkratek

---

Zkratka	Význam
D	Dioptrie
LASIK	Laser in situ keratomileusis
LASEK	Laser-assisted subepithelial keratectomy
PRK	Fotorefraktivní keratometrie
Δ	Prizma
IOL	Intraocular lens
cyl	cylindr
NPC	Near point of convergence
NAT	New Aniseikonia Test

---

## Seznam obrázků

Obrázek 1A - Statická anizeikonie [22]	Obrázek 1B - Dynamická anizeikonie [22].....	8
Obrázek 2A - Celková symetrická anizeikonie [15] .....		9
Obrázek 3 - Sada izeikonických čoček [37] .....		17
Obrázek 4 - Vertikální a horizontální hákový test [44].....		21
Obrázek 5 - Uspořádání.....		22
Obrázek 6 - Uspořádání Turvillova testu při izeikonii [17].....		22
Obrázek 7 - Uspořádání Maddoxova eikonometru [45].....		23
Obrázek 8 - Možnosti výsledných vizuálních vjemů u Maddoxova eikonometru [45] .....		24
Obrázek 9 - Možnosti vizuálních vjemů u Brecherova eikonometru [45] .....		25
Obrázek 10 - Uspořádání Ames-Glydonova standardního eikonometru [45] .....		26
Obrázek 11 - Rozdílné vnímání při izeikonii a anizeikonii [45].....		27
Obrázek 12 - Uspořádání Ogle-Amesova space eikonometru [45].....		28
Obrázek 13 - New Aniseikonion Test (Awaya) [50].....		29
Obrázek 14 - Aniseikonion Inspektor [25] .....		30
Obrázek 15 - Anizeikonická elipsa [2] .....		31
Obrázek 16 - Graf procentuálního zastoupení probandů v závislosti na pohlaví .....		34
Obrázek 17 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie v horizontálním směru bez předložených anizeikonických čoček.....		38
Obrázek 18 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie ve vertikálním směru bez předložených anizeikonických čoček.....		38
Obrázek 19 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 2% v horizontálním směru.....		39
Obrázek 20 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 2% ve vertikálním směru.....		40
Obrázek 21 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 3% v horizontálním směru.....		40
Obrázek 22 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 3% ve vertikálním směru.....		41
Obrázek 23 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 7% v horizontálním směru.....		41
Obrázek 24 - Graf četnosti naměřených hodnot anizeikonie s předsazenou anizeikonickou čočkou se zvětšením 7% ve vertikálním směru.....		42
Obrázek 25 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz <b>H0, 1</b> a <b>HA, 1</b> .....		44
Obrázek 26 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz <b>H0, 2</b> a <b>HA, 2</b> .....		45
Obrázek 27 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz <b>H0, 3</b> a <b>HA, 3</b> .....		46
Obrázek 28 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz <b>H0, 4</b> a <b>HA, 4</b> .....		48
Obrázek 29 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz <b>H0, 5</b> a <b>HA, 5</b> .....		49
Obrázek 30 - Krabicový graf znázorňující výsledky hypotéz <b>H0, 6</b> a <b>HA, 6</b> .....		50

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy <b><math>H_0, 1</math></b> a <b><math>H_A, 1</math></b> .....	43
Tabulka 2 - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy <b><math>H_0, 1</math></b> a <b><math>H_A, 1</math></b> .....	43
Tabulka 3 - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 2% v horizontálním směru .....	44
Tabulka 4 - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 2% ve vertikálním směru .....	45
Tabulka 5 - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 3% v horizontálním směru .....	46
Tabulka 6 - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 3% ve vertikálním směru .....	47
Tabulka 7 - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 7% v horizontálním směru .....	49
Tabulka 8 - Základní charakteristika hodnot anizeikonie se zvětšením 7% v horizontálním směru .....	50
Tabulka 9 - Vyhodnocení nulových a alternativních hypotéz .....	50

## Přílohy

**Tabulka p 1** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy  $H_{0,2}$  a  $H_{A,2}$

	<i>zvětšení 2%</i>	<i>New Aniseikonia Test</i>
Stř. hodnota	2	0,6
Rozptyl	0	0,455
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	11,366	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 2** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy  $H_{0,2}$  a  $H_{A,2}$

	<i>zvětšení 2%</i>	<i>Hákový test</i>
Stř. hodnota	2	0,667
Rozptyl	0	0,368
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	12,042	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 3** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy  $H_{0,3}$  a  $H_{A,3}$

	<i>zvětšení 3%</i>	<i>New Aniseikonia Test</i>
Stř. hodnota	3	1,3
Rozptyl	0	0,562
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	12,42	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	



**Tabulka p 4** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy  $H_{0,3}$  a  $H_{A,3}$ 

	<i>zvětšení 3%</i>	<i>Hákový test</i>
Stř. hodnota	3	1,033
Rozptyl	0	0,516
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	14,994	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 5** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy  $H_{0,4}$  a  $H_{A,4}$ 

	<i>zvětšení 3%</i>	<i>New Aniseikonia Test</i>
Stř. hodnota	3	1,3
Rozptyl	0	0,769
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	10,618	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 6** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy  $H_{0,4}$  a  $H_{A,4}$ 

	<i>zvětšení 3%</i>	<i>Hákový test</i>
Stř. hodnota	3	1,167
Rozptyl	0	0,557
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	13,449	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 7** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy  $H_{0,5}$  a  $H_{A,5}$ 

	<i>zvětšení 7%</i>	<i>New Aniseikonia Test</i>
Stř. hodnota	7	2,967
Rozptyl	0	2,792
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	13,221	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 8** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy  $H_{0,5}$  a  $H_{A,5}$ 

	<i>zvětšení 7%</i>	<i>Hákový test</i>
Stř. hodnota	7	2,433
Rozptyl	0	0,737
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	29,140	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 9** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené NAT pro hypotézy  $H_{0,6}$  a  $H_{A,6}$ 

	<i>zvětšení 7%</i>	<i>New Aniseikonia Test</i>
Stř. hodnota	7	3,333
Rozptyl	0	2,989
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	11,617	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	

**Tabulka p 10** - Výsledky párového t-testu s hodnotami měřené hákovým testem pro hypotézy  $H_{0,6}$  a  $H_{A,6}$ 

	<i>zvětšení 7%</i>	<i>Hákový test</i>
Stř. hodnota	7	2,9
Rozptyl	0	1,541
Pozorování	30	30
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	29	
t Stat	18,088	
P(T<=t) (1)	0	
t krit (1)	1,699	
P(T<=t) (2)	0	
t krit (2)	2,045	