

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2019

**MICHAELA
BALŠÁNKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Význam randomizace při měření defokusační křivky

The importance of randomization in measuring the defocused curve

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Michaela Balšánková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eliška Palkovičová

Konzultant bakalářské práce: MUDr. Jiří Cendelín, CSc.

Kladno 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Balšánková** Jméno: **Michaela** Osobní číslo: **456585**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodních věd**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Význam randomizace při měření defokusační křivky

Název bakalářské práce anglicky:

The importance of randomization in measuring the defocused curve

Pokyny pro vypracování:

V práci bude zpracována problematika defokusační křivky jakožto nástroje pro hodnocení hloubky ostrosti oka. V práci budou shrnuty faktory ovlivňující hloubku ostrosti, princip defokusační křivky, postup vyšetření pro získání defokusační křivky a její využití v oftalmologické praxi. V praktické části budou porovnány výsledky měření defokusační křivky u skupiny s postupným defokusem a u skupiny s randomizovaným defokusem.

Seznam doporučené literatury:

- [1] CIONNI, R.J., Get to know the defocus curve, *Cataract Refract Surg Today*, 2010, 39-42 s.
- [2] WOLFFSOHN, J.S., et al., Exploring the optimum step size for defocus curves, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, ročník 39, číslo 6, 2013, 873-880 s.
- [3] GUPTA, N., WOLFFSOHN, J.S., NAROO, S.A., Optimizing measurement of subjective amplitude of accommodation with defocus curves, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, ročník 34, číslo 8, 2008, 1329-1338 s.
- [4] GUPTA, N., NAROO, S.A., WOLFFSOHN, J.S., Is randomisation necessary for measuring defocus curves in pre-presbyopes, *Contact Lens and Anterior Eye*, ročník 30, číslo 2, 2007, 119-124 s.

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Eliška Palkovičová

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

MUDr. Jiří Cendelín, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

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

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

Název bakalářské práce: Význam randomizace při měření defokusační křivky

Abstrakt:

Tato práce je zaměřena na zpracování problematiky defokusační křivky. Cílem práce bylo zjistit a demonstrovat vliv randomizace na měření zrakové ostrosti pro sestrojení defokusační křivky. V teoretické části se práce věnuje tématu akomodace, katarakty, nitroočních čoček, hloubky ostrosti a úvodu do problematiky defokusační křivky. Experimentální část je zaměřena na samotné měření defokusační křivky u souboru 30 jedinců ve věku 15 – 78 let pomocí dvou metod, s postupným defokusem a randomizovaným defokusem. Při zhodnocení dosažených výsledků jsme dospěli k závěru, že měření jedinci dosahovali vyšších hodnot zrakové ostrosti při použití metody s postupným defokusem. Konkrétně pro hodnoty defokusu -3,5 D až -3,0 D, +0,5 D až +1,5 D u oka pravého, -4,5 D až -1,0 D, +0,5 D až +1,5 D u oka levého, byl nalezen statistický významný rozdíl.

Klíčová slova:

Defokusační křivka, hloubka ostrosti, nitrooční čočka

Bachelor's Thesis title: The importance of randomization of measuring the defocused curve

Abstract:

This thesis deals with the issues of defocus curve. The aim of this thesis is to find out and demonstrate the effect of randomization of measuring the defocused curve. In the theoretical part this thesis deals with the topic of accommodation, cataract, intraocular lenses, depth of focus and introduction to the issues of defocused curve. The experimental part is focused on the measurement of the defocused curve itself in a group of 30 individuals aged 15 – 78 years by using two methods, with gradual defocussion and randomized defocussion. In assessing the results achieved, we concluded that the measurements of individuals had higher visual acuity values using the gradual defocussion method. Specifically, for defocus values -3,5 D to -3,0 D, +0,5 D to +1,5 D at right eye, -4,5 D to -1,0 D, +0,5 D to +1,5 D at left eye, a statistically significant difference was found.

Key words:

Defocus curve, depth of focus, intraocular lens

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé práce Ing. Elišce Palkovičové za cenné rady a připomínky. Dále bych také chtěla poděkovat Mgr. Tomášovi Zdražilovi za odbornou pomoc při statistickém zpracování výsledných hodnot.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Vliv randomizace při měření defokusační křivky*“ 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
TEORETICKÁ ČÁST	2
1. AKOMODACE	2
1.1. AKOMODAČNÍ SYSTÉM.....	3
1.2. TEORIE AKOMODACE	3
1.2.1. <i>Helmholtzova teorie akomodace</i>	4
1.2.2. <i>Finchamova kapsulární teorie</i>	4
1.2.3. <i>Tscherningova teorie</i>	4
1.2.4. <i>Colemanova teorie</i>	4
1.2.5. <i>Goldbergova teorie</i>	5
1.3. AKOMODACE V PRESBYOPICKÉM VĚKU	5
2. KATARAKTA	6
2.1. TYPY KATARAKTY A JEJÍ PŘÍČINY	6
2.1.1. <i>Dětská katarakta</i>	6
2.1.2. <i>Senilní katarakta</i>	7
2.1.3. <i>Ostatní typy</i>	7
2.2. SUBJEKTIVNÍ PŘÍZNAKY	7
2.3. CHIRURGICKÉ ŘEŠENÍ	8
2.3.1. <i>Technika operace</i>	8
3. TYPY NITROOČNÍCH ČOČEK	10
3.1. MONOFOKÁLNÍ IOL	11
3.2. MULTIFOKÁLNÍ IOL	11
3.3. TÓRICKÉ IOL	11
3.4. ASFÉRIČKÉ IOL	12
3.5. EDOF, EROV IOL	12
4. HLOUBKA OSTROSTI	13
4.1. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ HLOUBKU OSTROSTI	13
5. DEFOKUSAČNÍ KŘIVKA	15
5.1. PRINCIP DEFOKUSAČNÍ KŘIVKY.....	15
5.2. METODY PRO ZÍSKÁNÍ DAT	15
5.3. HODNOCENÍ A INTERPRETACE DAT	16
5.4. VZHLED DEFOKUSAČNÍCH KŘÍVEK PRO KONKRÉTNÍ TYP IOL	18
5.4. VYUŽITÍ V OFTALMOLOGICKÉ PRAXI	21
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
6. ÚVOD DO EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....	22
7. METODIKA MĚŘENÍ.....	22
8. ZPRACOVÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	25
8.1. PRVNÍ CHARAKTERISTICKÁ SKUPINA	25
8.2. DRUHÁ CHARAKTERISTICKÁ SKUPINA	26

8.3. TŘETÍ CHARAKTERISTICKÁ SKUPINA.....	27
8.4. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	28
9. DISKUSE.....	32
ZÁVĚR.....	34
SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY.....	35
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	38
SEZNAM TABULEK.....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

Úvod

Lidské oko disponuje určitými zobrazovacími vlastnostmi, stejně jako každý jiný optický systém. Existuje mnoho faktorů, které kvalitu zobrazení ovlivňují, od vnějších faktorů po vnitřní, faktory ovlivnitelné či nikoli. Vlivem rostoucího věku podléhá naše optická soustava fyziologickým změnám, ke kterým dochází v různých částech systému. V dnešní moderní době jsme díky rychle rostoucímu technickému pokroku schopni některé jeho nefunkční části vyměnit za nové funkční náhražky, které dokáží opět zkvalitnit zrakový vjem.

Hlavním cílem práce je zpracovat problematiku defokusační křivky jakožto nástroje pro hodnocení hloubky ostrosti oka. Práce je rozdělena na dvě hlavní části, na část teoretickou a na část experimentální.

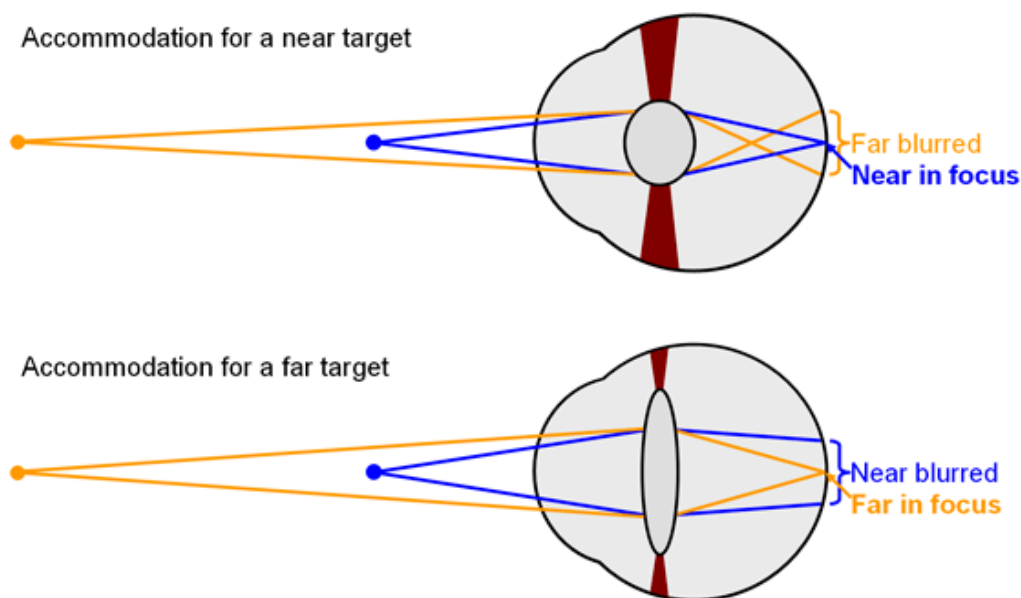
První, teoretická část je rozdělena do pěti kapitol. První kapitola se zaměřuje na akomodaci, zabývá se akomodačním systémem a jeho anatomii. Představuje některé akomodační teorie, dále je popsána akomodace v presbyopickém věku a změny v akomodačním systému věkem podmíněné. Ve druhé kapitole se práce věnuje jednotlivým typům šedého zákalu, obecně subjektivním příznakům a stručně představuje možné chirurgické řešení. Třetí kapitola popisuje jednotlivé typy nitroočních čoček (intraocular lens – IOL), které jsou při zákroku implantovány do oka místo zakalené fyziologické čočky. Čtvrtá kapitola se zabývá hloubkou ostrosti, kterou můžeme hodnotit pomocí defokusační křivky. Kapitola shrnuje vnitřní a vnější faktory, které mohou hloubku ostrosti ovlivňovat. Poslední, pátá kapitola se věnuje defokusační křivce, kde je vysvětlen její princip, je popsána metoda získání dat pro její hodnocení, samotné zpracování a interpretace dat, a zabývá se i využitím defokusační křivky v oftalmologické praxi. Součástí kapitoly jsou i grafy, kde je zobrazena charakteristická defokusační křivka pro konkrétní typ nitroočních čoček.

Druhá, experimentální část práce je zaměřena na samotné zpracování problematiky defokusační křivky. V úvodu experimentální části jsou uvedeny a popsány jednotlivé metody a postupy užívané při měření hodnot pro sestavení defokusační křivky. Měření bylo provedeno na třiceti osobách různého věku, které byly rozděleny do tří charakteristických skupin. První skupinu zastupovali mladí akomodující jedinci, druhou jedinci presbyopického věku a třetí skupinu představovali jedinci s oboustranně implantovanými monofokálními nitroočními čočkami. V práci jsou dále graficky zpracovány výsledky měření za použití dvou různých metod pro získání dat k sestavení defokusační křivky a dále je statisticky zpracován vliv randomizace na výsledky jednotlivých měření.

Teoretická část

1. Akomodace

Akomodací je nazýván proces, při kterém dochází ke změně optické mohutnosti čočky a díky tomu jsme schopni zaostřit předměty v různých vzdálenostech. Schopnost jejího procesu není vrozená, k vývoji akomodace dochází počátkem 4. měsíce od narození. Při zvýšené akomodaci je pozorován blízký předmět, ležící blíže než ve vzdálenosti 5 metrů, který se na sítnici promítá ostře a vzdálenější předměty jsou rozostřené. Nejkratší vzdálenost, na kterou jsme během maximální akomodace schopni vidět ostře, se nazývá blízký bod akomodace (punctum proximum). Nachází se přibližně ve vzdálenosti 8-10 cm, ale vlivem rostoucího věku dochází k jeho postupnému oddalování. Naopak při minimální akomodaci je pozorován předmět daleký a předměty ležící v blízkosti jsou neostře. Nejvzdálenější bod, na který jsme schopni ještě zaostřit právě při minimální akomodaci, se nazývá daleký bod (punctum remotum). U emetropického oka, oka bez refrakčních vad, leží tento bod v nekonečnu před okem. [1; 2; 3; 4]



Obrázek 1: Schéma akomodace na blízký a daleký bod [5]

Vzdálenost mezi dalekým a blízkým bodem pak určuje akomodační rozsah. Rozdíl převrácených hodnot vzdálenosti dalekého a blízkého bodu je nazýván akomodační amplitudou a udává se v dioptriích. Ta se s rostoucím věkem postupně snižuje, až přibližně v 65. roce života dosáhne nulové hodnoty. [6; 7]

Akomodace je provázena dalšími dvěma procesy, a to konvergencí a miózou, která je reflexně řízena parasymptikem. Samotný proces akomodace není dosud přesně definován, ale existuje několik možných teorií, které akomodaci vysvětlují. [1; 2; 3]

1.1. Akomodační systém

Akomodační systém sestává ze dvou složek, ze složky aktivní, která představuje činnost ciliárního svalu, a ze složky pasivní, kterou reprezentuje čočka a její závěsný aparát. Funkčnost akomodace především závisí na pružnosti čočky a na síle ciliárního svalu. [7]

Fyziologická čočka je tvořena transparentní a bezcévnou strukturou, jejíž optická mohutnost dosahuje přibližně 19 dioptrií. Z anatomického hlediska je čočka rozčleněna na tři části, a to na jádro, kůru, pouzdro. [7; 8]

Závěsný aparát (zonula ciliaris) je tvořen systémem uspořádaných jemných fibril, které se upínají k řasnatému tělesu a k okraji čočkového pouzdra. Tím je čočka v oku stabilizována a držena v optické ose, při procesu akomodace je díky vláknům měněna i její optická mohutnost. [7; 8]

Řasnaté těleso (corpus ciliaris) sestává z jemných vazivových vláken, které pomáhají upevnit čočku a z hladké svaloviny ciliárního svalu (musculus ciliaris), který svými stahy při procesu akomodace zabezpečuje povolení zonulárních vláken, tím se tak čočka může vyklenout. Řasnaté těleso je dále zodpovědné za produkci komorové tekutiny. [8]

1.2. Teorie akomodace

Jak už bylo řečeno, neexistuje zatím žádná definitivní teorie, která by nesporně vysvětlovala průběh akomodačního procesu, z toho důvodu zůstává mechanismus akomodace stále otázkou a předmětem zkoumání. Mezi ty nejznámější patří Helmholtzova, Finchamova, Tscherningova, Colemanova a Goldbergova teorie. Z vyjmenovaných teorií je však Helmholtzova považována za pravdivou. [1; 2]

1.2.1. Helmholtzova teorie akomodace

Tato teorie je také nazývána relaxační teorií. Herman von Helmholtz (1821-1894) se domníval, že při pohledu do dálky se čočka pomocí zonulárních vláken napne a díky tomu se její tvar relativně zploští. Při pohledu na blízké předměty pak dojde ke stažení ciliárního svalu, zonulární vlákna se povolí a čočka se tak vyklene, tím dojde k zvýšení její optické mohutnosti. Po skončení akomodace se ciliární sval opět povolí, navrátí se do svého původního stavu a zonulární vlákna se opět kontrahují a tím čočku zploští. [1; 2]

1.2.2. Finchamova kapsulární teorie

Finchamova teorie je v podstatě jen pozměněnou Helmholtzovou teorií, která bere v potaz pružné pouzdro čočky, které je zodpovědné za změnu jejího tvaru během akomodace. Edgar F. Fincham (1937) u subjektu s aniridií dokázal vyfotografovat změny, které během akomodace nastávají a díky tomu došel k zjištění, že přední plocha pouzdra je v centrální části nejtenčí a nejsilnější je v místech úponu závěsného aparátu, proto nemůže docházet k výraznějším změnám jeho tvaru v okrajových částech, ale jen v centru, kde se také čočka vyklenuje. Zadní část pouzdra je nejtenčí a během akomodace již nedochází k žádným změnám, jelikož je část vyklenuta už před akomodací. [1; 2]

1.2.3. Tscherningova teorie

Tato teorie je v rozporu s teorií Finchamovou, která je založena na experimentálním zjištění. Marius Tscherning (1854-1939) tvrdil, že je čočka rozdělena na dvě části, a to na jádro, které není pružné, čímž nemůže měnit během akomodace svůj tvar a na vnější kůru, která je elastická. Ke zvýšení zakřivení čočky dochází pouze v axiálním směru, což je způsobeno tím, že v momentě, kdy dojde ke stažení ciliárního svalu, je sklivce přitlačen dopředu proti čočce, z toho důvodu je přední plocha čočky vyklenuta v centrální části. [1]

Dále také předpokládal jiné anatomické umístění úponu ciliárních vláken a to tak, že část zonuly je upnuta na nejpřednější místo ciliárního svalu, přední a zadní část zonuly je upnuta k zadní partii ciliárního svalu. Při stažení ciliárního svalu a s aktivní spoluúčastí sklivce pak dojde k prodloužení čočky ve vertikálním směru a k rozšíření její centrální části. [2]

1.2.4. Colemanova teorie

Teorie mechanismu akomodace byla publikována v roce 1986 D. J. Colemanem a je založena na vzniku tlakových změn v předním sklivci a přední komoře, které jsou vyvolány kontrakcí ciliárního svalu. Při jeho stažení je tlak ve sklivcovém prostoru zvýšen a v přední

komoře dojde k jeho snížení. Sklivec svým tlakem působí na zadní část čočkového pouzdra, tím se čočka vyklene a zvýší tak svoji optickou mohutnost. [2]

1.2.5. Goldbergova teorie

Tato teorie byla v roce 2011 představena Danielem B. Goldbergem, kdy byl na počítačové simulaci ukázán akomodační proces. Celý proces akomodace spočívá podle Goldberga v tom, že pokud dojde ke stahu ciliárního svalu, zadní zonulární vlákna přenesou tlak na sklivcovou membránu, což zapříčiní změnu v zakřivení nitrooční čočky. [9]

1.3. Akomodace v presbyopickém věku

Jak už bylo řečeno, vlivem rostoucího věku dochází ke snižování akomodačního rozsahu, až v určitém roce života dosáhne nulové hodnoty. Změny v akomodační šíři začínají pociťovat zejména hypermetropičtí a emetropičtí jedinci okolo 40. – 45. roku života, u myopů přicházejí změny až v pozdějším věku s ohledem na jejich refrakční stav oka. Mezi nejčastější subjektivní příznaky počínající presbyopie patří zejména potíže s prací do blízka a čtením, v některých případech až neschopnost číst kvůli nástupu astenopických obtíží, jako jsou například bolest hlavy a za očima, pocit pálení a řezání očí. Je to způsobeno tím, že se blízký bod akomodace postupně s věkem od oka vzdaluje. [2; 7]

Existuje opět několik teorií, které se snaží vysvětlit příčinu vzniku presbyopie. Nejpravděpodobnější důvod vzniku je navržen Helmholtzovou teorií, která je založena na principu postupné ztráty pružnosti oční čočky a jejím tvrdnutí. Akomodační systém tudíž není schopen změnit optickou mohutnost čočky natolik, aby mohlo dojít k zaostření blízkých předmětů. [2]

2. Katarakta

Kataraktou neboli šedým zákalem je označováno onemocnění fyziologické oční čočky, kdy vlivem různých faktorů, jak vnitřních systémových, tak vnějších, dochází k degenerativním změnám v různých jejích částech a k jejímu zakalení. Kvůli snížené transparentnosti a rozptylu světla dochází k poklesu zrakové ostrosti. Progresí onemocnění, kdy je čočka zakalená natolik, že funguje jako blokátor procházejícího světla, může dojít až ke slepotě. V dnešní době i přes možné chirurgické řešení zůstává stále šedý zákal celosvětově nejčastější příčinou slepoty. Je to z toho důvodu, že v méně ekonomicky vyspělých zemích není možné poskytnout chirurgickou léčbu všem, kteří by ji potřebovali, a existuje i značná neinformovanost právě o možnosti řešení slepoty způsobené kataraktou. Mezi hlavní rizikové faktory, které vedou k tvorbě a progresi zákalu, můžeme zařadit metabolické onemocnění diabetes mellitus, vyšší věk, kouření, konzumaci alkoholu, užívání některých léčiv, oční úrazy nebo expozici UV-B záření. [2]



Obrázek 2: Probíhající šedý zákal na pravém oku pacienta. [10]

2.1. Typy katarakty a její příčiny

2.1.1. Dětská katarakta

Katarakta v dětském věku může být rozdělena na tři typy:

- kongenitální (vrozenou)
- infantilní (vznikající do jednoho roku života)
- juvenilní (vznikající v pozdějším dětském věku).

Kongenitální katarakta se v různé formě objevuje přibližně u 1 z 250 narozených dětí a může být jednostranná i oboustranná. Důležité je včasné odhalení a řešení problému pro předcházení rozvoje tupozrakosti. Ke vzniku může dojít z různých příčin, může být například spojen s geneticky podmíněnými multiorgánovými syndromy nebo s vrozenými metabolickými poruchami. Příčinou také může být užívání léčiv nebo onemocnění matky v raném období vývoje plodu. [2; 7]

2.1.2. Senilní katarakta

Ke vzniku a rozvoji senilní katarakty dochází jak vlivem rostoucího věku, tak i vlivem různých faktorů, proto příčiny vzniku můžeme nazvat multifaktoriálními. V průběhu stárnutí oční čočka ztrácí svoji pružnost, zvětšuje se a nabývá na své hmotnosti. Proteiny, kterými je čočka tvořena, mění chemicky svoji podstatu, což má za následek snížení průhlednosti, dochází ke změnám indexu lomu, optických aberací a zbarvení, které může být od světle žlutého odstínu až po hnědý. Senilní kataraktu je možné rozdělit do čtyř základních skupin, a to na typ nukleární, kortikální, zadní a přední subkapsulární. Výjimkou nejsou ani jejich různé kombinace. [2]

2.1.3. Ostatní typy

Jak už bylo řečeno, na vzniku katarakty se podílí spousta faktorů, jak vnitřní systémové, tak i vnější faktory prostředí. K rozvoji šedého zákalu může dojít dlouhodobým užíváním určitého typu léčiv, především kortikosteroidů, fenotiazinů nebo miotik. Katarakta může být také zapříčiněna ozářením. Nejběžněji přicházíme do styku s ultrafialovým zářením, kdy se konkrétně UV-B záření o vlnové délce 290-320 nm podílí na jejím vzniku. Dalším faktorem ovlivňujícím vznik a rozvoj šedého zákalu patří poranění. Míra zakalení a jeho progresu je ovlivněna typem poranění. Nejčastější příčiny, které mohou vést k rozvoji zákalu čočky, jsou mechanická poranění, zásah elektrickým proudem nebo působení různých chemických prostředků a látek. [2]

2.2. Subjektivní příznaky

Stejně jako u všech onemocnění existují různé příznaky, které onemocnění provázejí, ale ne všechny se nutně musí projevit u každého. Mezi hlavní příznaky a také důsledky onemocnění patří snížená zraková ostrost, myopizace oka, pocit osněžení, snížená kontrastní citlivost nebo monokulární diplopie. Na tom, v jak velké míře dojde ke snížení zrakové ostrosti,

se podílí více faktorů, jak subjektivních, tak i objektivních. Záleží především na typu šedého zákalu a jeho progresi, na velikosti zornice, na typu a stupni refrakčních vad nebo na intenzitě osvětlení. Snížení zrakové ostrosti každý vnímá individuálně, otázkou zůstává, jak moc omezující je to pro pacienta v běžném životě. [2]

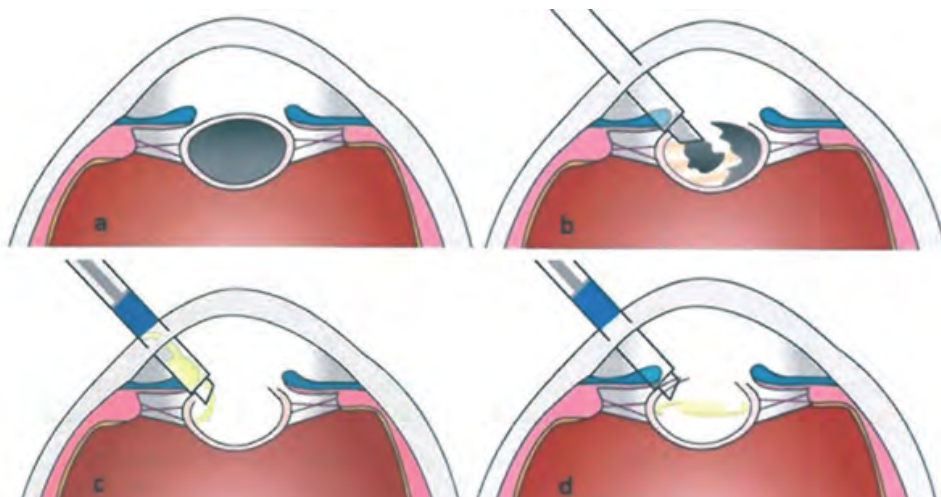
Myopizace je typický příznak pro nukleární typ katarakty, který se objevuje již v počátku onemocnění, kdy se může zvýšit lomivost čočky, což má za následek až střední myopii, která někdy může vést ke špatně snášené anizometrii. U stejného typu katarakty pak může dojít i k monokulární diplopii, kdy se kvůli zákalu jádra čočky vytváří více lomivých ploch, které jsou spojeny se vznikem dvojitého obrazu nebo stínů, které narušují kvalitu sledovaného obrazu. Kvůli počínajícímu zákalu v různé části čočky může docházet k rozptylu světla, což také vede ke snížení kvality sítnicového obrazu, jelikož dopadající světlo na sítnici utvoří světelný závoj a tím se sníží kontrast obrazu. Při větší intenzitě světla může dojít kvůli rozptylu i k oslnění. [2]

2.3. Chirurgické řešení

Důležitou součástí je předoperační vyšetření, kdy je zapotřebí udělat podrobnou oční anamnézu, precizní vyšetření na šterbinové lampě a vyšetření očního pozadí. Nedílnou součástí vyšetření je i měření nitroočního tlaku a stanovení subjektivní refrakce. Po základním vyšetření se dále přechází k samotnému výpočtu optické mohutnosti implantované nitrooční čočky pomocí vybraného matematického vzorce s dosazením údajů získaných biometrií oka. Vzorcem by se měla určit optická mohutnost čočky tak, aby bylo oko po její implantaci emetropické. V dnešní době existují tři generace vzorců pro výpočet optické mohutnosti nitrooční čočky. [2]

2.3.1. Technika operace

V dnešní době se nejčastěji k emulzifikaci nitrooční čočky (fakoemulzifikaci) využívá ultrazvukových vln o vlnové frekvenci nejméně 20 000 Hz, ale je možné využít i sonické fakoemulzifikace, kdy je využíván zvuk o frekvenci 40-400 Hz, laserové fotolýzy nebo pulsů zahřátého roztoku. Fakoemulzifikace je technika, při které se využívá speciální sonda zabezpečující jak rozrušení jádra, tak i odsávání tekutiny s fragmenty čočky a zároveň přítok nové tekutiny zpět do oka, aby se udržela hloubka a tlak v přední komoře. [2]



Obrázek 3: Schéma průběhu operace šedého zákalu [11]

3. Typy nitroočních čoček

Každá IOL se skládá z části haptické a optické. Haptická část je určena k uchycení čočky, optická část nahrazuje funkci původní fyziologické čočky. Umělé čočky můžeme rozdělit do kategorií podle místa implantace, podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, podle optické mohutnosti, tvaru okraje optické části, zakřivení povrchu, podle počtu ohnisek a tak dále. Kapitola se zaměřuje především na zadněkomorové čočky, které jsou implantovány po extrakci fyziologické čočky do čočkového pouzdra. [2]

Materiály, ze kterých jsou nitrooční čočky vyráběny musí být nezávadné a biokompatibilní. Tvar vyrobené čočky je nejčastěji bikonvexní, podobně jako u fyziologické čočky, což umožňuje dobrou mechanickou stabilitu a dobré optické vlastnosti. Moderní materiály, které se používají k výrobě, můžeme rozdělit do dvou skupin, akrylátové a silikonové. Tvrdé nitrooční čočky jsou nejčastěji vyráběny z polymetylmetakrylátu (PMMA), měkké nitrooční čočky jsou vyráběny z hydrofobních a hydrofilních akrylátů, silikonu a hydroxyetylmetakrylátu (HEMA). Čočky mohou být vyráběny z jednoho materiálu tzv. single-piece, nebo mohou být složeny z více materiálů, většinou ze tří komponent tzv. three-piece. [12, 13; 14]

Výběr vhodného typu čočky závisí na lékaři, který se rozhodne podle naměřených biometrických hodnot, jako je například axiální délka oka nebo podle keratometrických dat, refrakční vady operovaného oka a podle požadavků pacienta na kvalitu vidění. Umělé nitrooční čočky jsou vyráběny v několika možných designech, čočky monofokální, tórické, asférické, multifokální, EROV (Extended Range of Vision) a EDOF (Extended Depth of Focus). Zvláštním novějším typem jsou akomodativní nitrooční čočky. Jejich kruhová optická část je vyrobena z pružného silikonového materiálu a pomocí haptické části, která je konstruována jako závěsný aparát, jsou čočky uchyceny v čočkovém pouzdře. Při stlačení závěsů ciliárním svaem dojde k jejich ohybu a centrální část čočky se vyklene, což zabezpečí vidění na blízko. Při relaxaci ciliárního svalu se opět centrální část čočky vrátí do původního stavu, tedy aby korigovala vidění do dálky. [12; 14, 15]

3.1. Monofokální IOL

Monofokální čočky umožní korigovat pouze vidění na jednu vzdálenost, mohou tedy korigovat vidění buď jen na dálku, blízko nebo na střední vzdálenost. Ostatní vzdálenosti je nutné vyřešit pomocí brýlové korekce. Existuje také možnost zvaná monovision, která spočívá v implantaci dvou různých čoček do pravého a levého oka tak, že čočka s korekcí do dálky je implantována do oka dominantního, čočka s korekcí na blízko je implantována do oka nedominantního. Pacient je tak schopný vidět na dvě vzdálenosti. Touto možností korekce však dochází k narušení binokulárního vjemu, což pro některé pacienty nemusí být vyhovující. [16; 17; 18]

3.2. Multifokální IOL

Multifokální IOL jsou sestrojeny tak, aby umožnily vidění na všechny vzdálenosti zároveň, bez nutnosti použít doplňkovou brýlovou korekci, jako je tomu u monofokálních IOL. Podle optické konstrukce můžeme multifokální IOL rozdělit na refrakční a difrakční. Design optické části refrakční multifokální IOL je utvořen tak, že se na přední ploše čočky nacházejí kruhové optické zóny s různými dioptrickými hodnotami, na kterých dochází k různému lomu světla. Difrakční multifokální IOL mají na zadní ploše vícečetné difrakční zóny, na kterých dochází k interferenci světla různých vlnových délek. Podle počtu ohnisek je dále můžeme dělit na bifokální IOL, s ohniskem pro blízké a daleké vidění, trifokální IOL, která má ohnisko i pro střední vzdálenost a EDOF IOL. [18]

3.3. Tórické IOL

Tórické IOL slouží ke korekci rohovkového astigmatismu, a to až do 9 D. Vyrábí se jak v monofokální variantě, tak i v multifokální. Nejdůležitější částí předoperačního vyšetření je precizní změření rohovkového astigmatismu, aby se operací dosáhlo co nejlepší korekce a předešlo se zbytkovému astigmatismu. Existuje několik metod pro měření, nejčastěji je využívána keratometrie, rohovková topografie nebo zobrazení pomocí Scheimpflugovy kamery. [18]

První neohebná tórická IOL z PMMA byla představena v roce 1992, k její implantaci bylo zapotřebí širokých řezů, a to v průměru až 5,7 mm. V 1994 byla představena ohebná tórická IOL vyrobená ze silikonového materiálu, která umožňovala použití menšího řezu (3,2

mm) k implantaci. U těchto prvních typů IOL docházelo však ve velké míře k pooperační rotaci implantované čočky, což mělo za následek vysoký zbytkový astigmatismus. Dalším vývojem se pooperační stabilita čoček výrazně zlepšila. [18]

3.4. Asférické IOL

Lidská rohovka má pozitivní sférickou aberaci a za předpokladu, že k implantaci umělé IOL použijeme jakoukoliv čočku se sférickým designem, může dojít ke zvýšení sférické aberace, což může zapříčinit zhoršení kvality vnímaného sítnicového obrazu. K minimalizaci nebo dokonce k neutralizaci sférické aberace byl navržen asférický design čočky, který by měl kvalitu sítnicového obrazu zlepšit. Na základě studií, které byly na toto téma provedeny je dokázáno, že asférický design čoček umožňuje minimalizaci sférické aberace, snížení celkových aberací vyšších řádů, navíc dochází ke zvýšení kontrastní citlivosti v porovnání se sférickým designem a ke zlepšení zrakové ostrosti. [19]

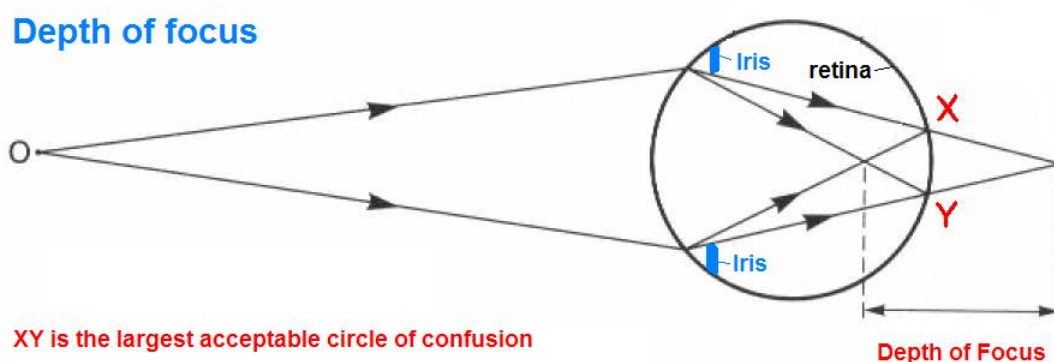
3.5. EDOF, EROV IOL

Tento typ umělých čoček je modernější verzí multifokálních IOL, charakteristický pro svoji rozšířenou hloubku ostrosti na všechny vzdálenosti. Difrakční design optické části čočky zabezpečuje rozšíření prostoru pro vidění, eliminaci chromatické aberace ke zvýšení kontrastní citlivosti a zlepšení zrakové ostrosti. Další vlastností těchto čoček je, že minimalizují výskyt světelných fenoménů, jelikož eliminují vznik sekundárních nezaostřených obrazů. Rozdíl mezi klasickou multifokální čočkou a EDOF (EROV) IOL spočívá v tom, že EDOF IOL mají kontinuální rozsah pro zaostření, kdežto u standardních multifokálních IOL jsou tři ohniska, pro blízké vidění, střední vzdálenost a daleké vidění. [20; 21]

4. Hloubka ostrosti

Lidské oko, stejně jako každý jiný optický systém (př. mikroskop, fotoaparát) má určitou hloubku ostrosti, která souvisí s citlivostí detekovat rozostření pozorovaného obrazu. Hloubka ostrosti se dá tedy definovat jako rozsah vzdáleností, mezi kterými nedojde k objektivnímu zhoršení kvality obrazu vytvořeného na sítnici, obraz pozorovaného předmětu je ostrý nebo se zanedbatelnou chybou v zobrazení. Jiná definice popisuje hloubku ostrosti jako vzdálenost nejbližšího a nejvzdálenějšího bodu (předmětu), kdy je vytvořený obraz na sítnici vnímám bez rozostření. [1; 6; 22]

Jinými slovy lze říct, že hloubka ostrosti umožňuje pozorovat předměty různě vzdálené od oka, aniž by pozorovaný obraz musel být v konkrétní vzdálenosti a nezobrazoval se na sítnici rozostřeně. Pro lidské oko, jako optický systém, můžeme uvažovat o nejbližším a nejvzdálenějším bodu, který ohraničuje hloubku ostrosti, jako o blízkém a dalekém bodu oka. Na Obrázku 3 je schematicky zobrazen rozsah vzdálenosti, kde se v tomto body ohraničeném prostoru předmět O zobrazí na sítnici ještě bez rozostření.



Obrázek 4: Schématické zobrazení ohraničení hloubky ostrosti [23]

4.1. Faktory ovlivňující hloubku ostrosti

Lidské oko, bráno jako optický systém, není bezchybné a existuje mnoho různých faktorů, které pozitivně nebo negativně ovlivňují kvalitu zobrazeného obrazu. Faktory můžeme rozdělit do tří hlavních skupin, a to na faktory související s optickými vlastnostmi oka, faktory spojené s vlastnostmi sítnice a zpracováním zrakového vjemu a na faktory vnějšího prostředí.

Mezi optické vlastnosti oka, které ovlivňují hloubku ostrosti, můžeme zařadit šířku zornice, akomodační stupeň, monochromatické a chromatické aberace a difrakci. Mezi faktory související s vlastnostmi sítnice a se zpracováním zrakového vjemu řadíme velikost fotoreceptorů a hustotu rozmístění gangliových buněk, patologie nacházející se v úsecích zrakové dráhy, zrakovou ostrost a práh kontrastní citlivosti. Vnější faktory zahrnují například jas, kontrast nebo prostorové detaily pozorovaného předmětu. [6]

Vlivem rostoucího věku dochází k postupnému snižování akomodační amplitudy. Zvýšením hloubky ostrosti, kterého dosáhneme například zavedením dalších aberací, může dojít k rozšíření akomodačního rozsahu. Byla provedena studie [6], která se zabývala právě touto problematikou, u presbyopických subjektů, kterým se aplikovaly kontaktní čočky. Výsledek byl ale bohužel negativní, u vyšetřovaných subjektů došlo vlivem dalších aberací k poklesu zrakové ostrosti.

Další studie [22] zabývající se vlivem velikosti zornice a aberací na hloubku ostrosti dospěla k výsledkům, že u optického systému bez aberací dochází s rostoucí velikostí zornice k výrazně rychlejšímu poklesu hloubky ostrosti než u optických systémů s aberacemi, kde pokles zrakové ostrosti s rostoucí velikostí zornice není tak výrazný. Tento fakt byl ve studii vysvětlen pomocí Styles-Crawfordova jevu, kdy jeho vlivem dochází ke snížení aberací a tím snížení hloubky ostrosti.

5. Defokusační křivka

Defokusační křivka je nástroj využívaný v oftalmologické praxi k hodnocení hloubky ostrosti. Jejím sestrojením můžeme zhodnotit například správnost korekce po chirurgickém odstranění fyziologické čočky a implantaci čočky umělé. Informace, které nám poskytuje, pak můžeme využít k odhadnutí zrakové ostrosti, kterou bude mít pacient po zákroku při pohledu na různé vzdálenosti. Pohled na různé vzdálenosti se dá navodit pomocí předložených čoček o různé dioptrické hodnotě, které jsou pacientovi vkládány do zkušební obruby, nebo za použití foropteru, aniž bychom byli nuceni měnit standardní vyšetřovací vzdálenost (5-6 metrů). [24]

5.1. Princip defokusační křivky

Defokusační křivku můžeme interpretovat jako vztah mezi vergencí předsazené čočky a vzdáleností, na kterou jsme schopni přes předsazenou čočku vidět ostře. To znamená, že pokud pozorujeme vzdálený předmět při předsazení čočky o optické mohutnosti $-1,0$ dioptrie (D, dpt), je to stejné, jako bychom pozorovali předmět ze vzdálenosti 1 metru. Pozorování předmětu s předsazením čočky o dioptrické hodnotě $-4,0$ D je stejné, jako pozorování předmětu ze vzdálenosti 25 centimetrů. Při předsazení čočky $-2,0$ D dostaneme vzdálenost 50 centimetrů. Využitím defokusační křivky jsme tedy schopni objektivně zhodnotit očekávanou zrakovou ostrost pro různé vzdálenosti, aniž bychom byli nuceni měnit standardní vyšetřovací vzdálenost. [24]

5.2. Metody pro získání dat

Před samotným postupem získávání konkrétních dat pro hodnocení defokusační křivky je nutné, aby byl vyšetřovaný jedinec nejprve správně vykorigován na dálku a dosáhlo se nejlepší zrakové ostrosti. Správná korekce by měla zamezit zkreslení výsledků, které by mohlo nastat právě kvůli zbytkové refrakční vadě. Jakmile je vyšetřovaný vykorigován na nejvyšší zrakovou ostrost, které je schopen dosáhnout, může se přejít k samotnému zjišťování hodnot pro sestavení defokusační křivky. Hodnoty je možné měřit monokulárně i binokulárně. [24]

Následně jsou vyšetřovanému předsazovány čočky o různých dioptrických hodnotách. Postup pro získání hodnot není striktně daný rozsahem vyšetřovaných hodnot, některé zdroje

uvádějí předsazované hodnoty v rozmezí -5,0 D až +1,5 D, jiné zdroje uvádějí rozsah předsazovaných hodnot od -4,0 D do +1,0 D. Hodnoty jsou předsazovány po 0,5 D krocích monokulárně, před jedno oko, nebo binokulárně, zároveň před obě oči a je zjišťován nejlépe čtený řádek na optotypu. [24; 25]

Předsazované hodnoty čoček by měly být voleny v náhodném pořadí, aby nedošlo ke zkreslení výsledků akomodací. Písmena v řádcích na optotypu by měla být také měněna, aby si je vyšetřovaný nezapamatoval a tím nedošlo k ovlivnění výsledků. Na nutnost nahodilosti obou faktorů byly provedeny studie, kdy při vyšetřování subjektů byl jeden z faktorů randomizován a byla sledována proměnlivost výsledků. Vyšetřením nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v randomizovaném a nerandomizovaném pořadí jednoho z faktorů. [26; 27]

Některé zdroje uvádějí, že první předsazená čočka by měla být o hodnotě -0,5 D a postupně po 0,5 D krocích by měly být přidávány další minusové hodnoty, až k nejnižší zvolené vyšetřovací hodnotě. Postup však není standardizován, tudíž je možné zvolit počáteční předloženou čočku o jiné dioptrické hodnotě, než právě o -0,5 D. Jak už bylo řečeno, je také možné volit předsazované hodnoty náhodně, například nejprve předsadit čočku o dioptrické hodnotě -1,0 D, dále +0,5 D, -2,5 D, +1,0 D a tak dále, dokud se nevyčerpá celý vyšetřovaný rozsah dioptrií. [24; 25]

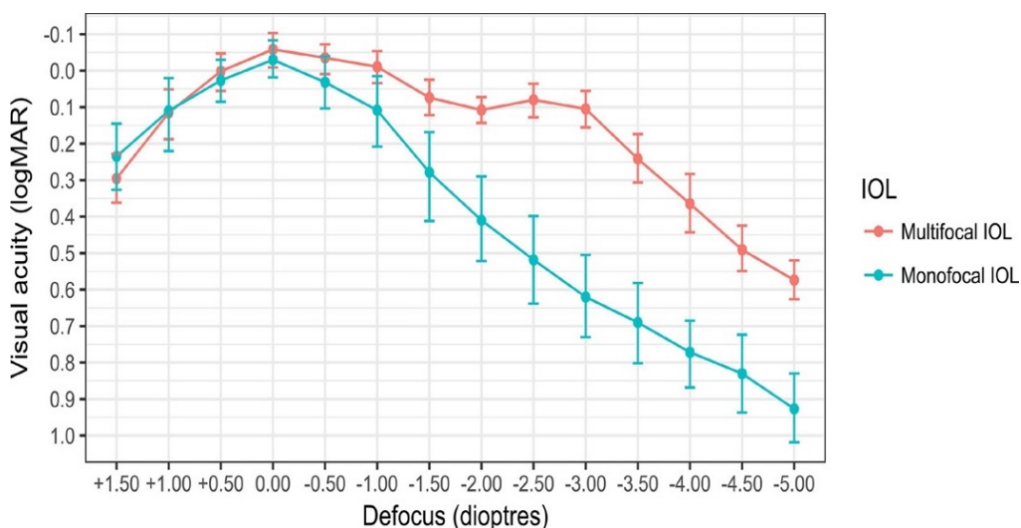
Vzhledem k tomu, že je vyšetření značně časově náročné, může mít vliv na variabilitu výsledků i únava a snížená soustředěnost vyšetřovaného. Při posuzování defokusační křivky u oka s implantovanou IOL je důležité také zvážit možný vliv sférické aberace na schopnost vyšetřovaného vidět za přítomnosti refrakční chyby. U vyšetřovaných pacientů, jejichž oči vykazují vyšší sférickou aberaci, obvykle dochází k lepší toleranci rozostření než u pacientů, jejichž oči jsou bez sférické aberace. [24; 25]

5.3. Hodnocení a interpretace dat

Jakmile jsou vyšetřením získána data, přejde se k samotnému sestavení křivky. Jak už bylo řečeno, defokusační křivku lze vyjádřit jako závislostvergence předsazené čočky a vzdálenosti, na kterou jsme schopni vidět s předsazenou čočkou ostře. Na osu y jsou nejčastěji

vyneseny hodnoty zrakové ostrosti a na osu x jsou vyneseny hodnoty předložených čoček. Výsledkem je charakteristická defokusační křivka. [24]

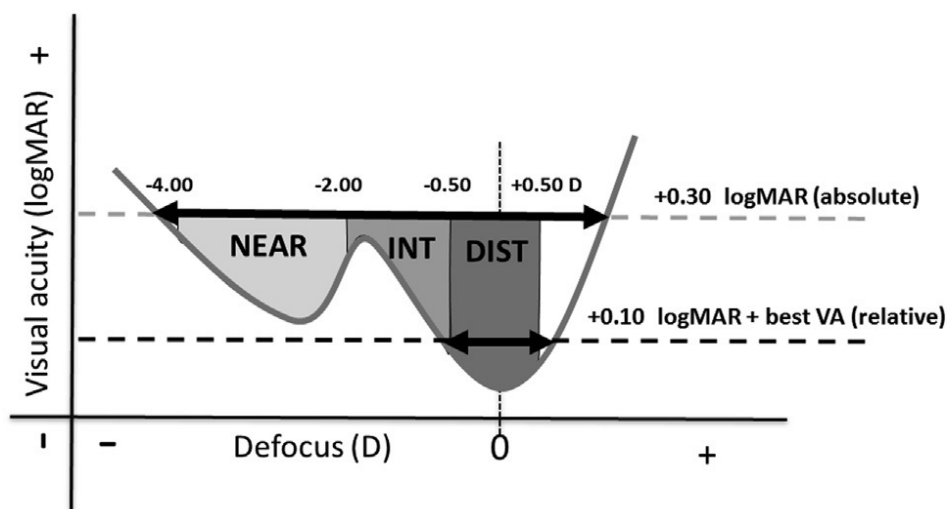
Na Obrázku 1 jsou pro ilustraci zobrazeny dvě křivky. Pro monofokální IOL (modrá křivka) je charakteristická křivka s jedním vrcholem, který reprezentuje nejlepší zrakovou ostrost s daným defokusem, předsazením čoček o různé dioptrické hodnotě už jen zraková ostrost klesá. Charakteristická křivka pro multifokální IOL (červená křivka) má jiný průběh, na křivce nalezneme dva vrcholy, u některých typů i tři. První vrchol představuje nejlepší zrakovou ostrost na dálku, druhý vrchol představuje nejlepší zrakovou ostrost na blízko, které dosáhneme předsazením zejména vyšších minusových hodnot. Po překročení dioptrické hodnoty, která reprezentuje nejlepší zrakovou ostrost do blízka, další předkládané minusové hodnoty zrakovou ostrost už jen snižují. Pokud na křivce vznikne i třetí vrchol, který se nachází uprostřed výsledné křivky, je reprezentována i zraková ostrost na střední vzdálenost.



Obrázek 5: Graf závislosti zrakové ostrosti na dioptrických hodnotách předložených čoček, průběh charakteristické defokusační křivky pro monofokální a multifokální IOL [28]

Zpracování hodnot graficky není nijak standardizováno, z toho důvodu se můžeme setkat i s jinými variantami interpretace. Pro ilustraci můžeme porovnat Obrázek 1 a Obrázek 2. Na Obrázku 1 jsou hodnoty na osách x a y vyneseny od kladných po záporné, vrcholy křivky se tak nachází nad rovinou. V porovnání s Obrázkem 2, kde jsou hodnoty zapsány od záporných

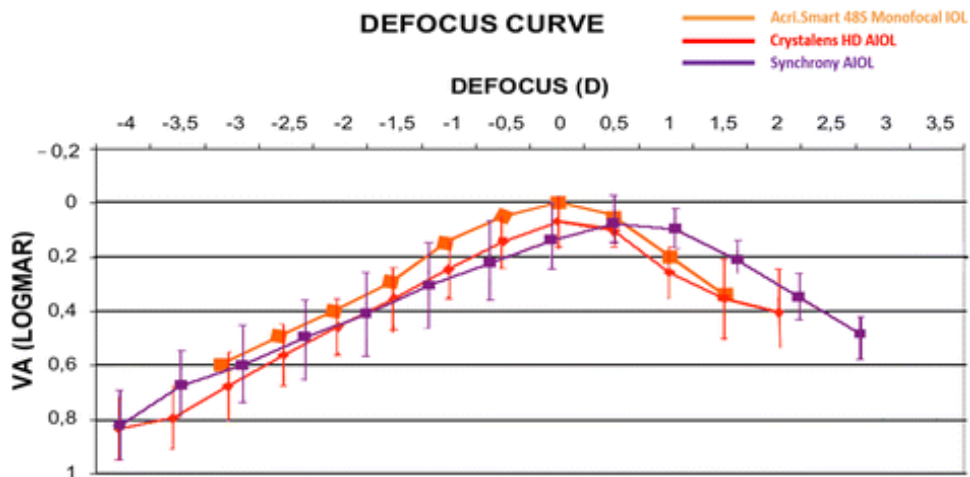
po kladné, se vrcholy křivky zobrazí pod rovinou zrcadlově převráceny. Můžeme se také setkat s rozdílným zápisem hodnot zrakové ostrosti na ose y , které mohou být zapsány pomocí jednotek logMAR (jak je použito na Obrázcích 1 a 2), Snellenovým zlomkem (př. 6/6) nebo decimálním zápisem (př. 0,2).



Obrázek 6: Charakteristická defokusační křivka pro multifokální IOL s rozdělením na 3 oblasti. Levá oblast zastupuje vidění do blízka (0,25-0,50 m), prostřední oblast reprezentuje vidění na střední vzdálenost (0,5-2 m) a pravá oblast vidění do dálky [25]

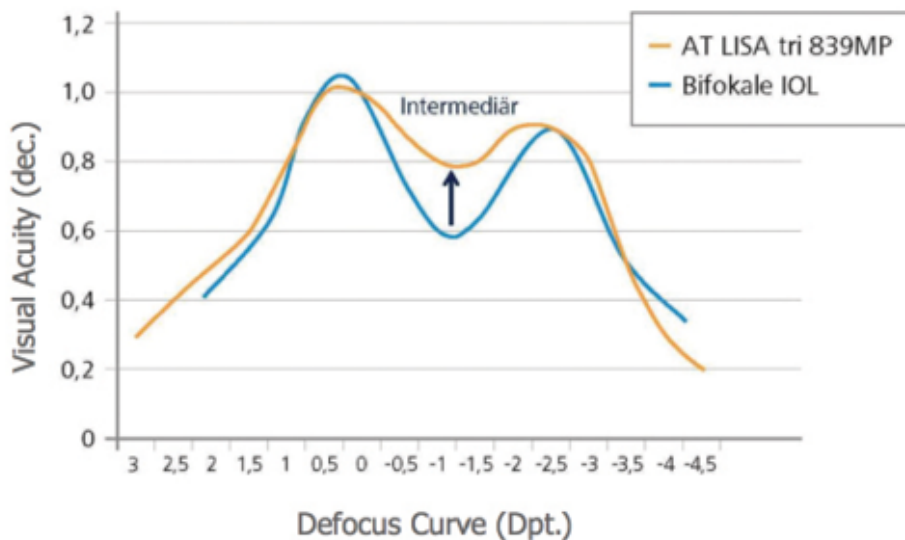
5.4. Vzhled defokusačních křivek pro konkrétní typ IOL

Sestrojením defokusační křivky pro monofokální čočku dostaneme charakteristickou křivku s jedním vrcholem, který představuje nejvyšší zrakovou ostrost, které je pacient s implantovanou čočkou schopen dosáhnout. Po předložení čoček o různé dioptrické hodnotě pacientova zraková ostrost klesá, výrazněji po předložení zejména plusových hodnot.

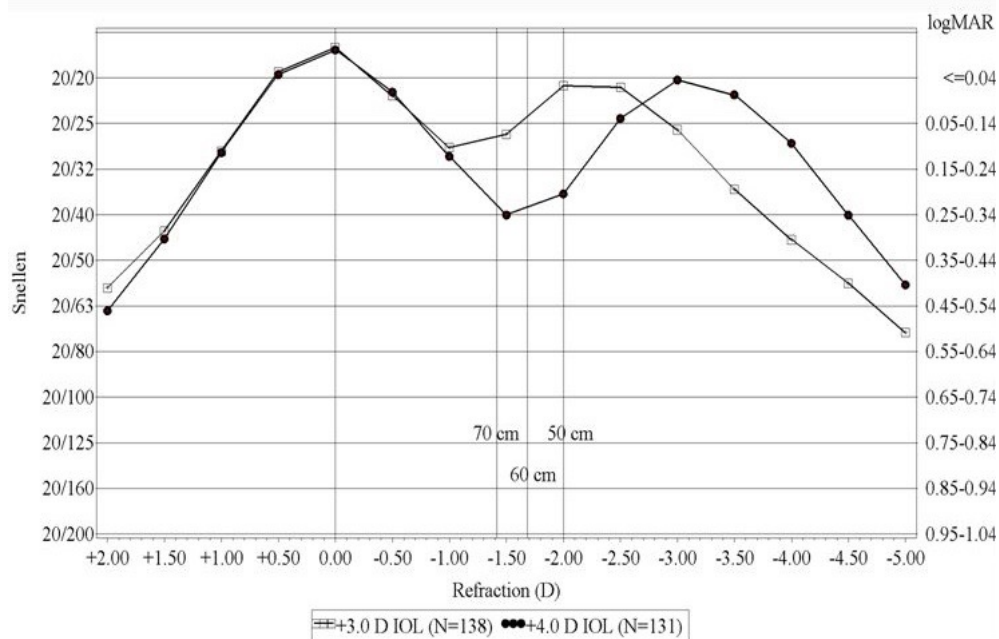


Obrázek 7: Charakteristická defokusační křivka pro tři různé druhy monofokálních nitroočních čoček; graf závislosti zrakové ostrosti na defokusu měřeném v dioptriích [28]

Charakteristická defokusační křivka pro multifokální IOL má dva, případně tři vrcholy, které představují zrakovou ostrost pro vidění do dálky, na střední vzdálenost a na blízko.

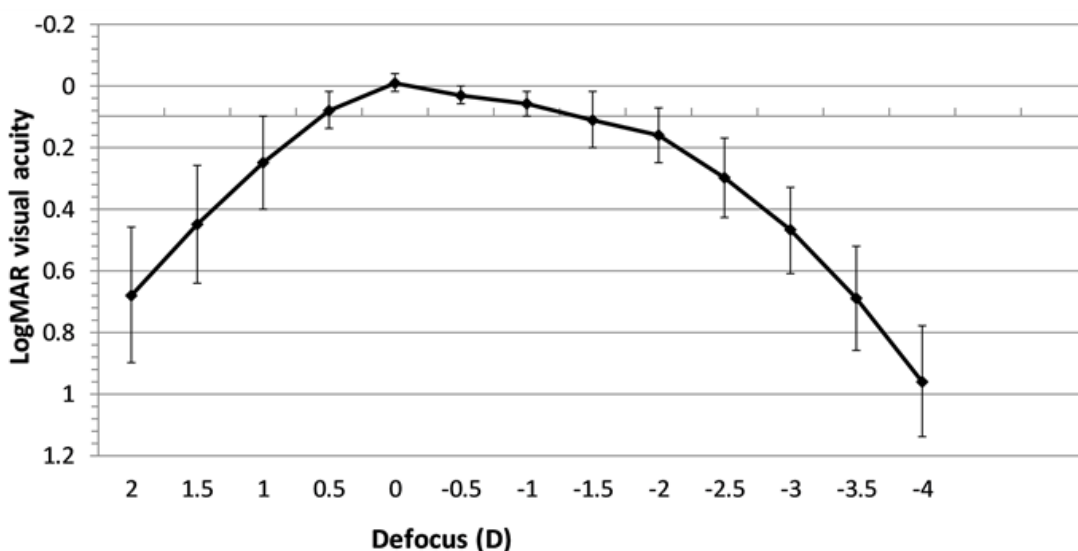


Obrázek 8: Charakteristická defokusační křivka pro bifokální a trifokální IOL [29]



Obrázek 9: Charakteristická defokusační křivka pro asférickou multifokální IOL [30]

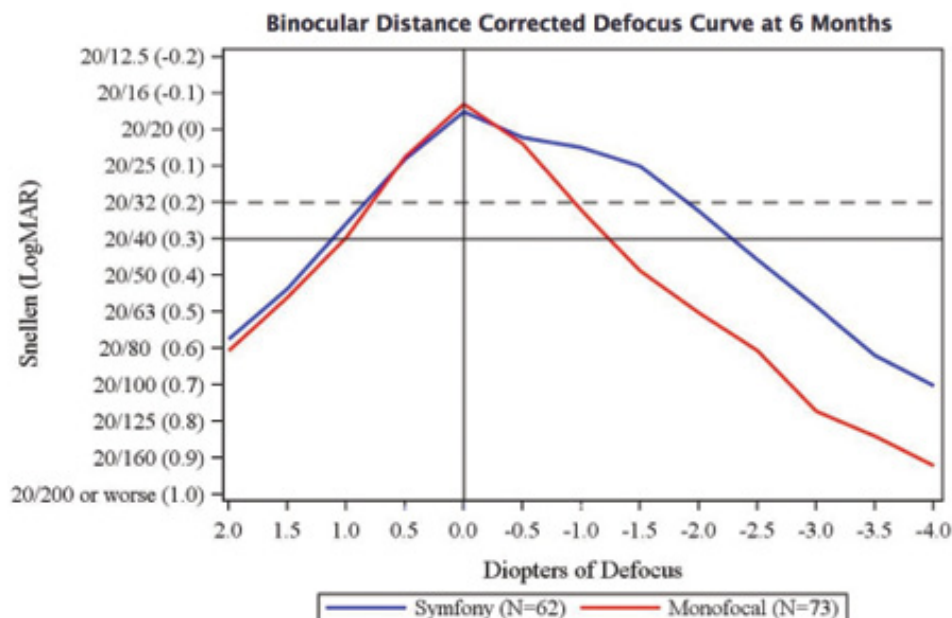
Porovnáním charakteristické defokusační křivky standardní multifokální čočky s defokusační křivkou EDOF IOL zjistíme, že u EDOF IOL nedochází ke vzniku dvou výrazných vrcholů, jako je tomu u multifokální IOL, ale od vrcholu značícího nejlepší zrakovou ostrost do dálky dochází k pozvolnému klesání zrakové ostrosti na kratší vzdálenosti.



Obrázek 10: Charakteristická defokusační křivka pro EDOF IOL [20]

Na obrázku 10 je zobrazen rozdíl mezi defokusační křivkou klasické monofokální IOL a EDOF IOL, kde opět po dosažení nejvyšší zrakové ostrosti na dálku dochází pro ostatní

vzdálenosti k pozvolnému klesání zrakové ostrosti. U monofokální čočky je propad zrakové ostrosti při předsazení zejména plusových hodnot razantnější.



Obrázek 11: Charakteristická defokusační křivka pro EROV IOL [21]

5.4. Využití v oftalmologické praxi

Sestrojením defokusační křivky získáme informace o tom, jakou zrakovou ostrost můžeme u vyšetřovaného očekávat na různé vzdálenosti. Proto je defokusační křivka metodou často využívanou lékaři pro zhodnocení korekce presbyopie po implantaci umělé nitrooční čočky. Dále se defokusační křivka sestavuje před a po refrakčních operacích nebo slouží k hodnocení akomodačního rozsahu. Defokusační křivka je používána i výrobci umělých nitroočních čoček různého designu. Informace z laboratorních testů poskytované výrobcem mohou pomoci lékaři s výběrem vhodné nitrooční čočky pro implantaci. [24; 25; 26; 27]

Experimentální část

6. Úvod do experimentální části

Cílem této práce bylo zjistit a demonstrovat vliv randomizace při měření defokusační křivky za použití dvou různých vyšetřovacích metod. Měření bylo provedeno celkem u třiceti osob, které byly rozděleny do tří charakteristických skupin. Výsledky měření byly zpracovány graficky.

7. Metodika měření

Testování bylo provedeno celkem na třiceti osobách ve věku 15 až 78 let a sestávalo ze dvou částí, které na sebe navazovaly s minimálně třiceti minutovým odstupem. Měřené osoby byly rozděleny do tří charakteristických skupin po deseti jedincích. První skupina sestávala z deseti akomodujících jedinců do čtyřiceti let věku. Do druhé skupiny bylo zařazeno deset presbyopických jedinců od čtyřiceti let věku. Poslední, třetí skupina se skládala z deseti jedinců s oboustranně implantovanými monofokálními nitroočními čočkami.

Měření probíhalo na fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně. Před každým testováním bylo změřeno osvětlení vyšetřovací místnosti pomocí luxmetru, aby byly dodrženy stejné světelné podmínky pro vyšetření u každého jedince. Vyšetřovací místnost byla osvětlena umělým osvětlením, kdy okna byla zatažena pomocí žaluzií, osvětlení pak bylo měřeno uprostřed místnosti v úrovni očí vyšetřovaného jedince. Osvětlení se pohybovalo v rozmezí 434 až 487 luxů (lx). Následně byla měřeným osobám změřena šířka zornice pomocí pravítka. Šířka zornice se pohybovala v rozmezí 3 až 4 mm. Dále byla před každým měřením hodnota pro defokusační křivku stanovena subjektivní refrakce, aby nedošlo ke zkreslení dat vlivem zbytkové refrakční chyby. Poté bylo zahájeno samotné měření hodnot pro sestavení defokusační křivky. Hodnoty byly zjišťovány monokulárně a byly zaznamenávány do vyšetřovacího protokolu spolu s ostatními měřenými údaji.

Měření bylo provedeno za pomoci foropteru, aby se průběh celého vyšetření urychlil a došlo tak ke snížení vlivu únavy vyšetřovaného jedince na měřenou zrakovou ostrost s daným defokusem. Dále pak byl k měření použit LCD optotyp s funkcí random, aby nedošlo opět ke zkreslení dat vlivem zapamatování představovaných písmen na čteném řádku optotypu.

Jako správně přečtený řádek byl ještě uznán ten, na kterém vyšetřovaný zvládl přečíst nadpoloviční počet písmen daného řádku, tedy mu byly uznány dvě chyby z pěti představených písmen. Při měření byla dodržena standardní vyšetřovací vzdálenost 6 metrů.

Jak už bylo řečeno, samotné vyšetření hodnot pro sestavení defokusační křivky bylo rozděleno do dvou částí, které měly minimálně třiceti minutový odstup. V každé části měření byly použity dvě různé vyšetřovací metody. V první části bylo nejprve pravé oko měřeno metodou A, levé oko metodou B a byla zjišťována nejlepší zraková ostrost s daným defokusem. V druhé části byl postup opačný, kdy pravé oko bylo měřeno metodou B a levé oko metodou A. Metoda A spočívala v předsazování hodnot od -5 D po +2 D přesně po půl krocích v postupném pořadí, kdy první předsazenou hodnotou byla právě čočka o dioptrické hodnotě -5 D. S každou další předsazenou čočkou byla zjišťována a zaznamenávána nejlepší zraková ostrost při daném defokusu, které měřený jedinec dosáhl. Metoda B spočívala v předsazování stejných hodnot, od -5 D po +2 D, ale v náhodném pořadí, kdy první předsazená čočka byla o dioptrické hodnotě -1 D. Dosažená zraková ostrost s daným defokusem byla zaznamenávána do tabulky vyšetřovacího protokolu, následně byla získaná data zpracována graficky. Pro každé oko zvlášť byla sestavena charakteristická defokusační křivka a byl porovnán rozdíl v naměřených hodnotách pomocí metody A a metody B.

MUŽ/ ŽENA	Ročník narození:	IOL - ANO/NE
------------------	-------------------------	---------------------

Nat. visus	dálka			Šířka zornice:
	P:	L:	bino:	

Korekce refrakční vady					Vis_{mon}	Vis_{bin}	adice	vzd.	Vis_{mon}	Vis_{bin}
P	sp	cyl	osa	P.D.						
L	sp	cyl	osa	P.D.						

Postupný defokus		
Defokus	OP vis	OL vis
-5 D		
-4,5 D		
-4 D		
-3,5 D		
-3 D		
-2,5 D		
-2 D		
-1,5 D		
-1 D		
-0,5 D		
0 D		
+0,5 D		
+1 D		
+1,5 D		
+2 D		

Randomizovaný defokus		
Defokus	OP vis	OL vis
-1 D		
+2 D		
-3 D		
-0,5 D		
-2 D		
+1 D		
-5 D		
+1,5 D		
-3,5 D		
+0,5 D		
-4 D		
-2,5 D		
0 D		
-4,5 D		
-1,5 D		

Obrázek 12: Protokol pro zaznamenání hodnot zrakové ostrosti při daném defokusu

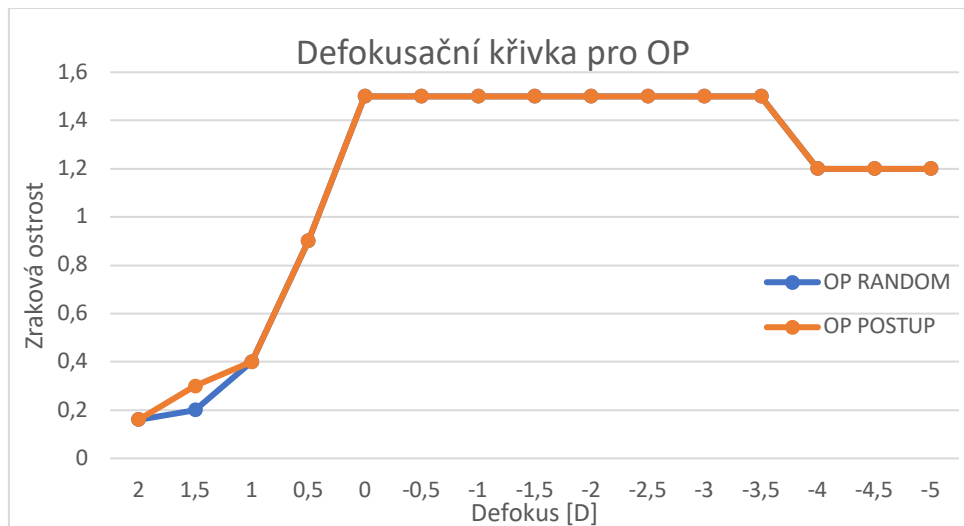
8. Zpracování dosažených výsledků

8.1. První charakteristická skupina

Do této vyšetřované skupiny bylo zařazeno 10 akomodujících jedinců, 5 žen a 5 mužů ve věku 15 až 32 let. Tato skupina se vyznačovala zejména tím, že zraková ostrost při předkládání mínusových čoček neklesla razantně dolů, díky dostatečně velké akomodační šíři. K mírnému poklesu zrakové ostrosti došlo zejména po předložení vysokých mínusových hodnot, přibližně od defokusu -3,5 D, kdy zraková ostrost měřených jedinců klesla v průměru o 2–3 řády. Při defokusu +0,5 D a výše zraková ostrost klesla razantně všem vyšetřovaným.

Vliv randomizace na daná vyšetření byl zanedbatelný, vyšetřovaní jedinci dosahovali téměř vždy stejné zrakové ostrosti, jako při postupném defokusu, příkladem můžeme uvést Obrázek 13.

Proband č. 7 - muž, 28 let



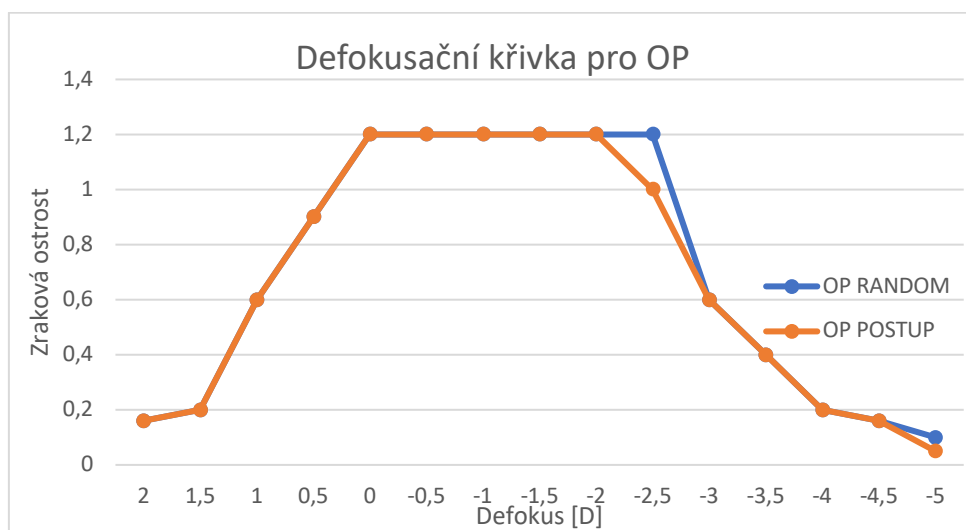
Obrázek 13: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

8.2. Druhá charakteristická skupina

Do této vyšetřované skupiny bylo zařazeno 10 presbyopických jedinců, 5 žen a 5 mužů ve věku 44 až 50 let. Vlivem snížení akomodační amplitudy dochází u této skupiny k výraznějšímu poklesu zrakové ostrosti již při předložení slabších minusových hodnot. Při defokusu -2,5 D se snížila zraková ostrost jedinců v průměru přibližně na polovinu původní zrakové ostrosti, které jedinci dosáhli. Při předložení plusových hodnot dochází k razantnímu poklesu zrakové ostrosti stejně jako v přechodí skupině akomodujících jedinců.

Vliv randomizace na daná vyšetření byl zanedbatelný, vyšetřovaní jedinci dosahovali téměř vždy stejné zrakové ostrosti, jako při postupném defokusu, příkladem můžeme uvést Obrázek 14.

Proband č. 14 - žena, 45 let



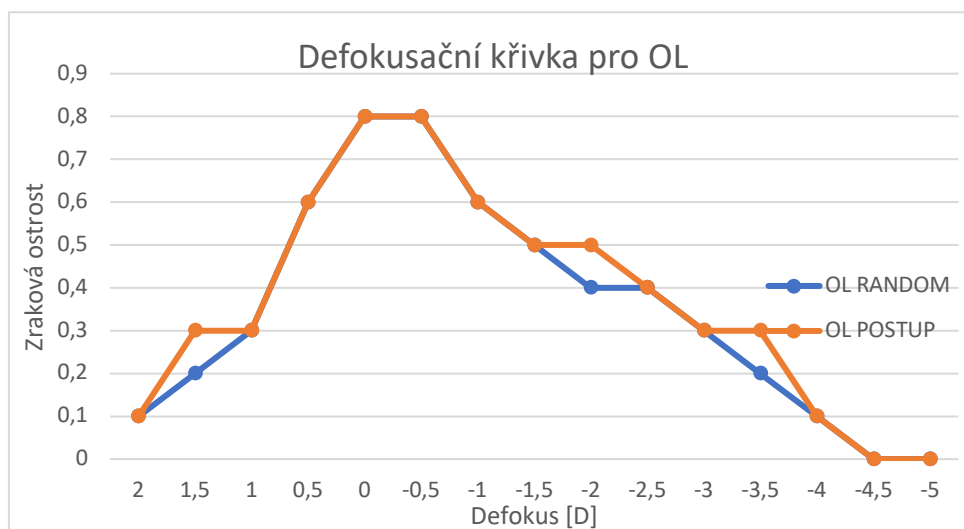
Obrázek 14: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

8.3. Třetí charakteristická skupina

Do této vyšetřované skupiny bylo zařazeno 10 jedinců s oboustranně implantovanými monofokálními nitroočními čočkami, 4 ženy a 6 mužů ve věku 46 až 78 let. Vlivem ztráty akomodace po implantaci IOL dochází u této skupiny, podobně jako u předchozí, k výraznému poklesu zrakové ostrosti s jakýmkoliv defokusem. Ze všech vyšetřovaných skupin je tato skupina charakteristická nejvýraznějším poklesem zrakové ostrosti při jakémkoliv defokusu. Defokusační křivka má ve většině případů jediný vrchol, kde vyšetřovaný jedinec dosáhl nejvyšší zrakové ostrosti bez defokusu. Snížení zrakové ostrosti při předsazení plusových čoček je srovnatelné ve všech třech skupinách.

Vliv randomizace na daná vyšetření byl zanedbatelný, vyšetřovaní jedinci dosahovali téměř vždy stejné zrakové ostrosti, jako při postupném defokusu, příkladem můžeme uvést Obrázek 15.

Proband č. 29 - žena, 77 let

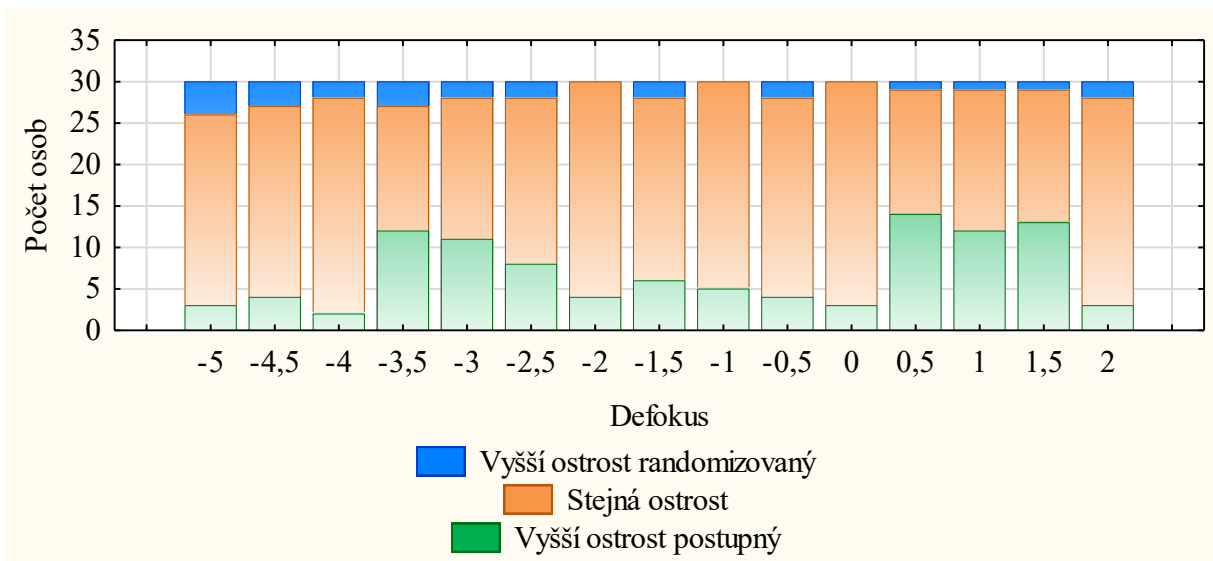


Obrázek 15: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

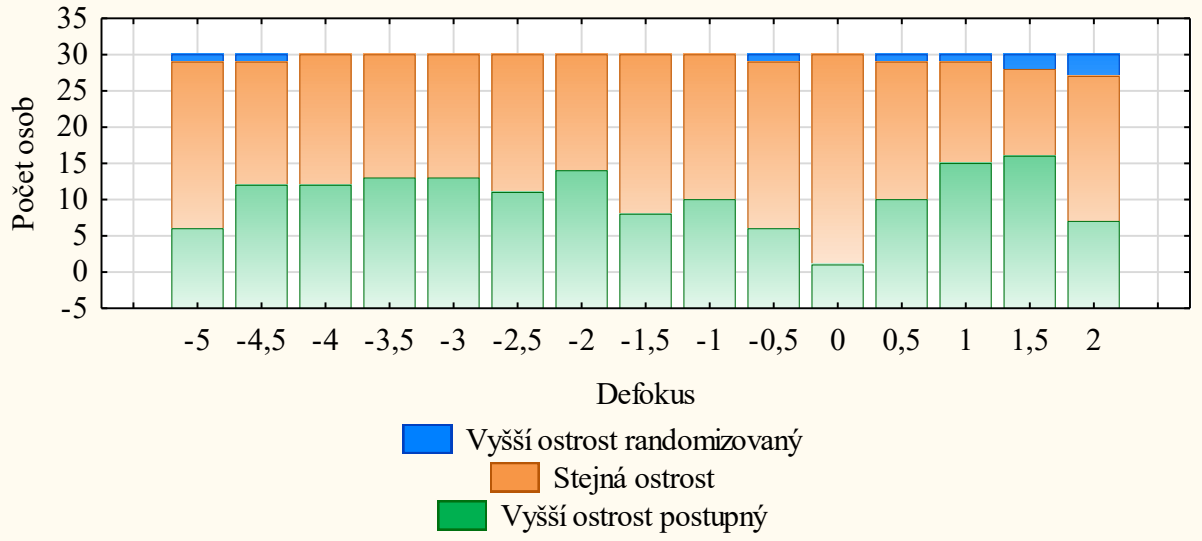
8.4. Statistické zpracování výsledků

Cílem statistického zpracování bylo vyhodnotit rozdíl v dosažené zrakové ostrosti měřené při postupném defokusu a při randomizovaném defokusu. Při hodnocení dat byl použit neparametrický přístup, pro každou hodnotu defokusu byla zraková ostrost při postupném a randomizovaném defokusu porovnána pomocí Wilcoxonova párového testu. Kromě výsledku tohoto testu byly pro srovnávané skupiny reportovány také pořadové statistiky: medián, dolní a horní kvartil, minimum a maximum. Vzhledem k tomu, že počet osob, u kterých byla hodnota zrakové ostrosti pro postupný a randomizovaný defokus rozdílná, byl u všech testů nižší než 20, bylo testování provedeno na základě porovnání s kritickou hodnotou. Použit byl oboustranný test s hladinou významnosti 0,05. Všechny výpočty byly provedeny pomocí programů STATISTICA EN 13 a MS Excel.

Dle vyhodnocených výsledků nelze přesně určit vliv randomizace při vyšetření defokusační křivky, jelikož pro některé hodnoty defokusu byl nalezen statisticky významný rozdíl, naopak pro některé hodnoty defokusu statisticky významný rozdíl nalezen nebyl, viz. Tabulka č.1 a Tabulka č. 2. Avšak porovnáním dosažených výsledků na Obrázku 16 a 17 můžeme dojít k závěru, že při postupném defokusu vyšetřované osoby dosahovaly lepších hodnot zrakové ostrosti než při defokusu randomizovaném.



Obrázek č. 16: Sloupcový skládaný graf pro zpracované hodnoty pravého oka



Obrázek č. 17: Sloupcový skládaný graf pro zpracované hodnoty levého oka

Tabulka č. 1: Výsledky pro pravé oko

Defokus	Typ	Min	Max	DK	Med	HK	Pos	Ran	n	T	krit	SV
-5	P	0	1,2	0	0,1	1	3	4	7	12,5	3	ne
	R	0	1,2	0	0,1	1						
-4,5	P	0	1,5	0,01	0,1	1,15	4	3	7	9,5	3	ne
	R	0	1,5	0	0,1	1,15						
-4	P	0	1,5	0,1	0,2	1,2	2	2	4	5	-	-
	R	0	1,5	0,1	0,2	1,2						
-3,5	P	0,1	1,5	0,23	0,4	1,2	12	3	15	26,5	30	ano
	R	0,1	1,5	0,2	0,35	1,2						
-3	P	0,1	1,5	0,4	0,55	1,2	11	2	13	16,5	21	ano
	R	0,1	1,5	0,3	0,5	1,2						
-2,5	P	0,2	1,5	0,43	0,7	1,2	8	2	10	12,5	10	ne
	R	0,2	1,5	0,4	0,7	1,2						
-2	P	0,3	1,5	0,53	1	1,2	4	0	4	0	-	-
	R	0,3	1,5	0,5	0,95	1,2						
-1,5	P	0,5	1,5	0,7	1	1,2	6	2	8	10	5	ne
	R	0,4	1,5	0,7	1	1,2						
-1	P	0,5	1,5	0,8	1,2	1,5	5	0	5	0	0	ne
	R	0,5	1,5	0,8	1	1,5						
-0,5	P	0,5	2	0,9	1,2	1,5	4	2	6	9	2	ne
	R	0,5	1,5	0,9	1,2	1,5						
0	P	0,5	2	1	1,2	1,5	3	0	3	0	-	-
	R	0,5	2	1	1,2	1,5						
0,5	P	0,3	1,2	0,8	0,9	0,9	14	1	15	5,5	30	ano
	R	0,3	1,2	0,7	0,8	0,9						
1	P	0,3	1	0,5	0,5	0,6	12	1	13	5	21	ano
	R	0,2	1	0,4	0,5	0,6						
1,5	P	0,2	0,8	0,2	0,3	0,4	13	1	14	5	25	ano
	R	0,16	0,8	0,2	0,2	0,3						
2	P	0,1	0,4	0,1	0,16	0,2	3	2	5	5,5	0	ne
	R	0,1	0,4	0,1	0,13	0,2						

Typ: P=postupný, R=randomizovaný, DK=dolní kvartil, Med=medián, HK=horní kvartil, Pos=počet osob s vyšší hodnotou zrakové ostrosti pro postupný defokus, Ran= počet osob s vyšší hodnotou zrakové ostrosti pro randomizovaný defokus, SV=statisticky významný rozdíl

Tabulka č. 2: Výsledky pro levé oko

Defokus	Typ	Min	Max	DK	Med	HK	Pos	Ran	n	T	krit	SV
-5	P	0	1,2	0	0,1	1	6	1	7	3,5	3	ne
	R	0	1,2	0	0,1	0,88						
-4,5	P	0	1,5	0,1	0,1	1,15	12	1	13	1	21	ano
	R	0	1,2	0	0,1	1						
-4	P	0	1,5	0,1	0,2	1,2	12	0	12	0	17	ano
	R	0	1,5	0,1	0,1	1						
-3,5	P	0,1	1,5	0,2	0,35	1,2	13	0	13	0	21	ano
	R	0,1	1,5	0,2	0,3	1						
-3	P	0,2	1,5	0,3	0,55	1,2	13	0	13	0	21	ano
	R	0,2	1,5	0,3	0,4	1,15						
-2,5	P	0,3	1,5	0,43	0,7	1,2	11	0	11	0	13	ano
	R	0,3	1,5	0,4	0,7	1,2						
-2	P	0,3	1,5	0,6	0,85	1,2	14	0	14	0	25	ano
	R	0,3	1,5	0,5	0,8	1,2						
-1,5	P	0,4	1,5	0,7	1	1,2	8	0	8	0	5	ano
	R	0,3	1,5	0,7	0,95	1,2						
-1	P	0,5	1,5	0,83	1,1	1,43	10	0	10	0	10	ano
	R	0,4	1,5	0,73	1	1,2						
-0,5	P	0,7	1,5	1	1,2	1,43	6	1	7	4	3	ne
	R	0,7	1,5	0,9	1,1	1,2						
0	P	0,8	1,5	1	1,2	1,43	1	0	1	-	-	ne
	R	0,8	1,5	1	1,2	1,43						
0,5	P	0,5	1,5	0,7	0,8	0,98	10	1	11	9	13	ano
	R	0,4	1,5	0,7	0,8	0,9						
1	P	0,2	1	0,4	0,5	0,6	15	1	16	5	35	ano
	R	0,2	0,9	0,4	0,45	0,5						
1,5	P	0,16	0,7	0,23	0,3	0,38	16	2	18	9	47	ano
	R	0,16	0,7	0,2	0,2	0,3						
2	P	0,1	0,5	0,1	0,13	0,2	7	3	10	14,5	10	ne
	R	0,1	0,4	0,1	0,1	0,19						

Typ: P=postupný, R=randomizovaný, DK=dolní kvartil, Med=medián, HK=horní kvartil, Pos=počet osob s vyšší hodnotou zrakové ostrosti pro postupný defokus, Ran= počet osob s vyšší hodnotou zrakové ostrosti pro randomizovaný defokus, SV=statisticky významný rozdíl

9. Diskuse

Cílem této práce bylo zjistit a vysvětlit vliv randomizace na vyšetření defokusační křivky u skupiny 30 osob. Ty byly rozděleny do tří charakteristických skupin. První skupina sestávala z 10 akomodujících jedinců, do druhé skupiny bylo zařazeno 10 presbyopických jedinců a třetí skupina sestávala z 10 jedinců s oboustranně implantovanými monofokálními nitroočními čočkami.

U každého jedince bylo provedeno měření zrakové ostrosti pomocí dvou metod, metody s postupným defokusem a metody s randomizovaným defokusem. U všech měřených jedinců došlo k výraznému poklesu zrakové ostrosti zejména při předsazení plusových hodnot. U první vyšetřované skupiny, skupiny akomodujících jedinců, při předsazování minusových hodnot zůstala zraková ostrost stejná jako při nulovém defokusu, k jejímu poklesu o 2 až 3 řády došlo teprve při vyšších hodnotách defokusu a to v průměru při defokusu $-3,5$ D. U druhé skupiny presbyopických jedinců došlo ke snížení zrakové ostrosti na polovinu původní zrakové ostrosti v průměru u defokusu $-2,5$ D. U poslední vyšetřované skupiny jedinců s implantovanými monofokálními nitroočními čočkami došlo k nejvýraznějšímu poklesu zrakové ostrosti s daným defokusem. Ke snížení zrakové ostrosti měřených jedinců došlo ve většině případů již při defokusu $-0,5$ D, tudíž výsledná defokusační křivka má pouze jeden vrchol, který reprezentuje nejvyšší zrakovou ostrost s nulovým defokusem.

Při porovnání defokusačních křivek získaných metodou s postupným defokusem a metodou s randomizovaným defokusem, můžeme v některých případech vidět minimální rozdíl v naměřených hodnotách, pro porovnání můžeme uvést například Přílohu 2, 13, 27 a 58. V jiných případech jsme však také zaznamenali větší rozdíl v naměřených hodnotách, např. Příloha 11, 20, 28 a 53, kdy lepších výsledků zrakové ostrosti jsme dosáhli při použití metody s postupným defokusem. Všechny defokusační křivky měřených pacientů jsou uvedeny v Příloze A.

Při statistickém zpracování výsledků jsme dospěli k zjištění, že vliv randomizace na vyšetření defokusační křivky nelze přesně stanovit, jelikož pro některé hodnoty defokusu nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi oběma metodami. Při porovnání grafů na Obrázcích 16 a 17 pro pravé a levé oko zvlášť, můžeme však dojít k závěru, že při postupném defokusu dosahovali vyšetřovaní jedinci vyšších hodnot zrakové ostrosti.

Při porovnání dosažených výsledků s výsledky dosaženými ve studiích [26; 27], které se zabývaly jak randomizací při vyšetření defokusační křivky, tak i randomizací představovaných

písmen na optotypu, kdy vyšetřením nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v randomizovaném a nerandomizovaném pořadí jednoho z faktorů, se výsledky této práce lišily, jelikož při některých hodnotách defokusu, konkrétně u pravého oka při defokusu -3,5 D až -3,0 D, +0,5 D až +1,5 D, u levého oka při defokusu -4,5 D až -1,0 D, +0,5 D až +1,5 D (viz. Tabulka 1 a 2), byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi metodou s postupným defokusem a metodou s randomizovaným defokusem, kdy při postupném defokusu dosahovali vyšetřovaní jedinci vyšší zrakové ostrosti než při defokusu randomizovaném.

Závěr

Cílem této práce bylo zpracovat problematiku defokusační křivky jako takové a v experimentální části demonstrovat vliv randomizace při měření defokusační křivky.

Teoretická část práce se zabývá tématy, které úzce souvisí s problematikou defokusační křivky, a to akomodací, kataraktou, nitroočními čočkami a hloubkou ostrosti. Poslední kapitola teoretické části je zaměřena především na problematiku defokusační křivky.

Druhá, experimentální část práce se zabývá samotným měřením defokusační křivky u tří charakteristických skupin. Každá skupina čítající deset členů byla měřena pomocí dvou různých metod, a to metodou s postupným defokusem a metodou s randomizovaným defokusem, kdy byl porovnáván rozdíl v naměřených hodnotách mezi oběma metodami.

Při porovnání defokusačních křivek a při statistickém zpracování naměřených hodnot získaných pomocí obou metod jsme dospěli k zjištění, že při některých hodnotách defokusu (-3,5 D až -3,0 D, +0,5 D až +1,5 D u oka pravého, -4,5 D až -1,0 D, +0,5 D až +1,5 D u oka levého), byl nalezen statistický významný rozdíl mezi použitými metodami, kdy konkrétně při použití metody s postupným defokusem dosahovali vyšetřovaní jedinci vyšších hodnot zrakové ostrosti než při použití metody s randomizovaným defokusem.

Seznam citované literatury

- [1] TUNNACLIFFE, Alan H. Introduction to visual optics. 4th ed. Godmersham Park: Association of British Dispensing Opticians, 1993, vii, 603 s. ISBN 978-0-90009-928-1.
- [2] KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-802-4711-638.
- [3] ROKYTA, Richard. *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV, 2000. Lékařství. ISBN 80-858-6645-5.
- [4] MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1190-7.
- [5] How many mega pixels does the eye have?. *Biology* [online]. 2015 [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://biology.stackexchange.com/questions/40607/how-many-mega-pixels-does-the-eye-have>
- [6] ATCHINSON, David A. a George SMITH. *Optics of the Human Eye*. Edinburgh: ButterWorth Heinemann, 2000. ISBN 0-7506-3775-7.
- [7] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-726-2404-0.
- [8] ČIHÁK, Radomír, DRUGA, Rastislav a Miloš GRIM, ed. *Anatomie 3. 2., upr. a dopl. vyd.* Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-1132-X.
- [9] DALTON, Michelle. *A new theory of accommodation* [online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.eyeworld.org/article-reciprocal-zonular-action>
- [10] Cataracts. Mayo Clinic [online]. Minnesota, USA: Mayo Foundation for Medical Education and Research, 1998, 23.06.2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/cataracts/symptoms-causes/syc-20353790>
- [11] Katarakta a nitrooční čočky. *Česká oční optika* [online]. 2016, **57**, 20 [cit. 2019-01-07]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: <https://docplayer.cz/44699732-Editorial-ceska-ocni-optika-vazene-ctenarky-vazeni-ctenari-predplatne.html>
- [12] CHIRILA, Traian. *Biomaterials and regenerative medicine in ophthalmology*. Woodhead Publishing, 2006. ISBN 9781845694432.
- [13] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-802-3989-069.
- [14] BENJAMIN, William J. a Irvin M. BORISH. *Borish's clinical refraction*. 2. St. Louis: Butterworth Heinemann/Elsevier, 2006. ISBN 07-506-7524-1.

- [15] MATOSSIAN, Cynthia. Extending the capability of IOLs: Extended depth of focus and extended range of vision IOLs. *American Academy of Ophthalmology* [online]. San Francisco: American Academy of Ophthalmology, 2015 [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <https://www.aao.org/current-insight/extending-capability-of-iols-extended-depth-of-foc>
- [16] BOYD, Kierstan. What is Monovision (or Blended Vision)?. *American Academy of Ophthalmology* [online]. 2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.aao.org/eye-health/treatments/what-is-monovision-blended-vision>
- [17] Cataract Lenses - Monofocal vs Multifocal. The pros and cons. *Optegra* [online]. Kent [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.optegra.com/eye-health-blog/may-2016/cataract-lenses---monofocal-vs-multifocal-the-pro/>
- [18] ZVORNIČANIN, Jasmin a Edita ZVORNIČANIN. Premium intraocular lenses: The past, present and future. *Journal of Current Ophthalmology* [online]. 2018, **30**(4), 287-296 [cit. 2018-12-13]. DOI: 10.1016/j.joco.2018.04.003. ISSN 24522325. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2452232517302561>
- [19] XU, Ze-Quan, Xu-Hua SONG, Wen-Zhe LI, Yan DOU a Qiang WU. Clinical study inpatient-reported outcomes after binocular implantation of aspheric intraocular lens of different negative spherical aberrations. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*[online]. 2017, **10**(7), 710-713 [cit. 2018-12-14]. DOI: 10.1016/j.apjtm.2017.07.012. ISSN 19957645. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1995764517309707>
- [20] POYALES, Francisco, Nuria GARZÓN, Concepción POYALES a Blanca POYALES. Clinical Outcomes with a New Model of Extended Depth of Focus Intraocular Lens. *Open Journal of Ophthalmology* [online]. 2018, **08**(03), 161-170 [cit. 2018-12-14]. DOI: 10.4236/ojoph.2018.83020. ISSN 2165-7408. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ojoph.2018.83020>
- [21] JONES, Jason J. A New Extended-Range-of-Vision IOL. *Cataract and Refractive Surgery Today* [online]. Wayne: Bryn Mawr Communications, LLC., 2016 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://crstoday.com/articles/2016-aug/a-new-extended-range-of-vision-iol/>
- [22] MARCOS, Susana, Esther MORENO a Rafael NAVARRO. The depth-of-field of the human eye from objective and subjective measurements. *Vision Research* [online]. Elsevier Science, 1999, **39**(12), 2039-2049 [cit. 2018-11-06]. DOI: 10.1016/S0042-6989(98)00317-4. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698998003174?via%3Dihub>
- [23] Depth of field. In: Cyberphysics.co.uk [online] Cyberphysics © 2009 Webscaping.co.uk [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: http://www.cyberphysics.co.uk/topics/medical/Eye/Depth_of_field_and_focus.htm

- [24] CIONNI, Robert J., Guy M. KEZIRIAN a Scott M. MACRAE. Get to Know the Defocus Curve: An understanding of this concept is integral to assessing how well an IOL corrects presbyopia. *CATARACT & REFRACTIVE SURGERY TODAY*[online]. 2010, **10**(11), 39-42 [cit. 2018-11-05]. Dostupné z: <https://crstoday.com/articles/2010-nov/feature-story-get-to-know-the-defocus-curve/>
- [25] WOLFFSOHN, James S., Amit N. JINABHAI, Alec KINGSNORTH, et al. Exploring the optimum step size for defocus curves. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. Manchester: Elsevier, 2013, **39**(6), 873-880 [cit. 2018-11-05]. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.01.031. ISSN 08863350. Dostupné z: [https://www.jcrsjournal.org/article/S0886-3350\(13\)00106-5/fulltext](https://www.jcrsjournal.org/article/S0886-3350(13)00106-5/fulltext)
- [26] GUPTA, Navneet, Shehzad A. NAROO a James S. WOLFFSOHN. Is randomisation necessary for measuring defocus curves in pre-presbyopes?. *Contact Lens and Anterior Eye* [online]. British Contact Lens Association, 2007, **30**(2), 119-124 [cit. 2018-11-05]. DOI: 10.1016/j.clae.2007.02.005. Dostupné z: [https://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484\(07\)00029-X/fulltext](https://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484(07)00029-X/fulltext)
- [27] GUPTA, Navneet, James S.W. WOLFFSOHN a Shehzad A. NAROO. Optimizing measurement of subjective amplitude of accommodation with defocus curves. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. 2008, **34**(8), 1329-1338 [cit. 2018-11-05]. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.04.031. Dostupné z: [https://www.jcrsjournal.org/article/S0886-3350\(08\)00526-9/fulltext](https://www.jcrsjournal.org/article/S0886-3350(08)00526-9/fulltext)
- [28] ALIÓ DEL BARRIO, Jorge L. a Alfredo VEGA-ESTRADA. Accommodative intraocular lenses: where are we and where we are going. *Eye and Vision* [online]. 2017, **4**(1) [cit. 2018-12-06]. DOI: 10.1186/s40662-017-0077-7. ISSN 2326-0254. Dostupné z: <http://eandv.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40662-017-0077-7>
- [29] AUFFARTH, Gerd U. European Trends in Multifocal Lens Use. *Cataract and Refractive Surgery Today Europe* [online]. Wayne: Bryn Mawr Communications, LLC., 2015 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://crstodayeurope.com/articles/2015-sep/european-trends-in-multifocal-lens-use/>
- [30] HOWARD, Blaze. AcrySof® ReSTOR® Aspheric IOL. Aspheric IOL AcrySof® ReSTOR® 2 AcrySof® ReSTOR® Aspheric IOL SN6AD3 Add Power: +4 D Spectacle Plane: 3.2 D Range. In: *Slideplayer.com* [online]. 2016 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/9284680/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma akomodace na blízký a daleký bod	2
Obrázek 2: Probíhající šedý zákal na pravém oku pacienta	6
Obrázek 3: Schéma průběhu operace šedého zákalu	9
Obrázek 4: Schématické zobrazení ohraničení hloubky ostrosti	13
Obrázek 5: Charakteristické defokusační křivky pro mono a multifokální IOL	17
Obrázek 6: Charakteristická defokusační křivka pro multifokální IOL	18
Obrázek 7: Charakteristická defokusační křivka pro tři různé monofokální IOL	19
Obrázek 8: Charakteristická defokusační křivka pro bifokální a trifokální IOL	19
Obrázek 9: Charakteristická defokusační křivka pro asférickou multifokální IOL	20
Obrázek 10: Charakteristická defokusační křivka pro EDOF IOL	20
Obrázek 11: Charakteristická defokusační křivka pro EROV IOL	21
Obrázek 12: Protokol pro zaznamenání hodnot zrakové ostrosti při daném defokusu...	24
Obrázek 13: Defokusační křivky pro OP za použití dvou metod u probanda č. 7	25
Obrázek 14: Defokusační křivky pro OP za použití dvou metod u probanda č. 14	26
Obrázek 15: Defokusační křivky pro OL za použití dvou metod u probanda č. 29	27
Obrázek 16: Sloupcový skládaný graf pro zpracované hodnoty pravého oka	28
Obrázek 17: Sloupcový skládaný graf pro zpracované hodnoty levého oka	29

Seznam tabulek

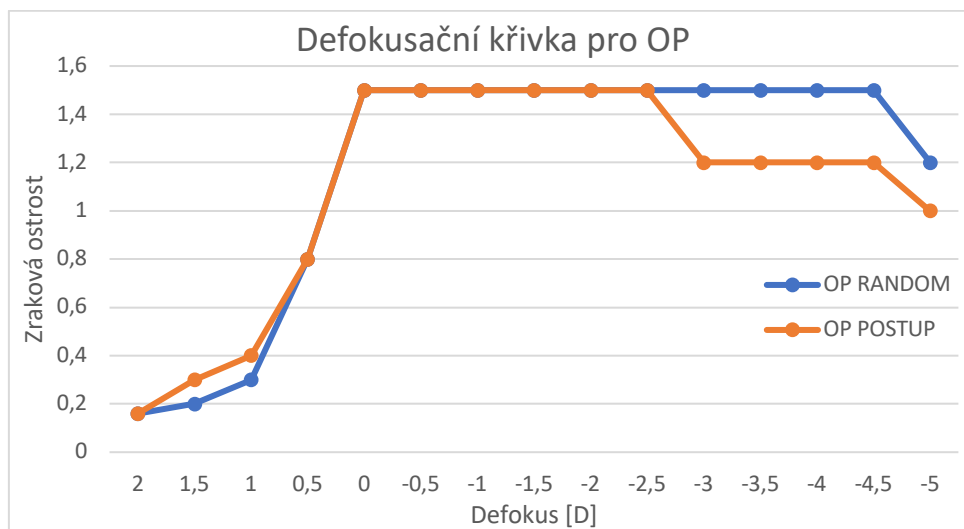
Tabulka 1: Výsledky pro pravé oko.....	30
Tabulka 2: Výsledky pro levé oko.....	31

Seznam příloh

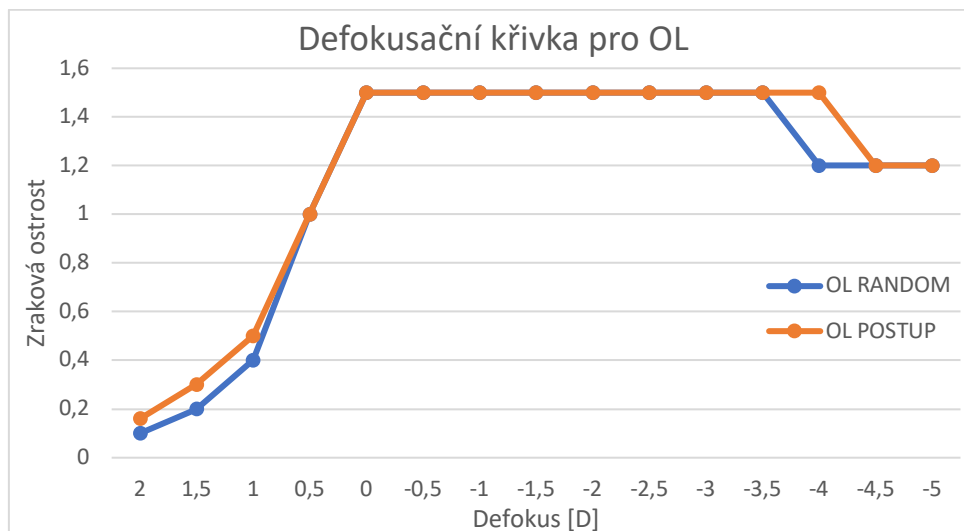
Příloha A: Defokusační křivky měřených jedinců.....	40
---	----

Příloha A: Defokusační křivky měřených jedinců

Proband č. 1 - muž, 15 let

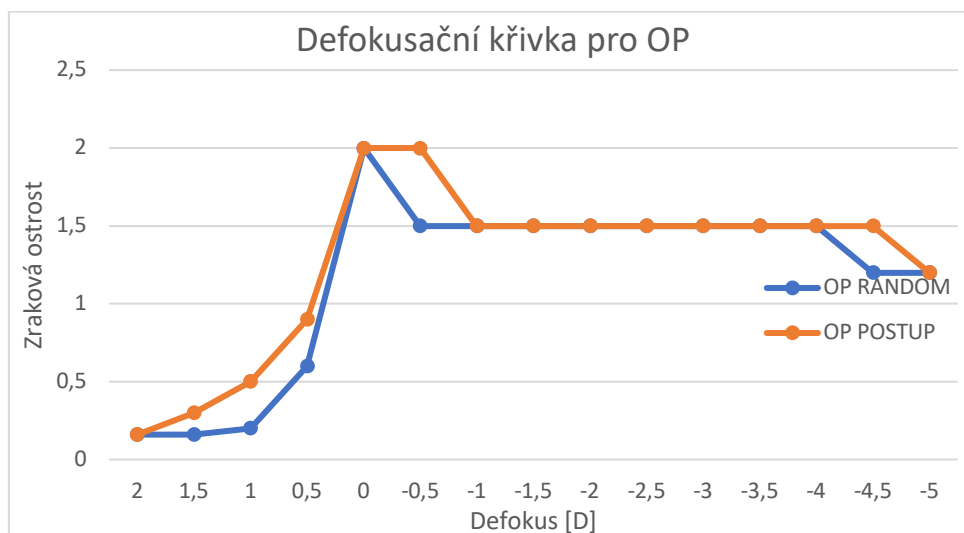


Příloha 1: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

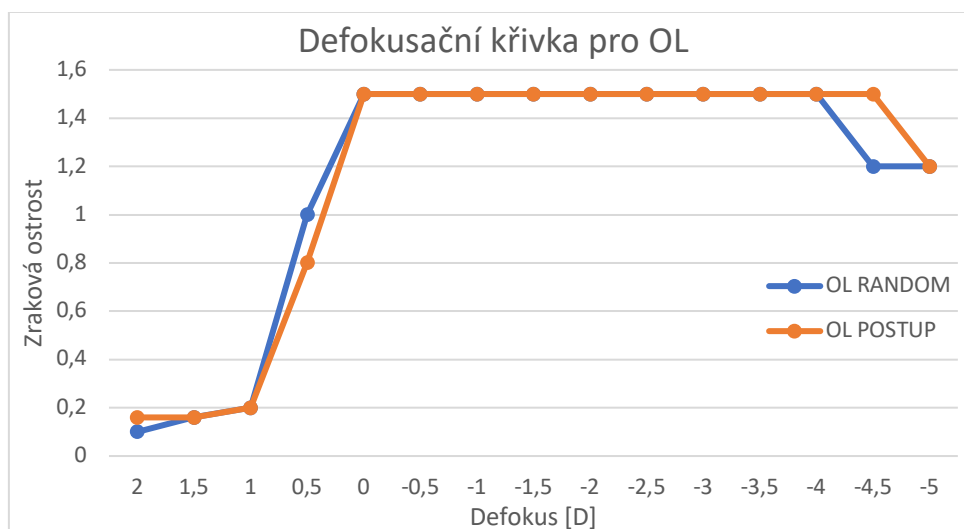


Příloha 2: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 2 - muž, 18 let

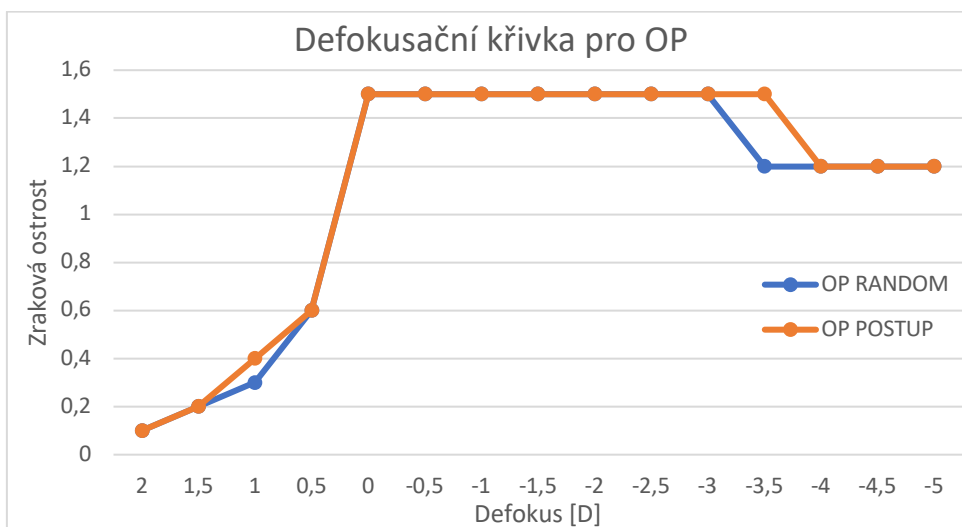


Příloha 3: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

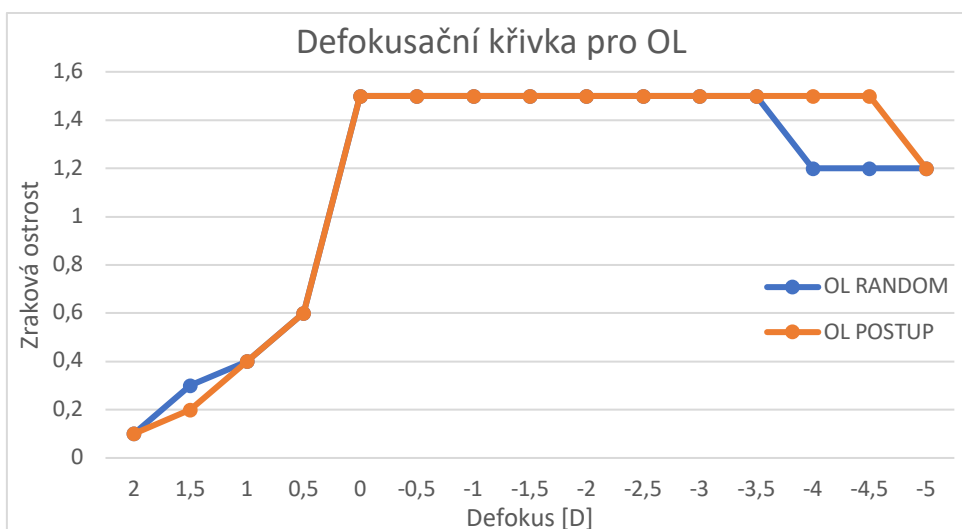


Příloha 4: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 3 - žena, 21 let

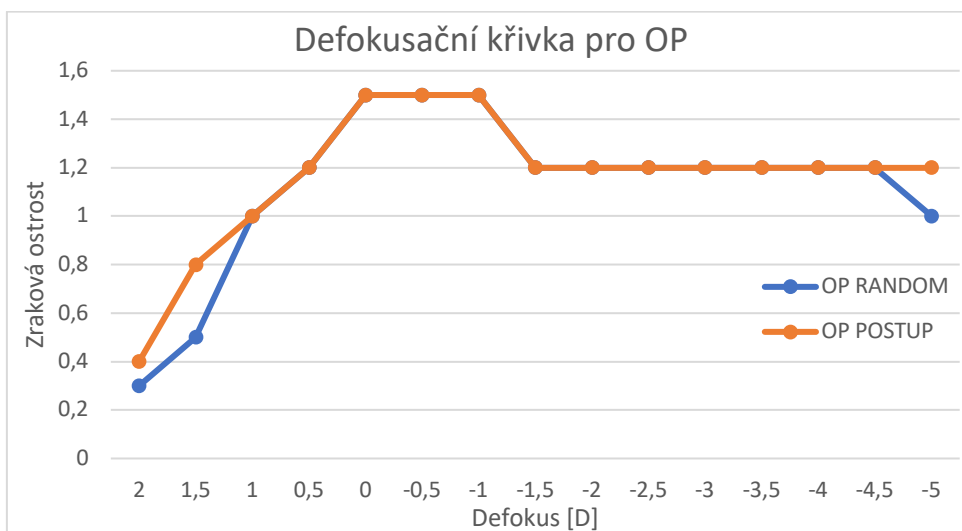


Příloha 5: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

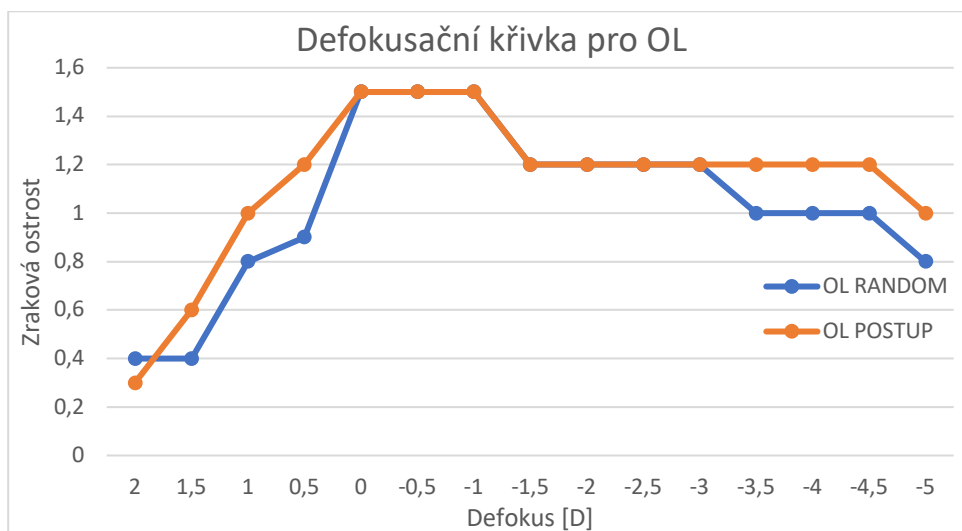


Příloha 6: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 4 - muž, 25 let

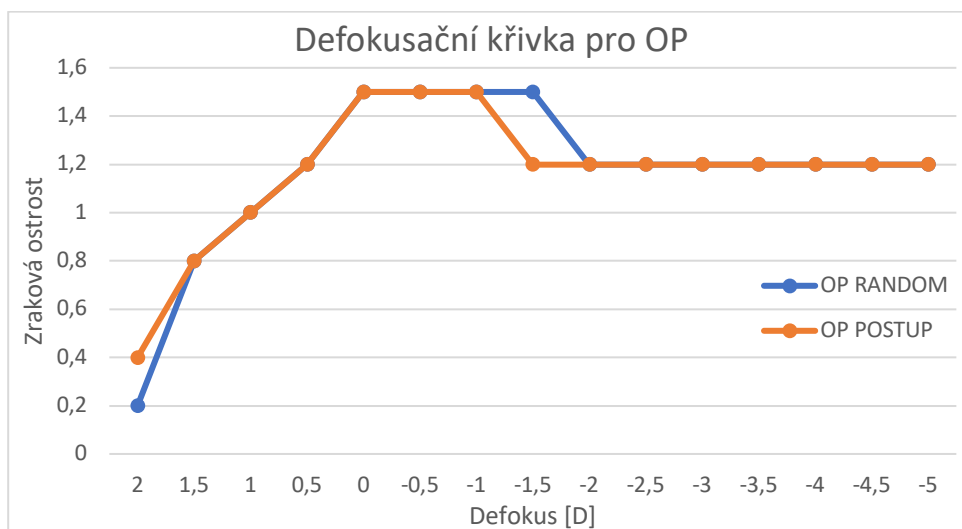


Příloha 7: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

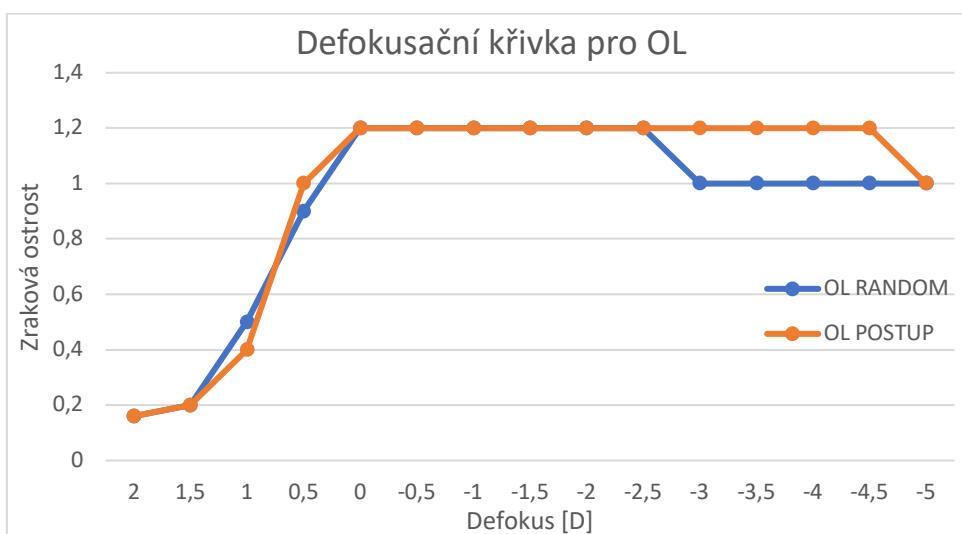


Příloha 8: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 5 - žena, 27 let

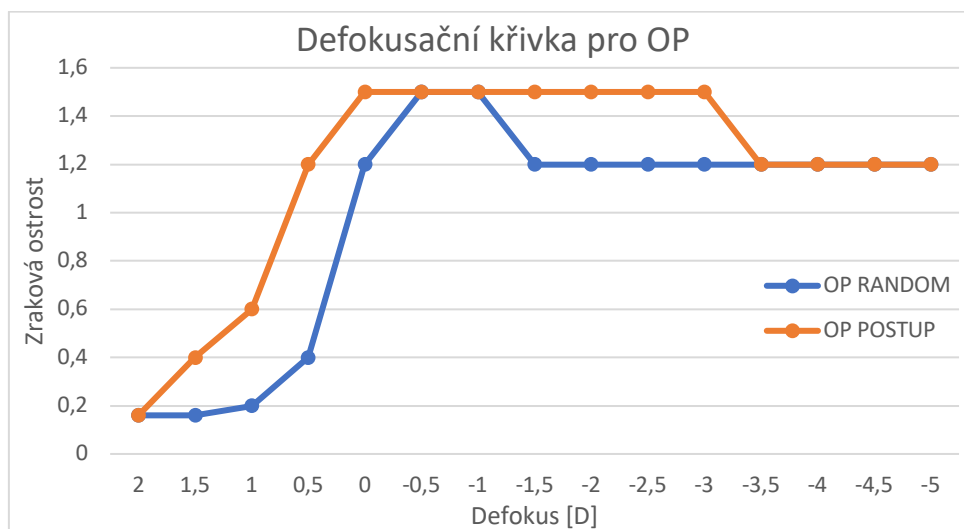


Příloha 9: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

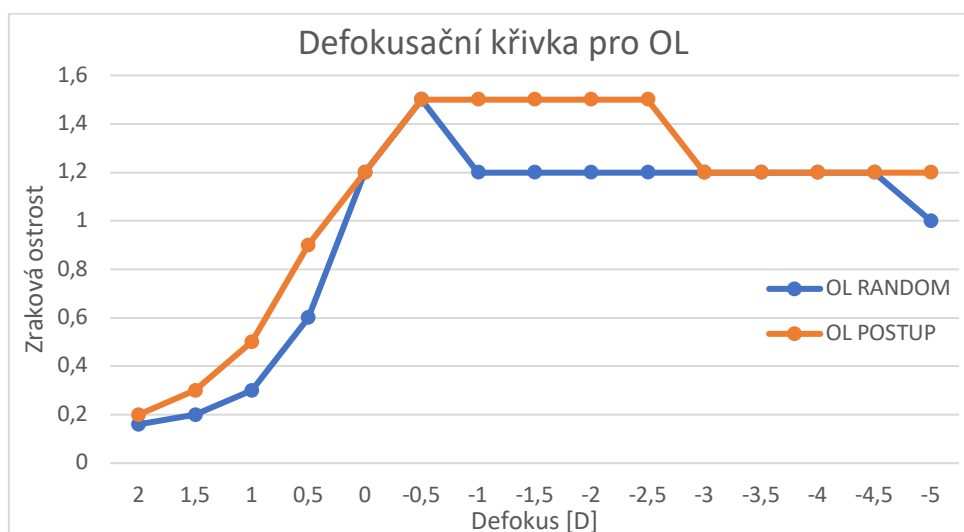


Příloha 10: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 6 - žena, 28 let

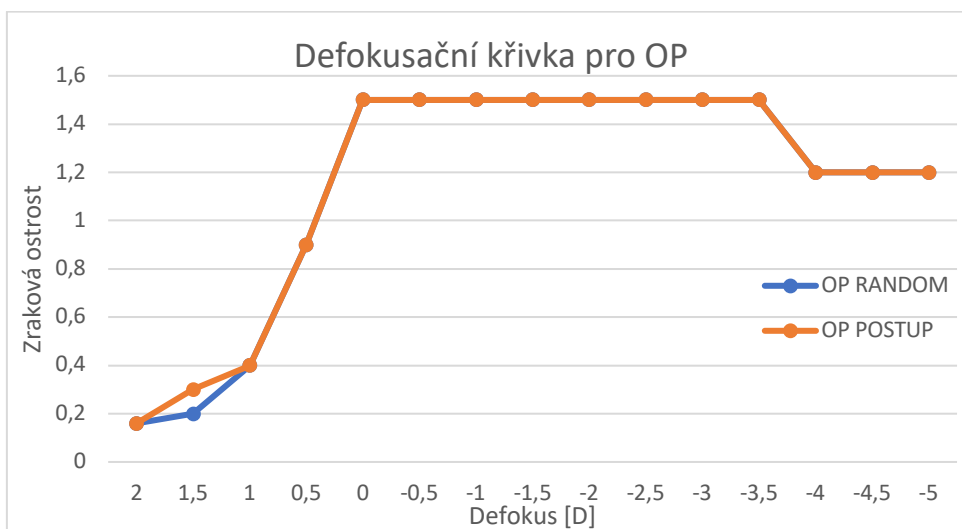


Příloha 11: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

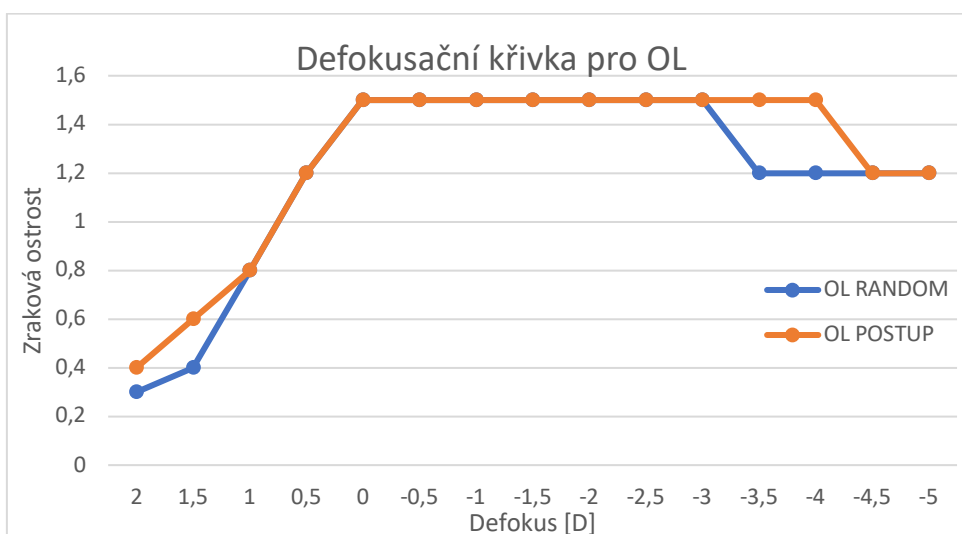


Příloha 12: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 7 - muž, 28 let

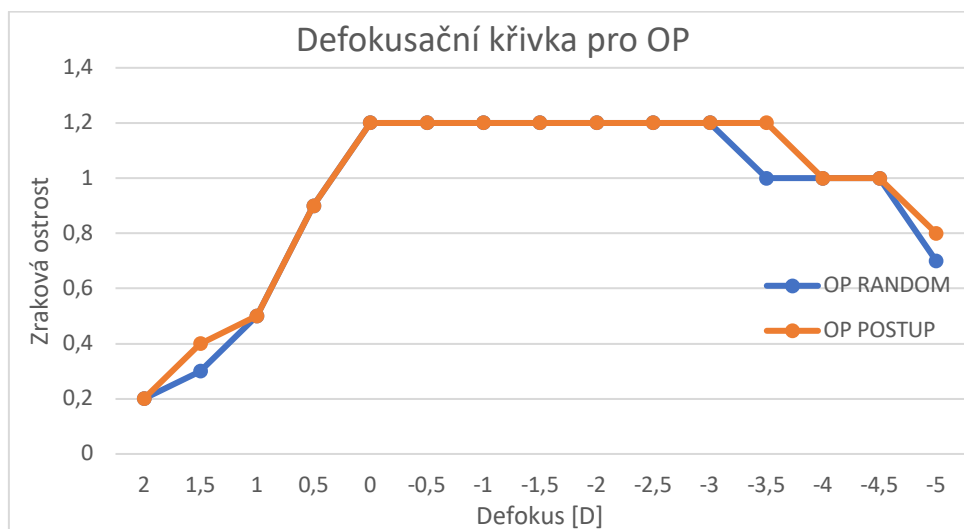


Příloha 13: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

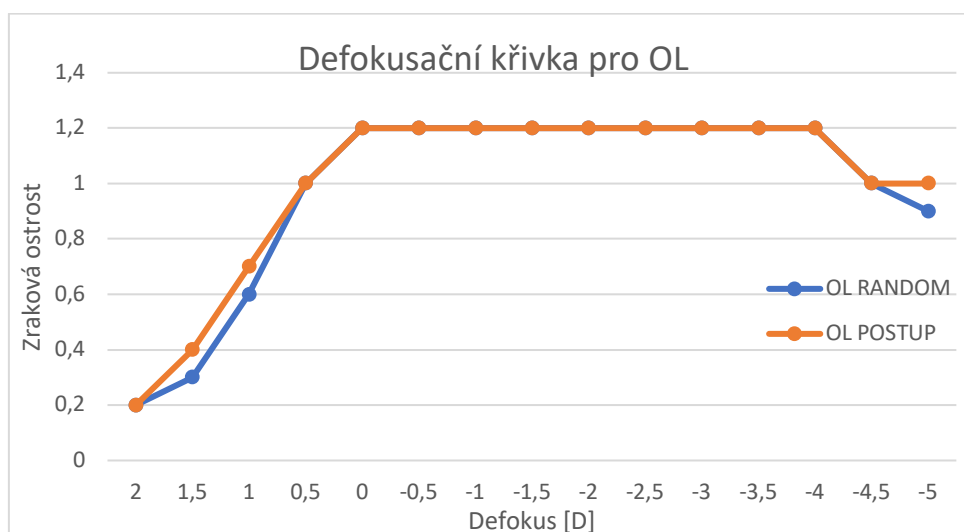


Příloha 14: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 8 - žena, 30 let

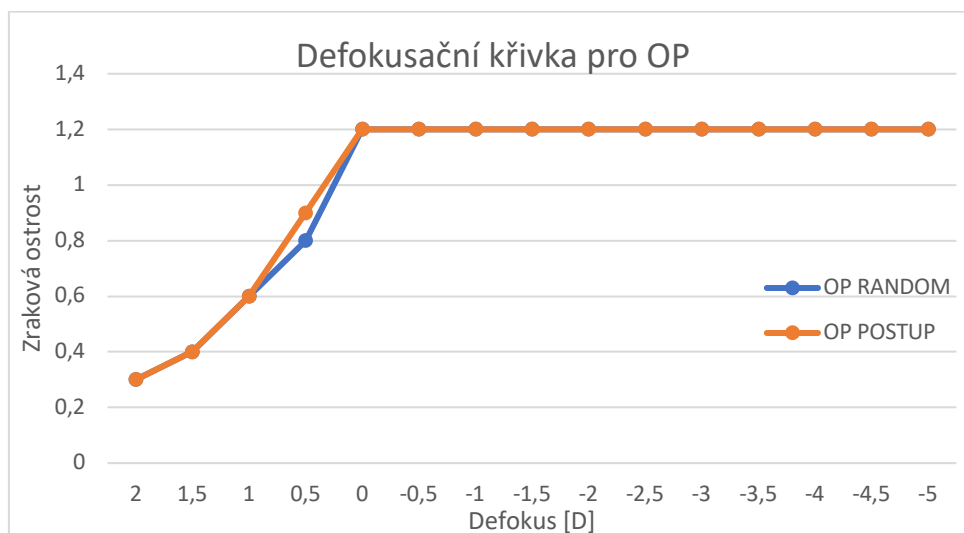


Příloha 15: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

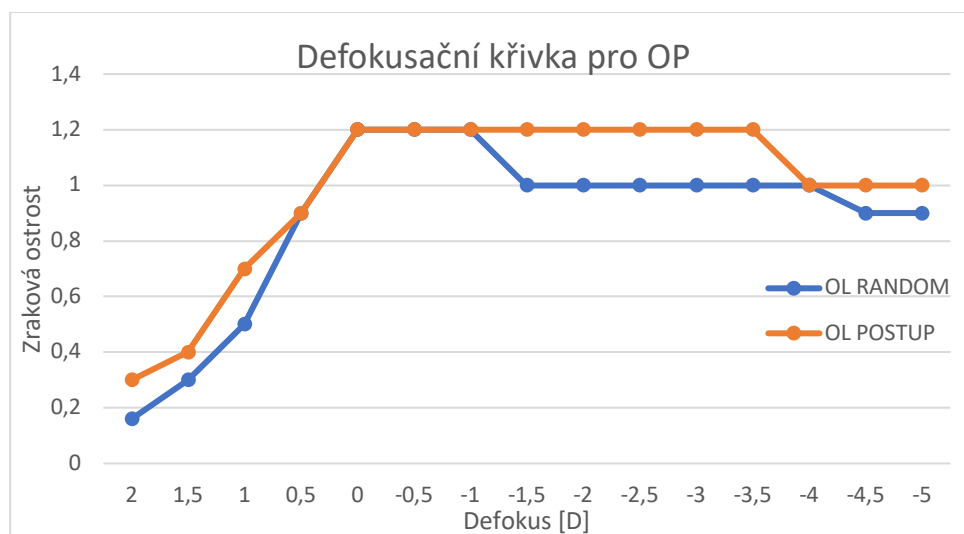


Příloha 16: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 9 - žena, 32 let

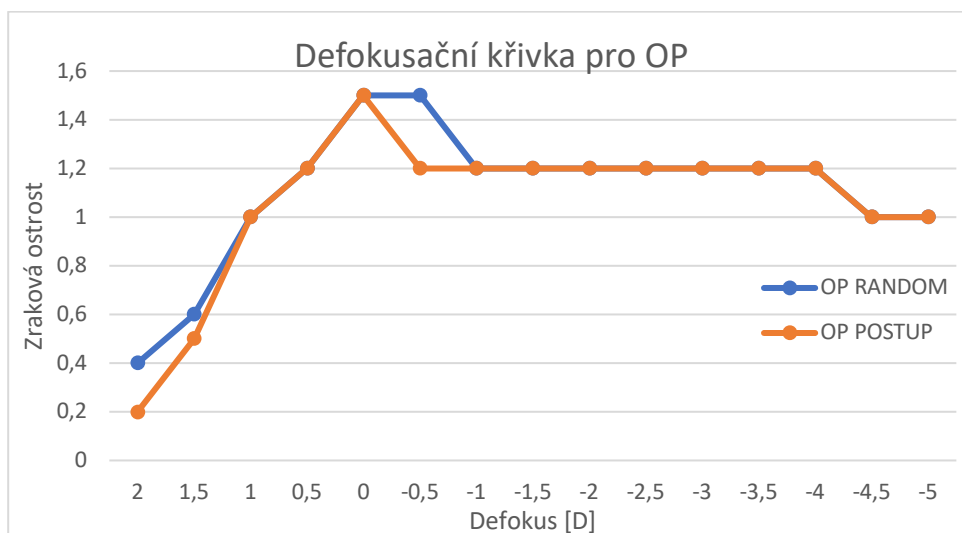


Příloha 17: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

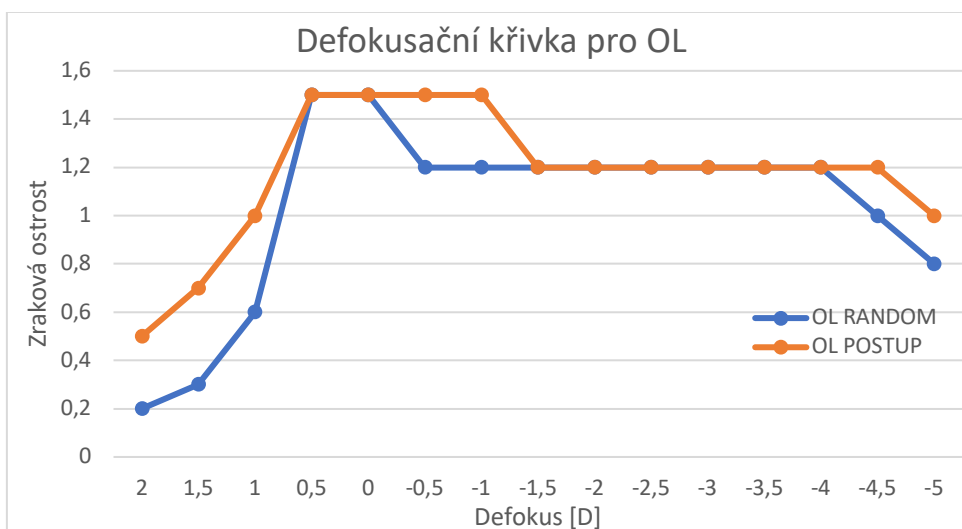


Příloha 18: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 10 - muž, 32 let

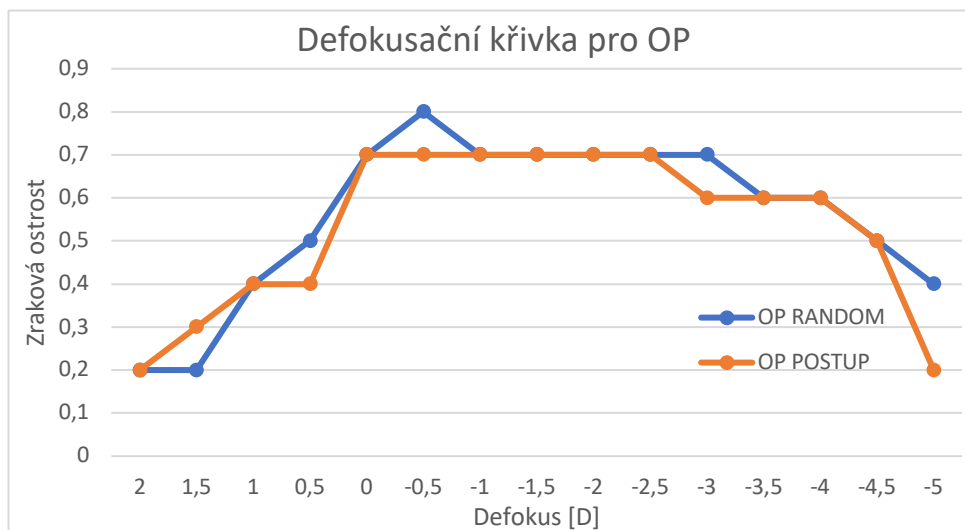


Příloha 19: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

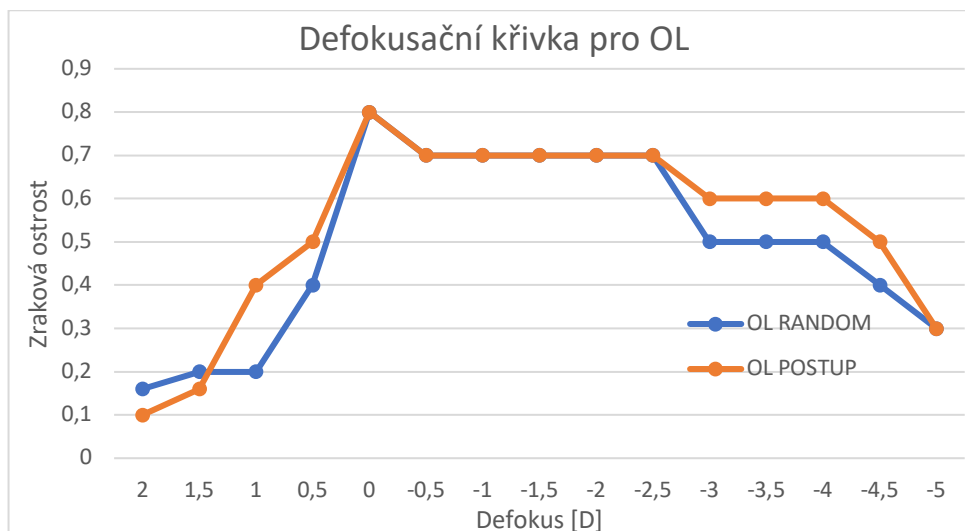


Příloha 20: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 11 - žena, 44 let

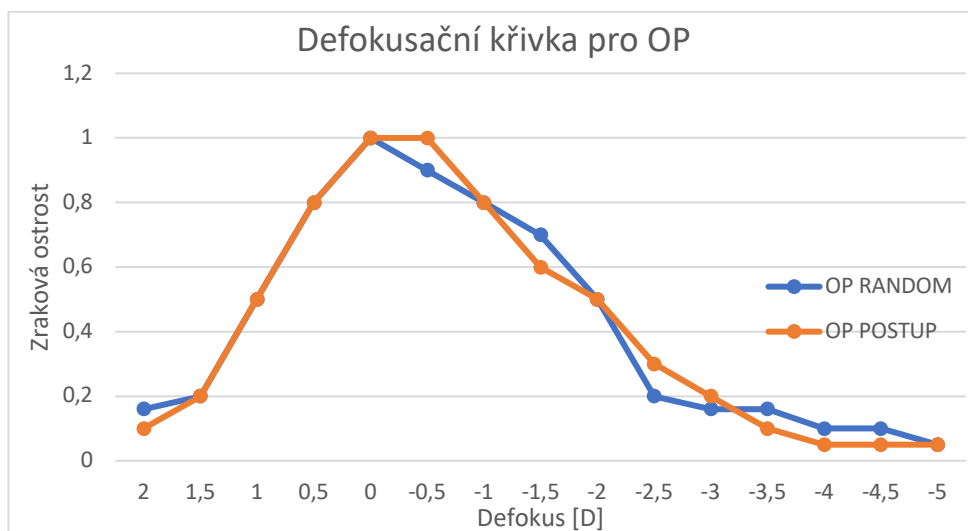


Příloha 21: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

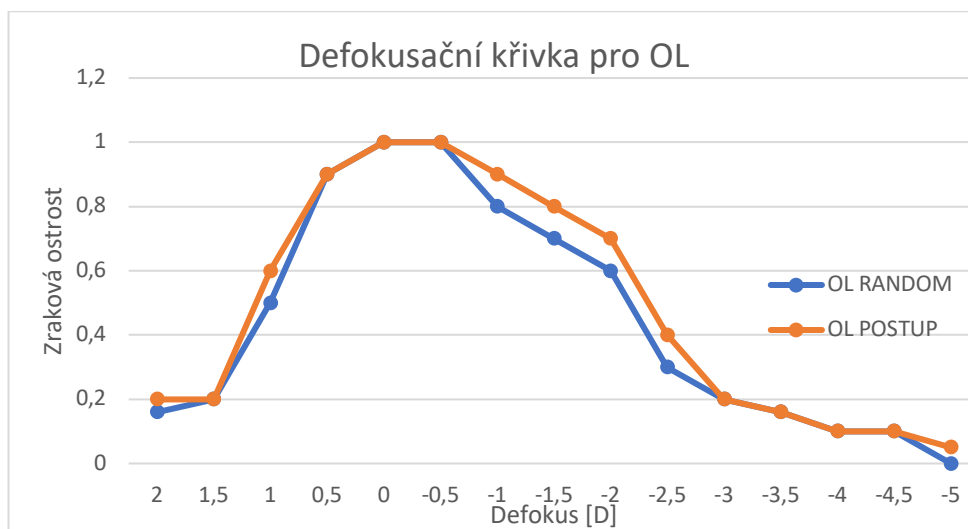


Příloha 22: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 12 - žena, 45 let

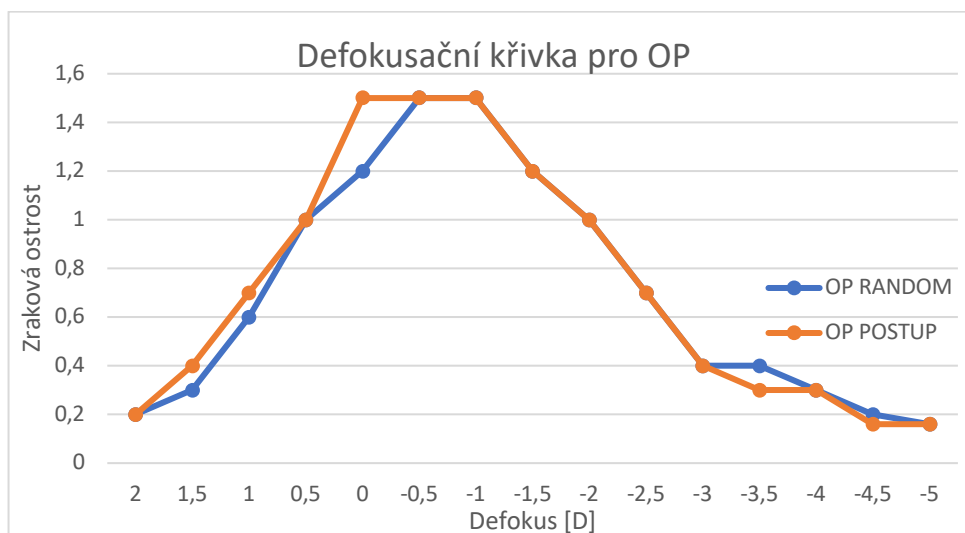


Příloha 23: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

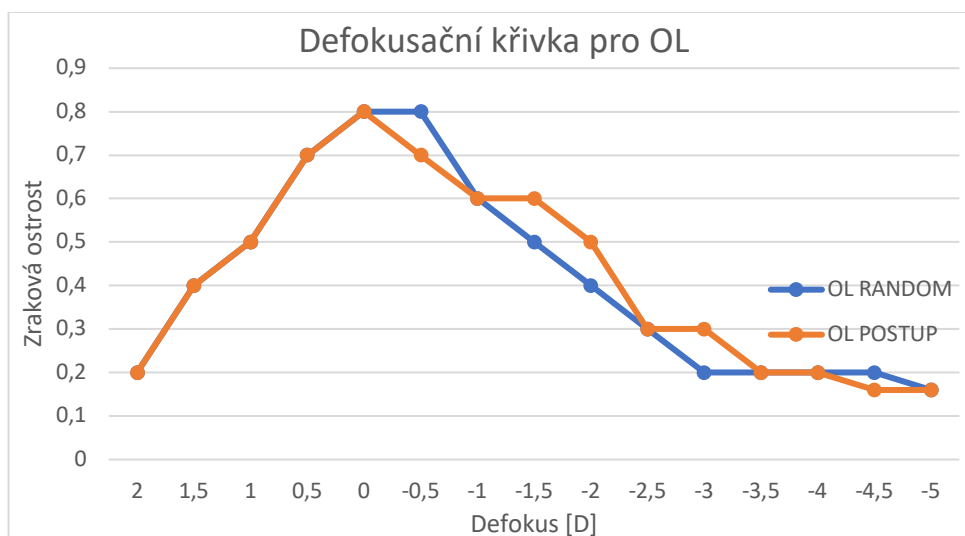


Příloha 24: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 13 - žena, 45 let

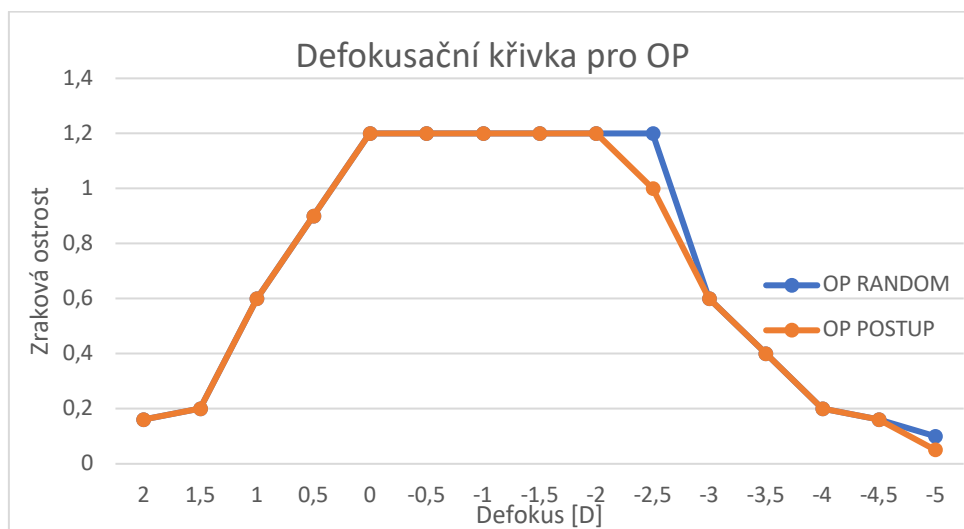


Příloha 25: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

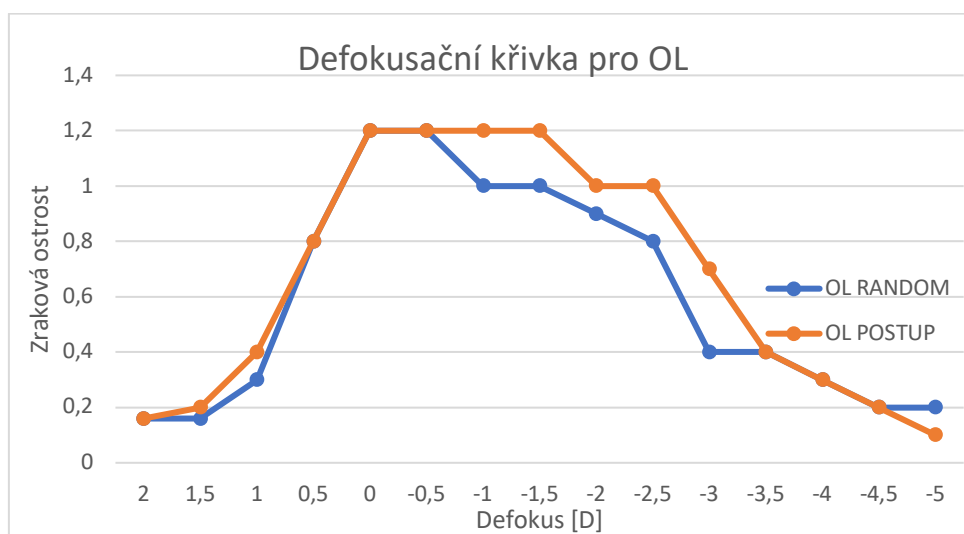


Příloha 26: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 14 - žena, 45 let

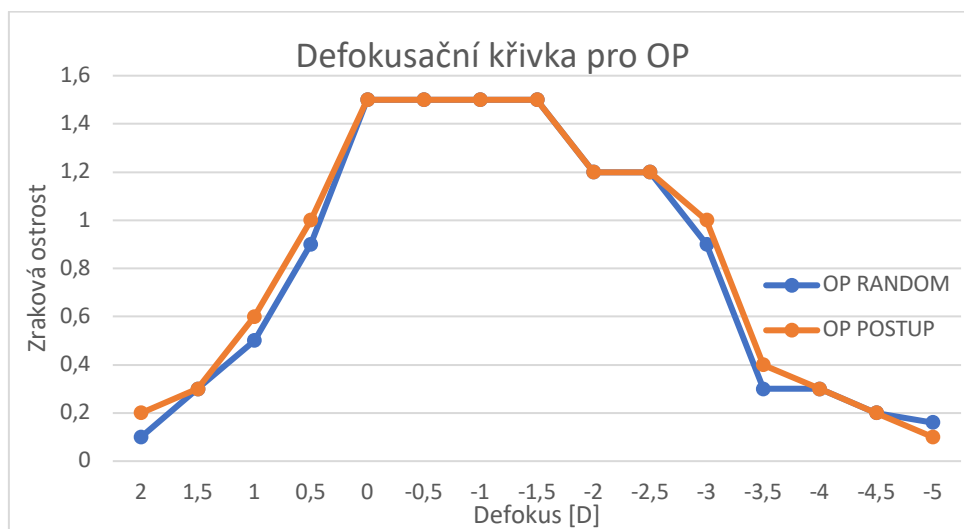


Příloha 27: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

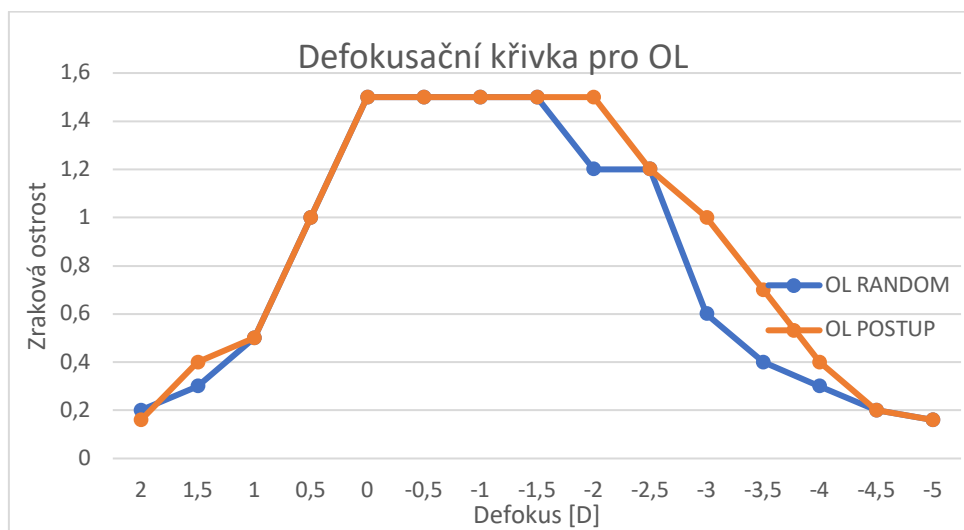


Příloha 28: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 15 - muž, 46 let

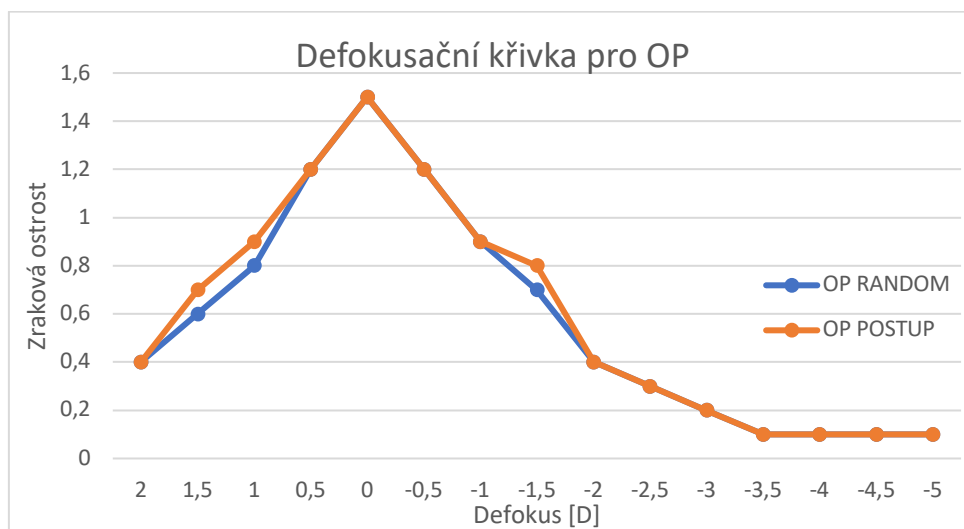


Příloha 29: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

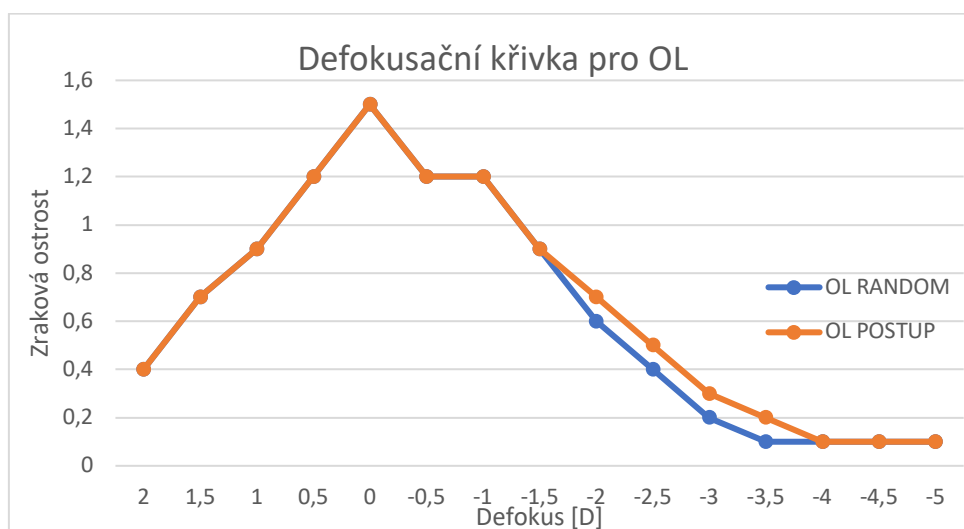


Příloha 30: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 16 - muž, 46 let

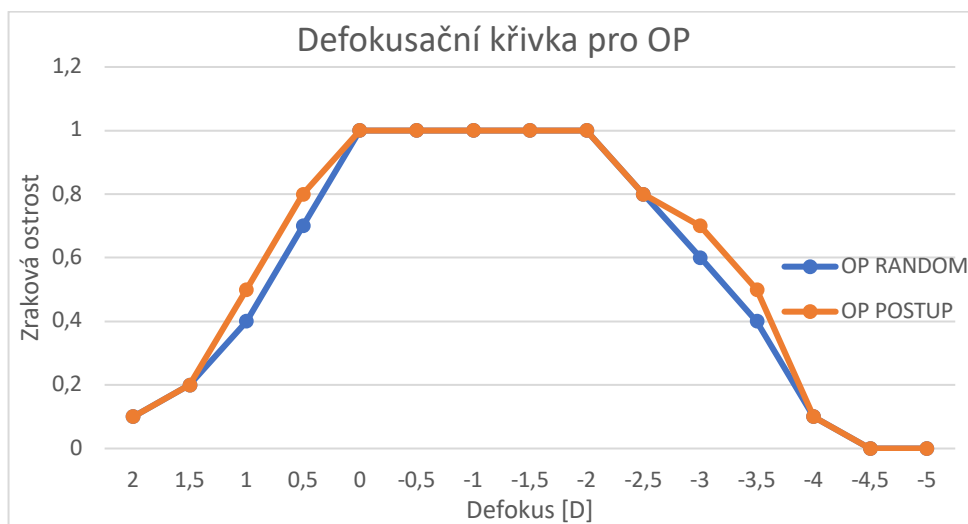


Příloha 31: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

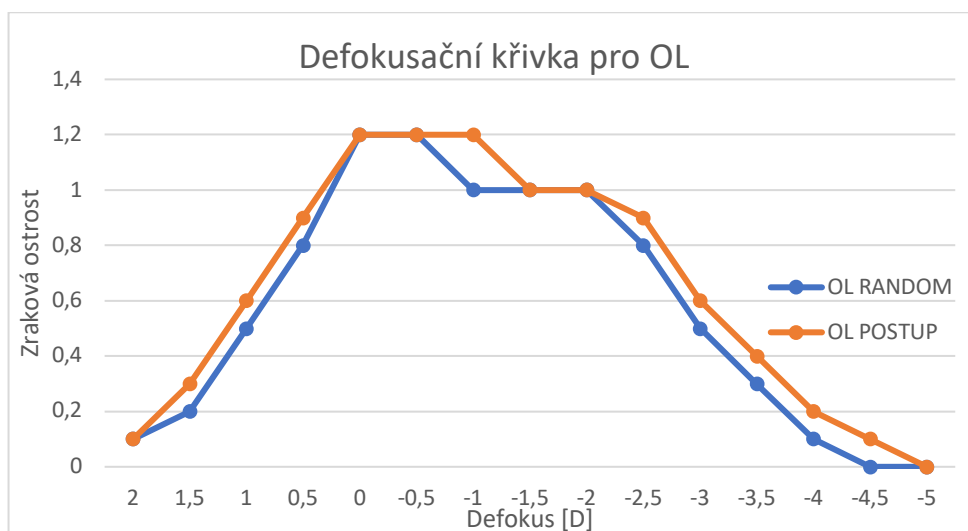


Příloha 32: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 17 - muž, 46 let

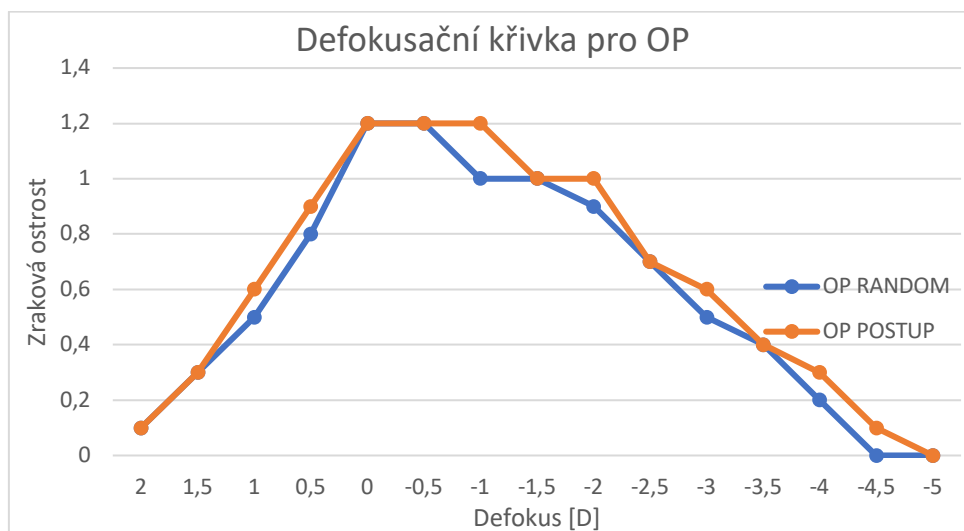


Příloha 33: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

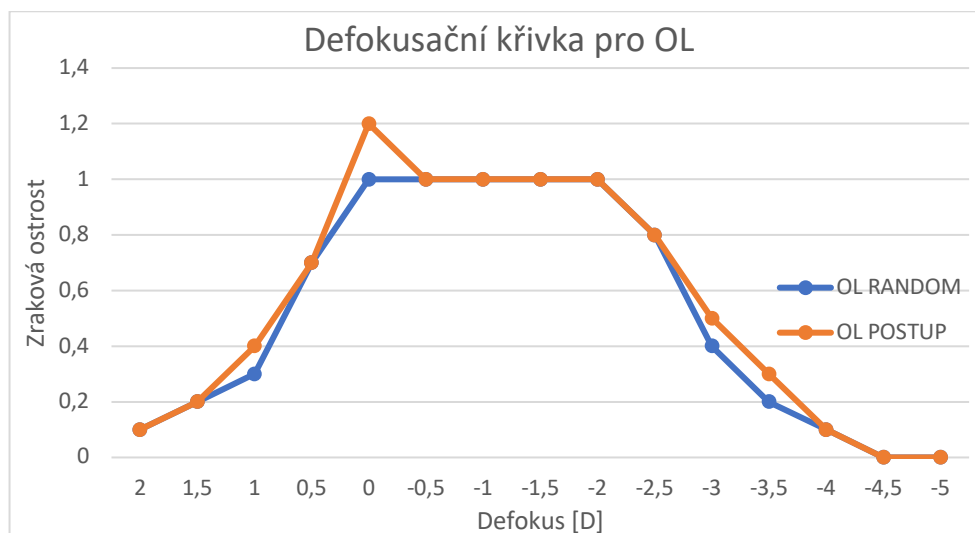


Příloha 34: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 18 - muž, 47 let

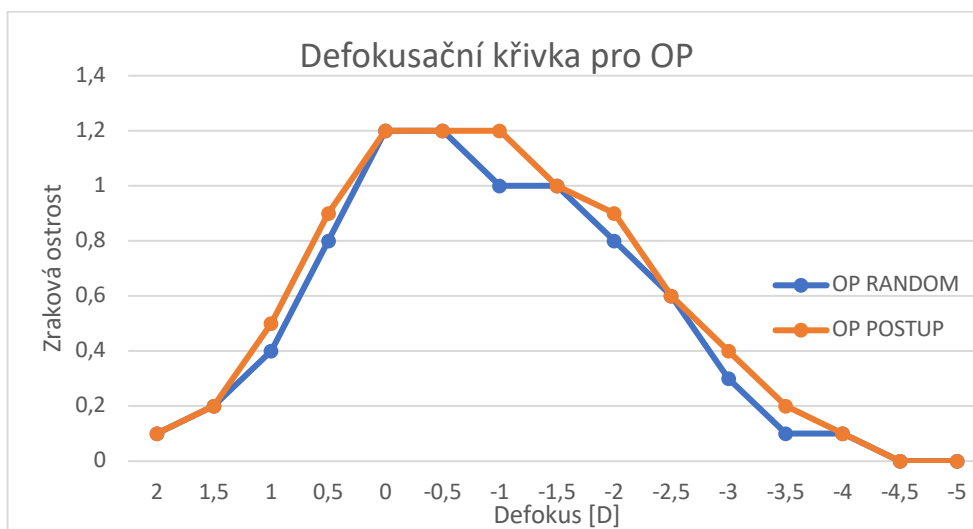


Příloha 35: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

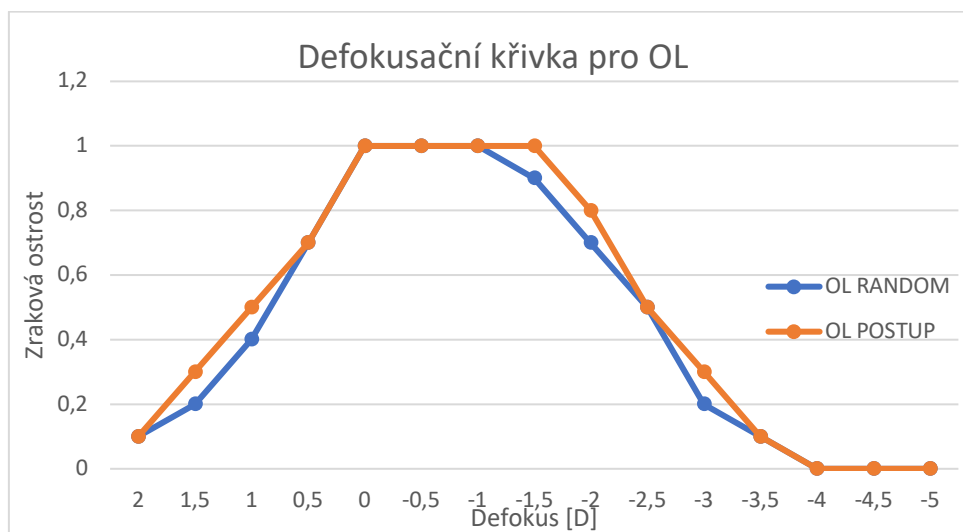


Příloha 36: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 19 - žena, 49 let

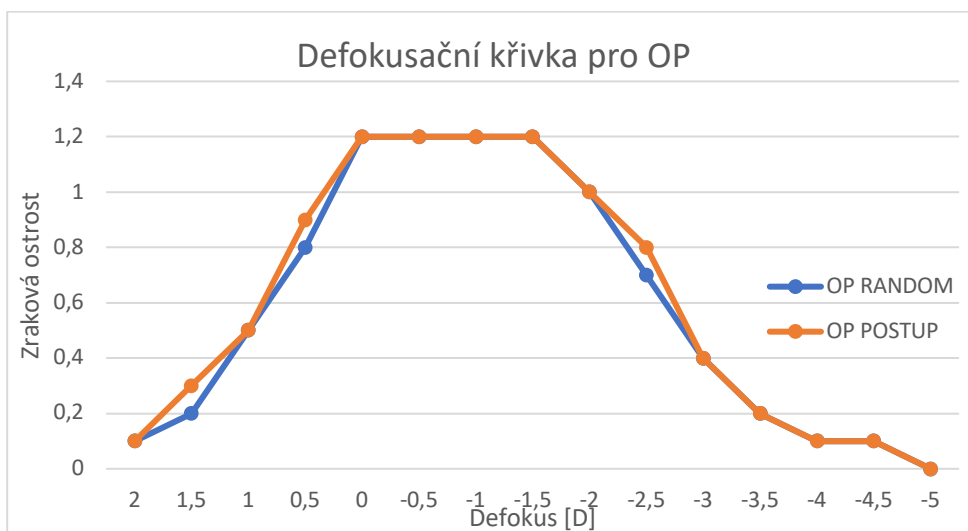


Příloha 37: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

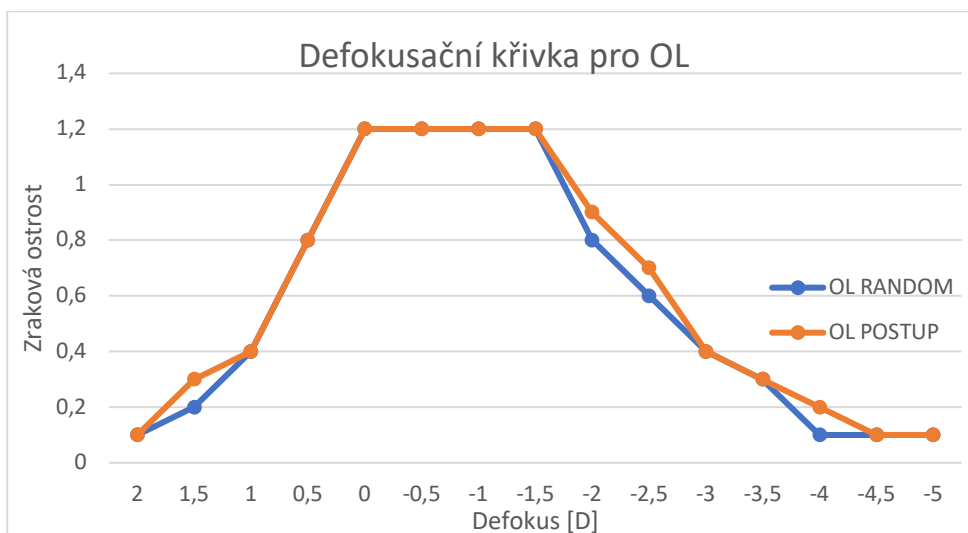


Příloha 38: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 20 - muž, 50 let

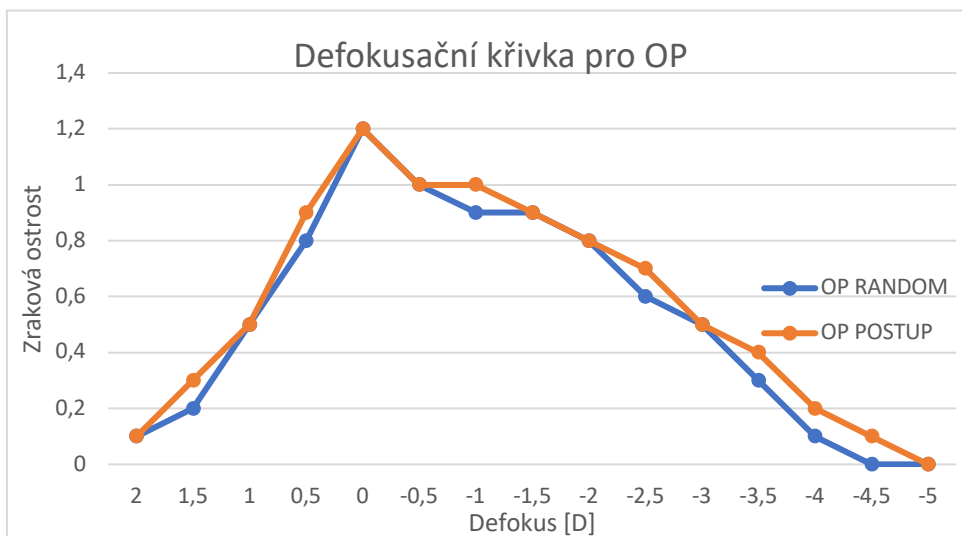


Příloha 39: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

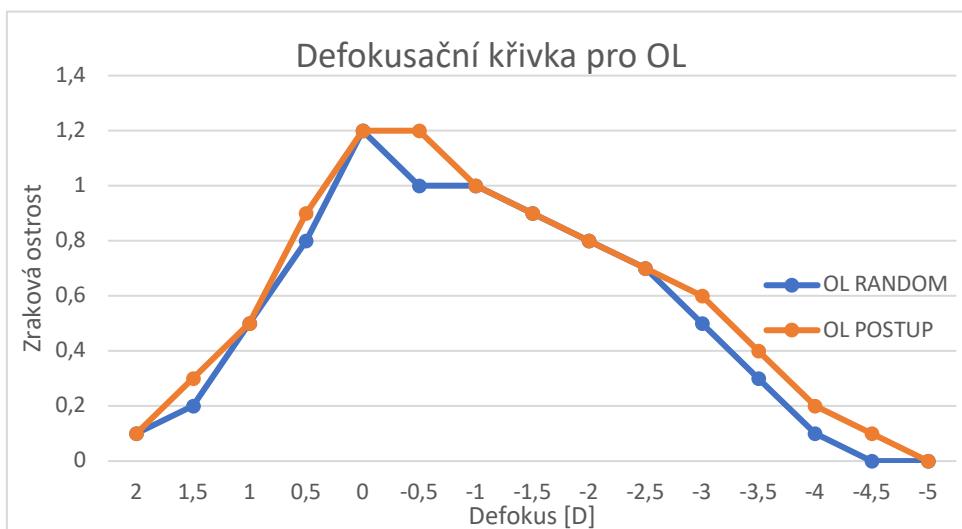


Příloha 40: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 21- muž, 46 let

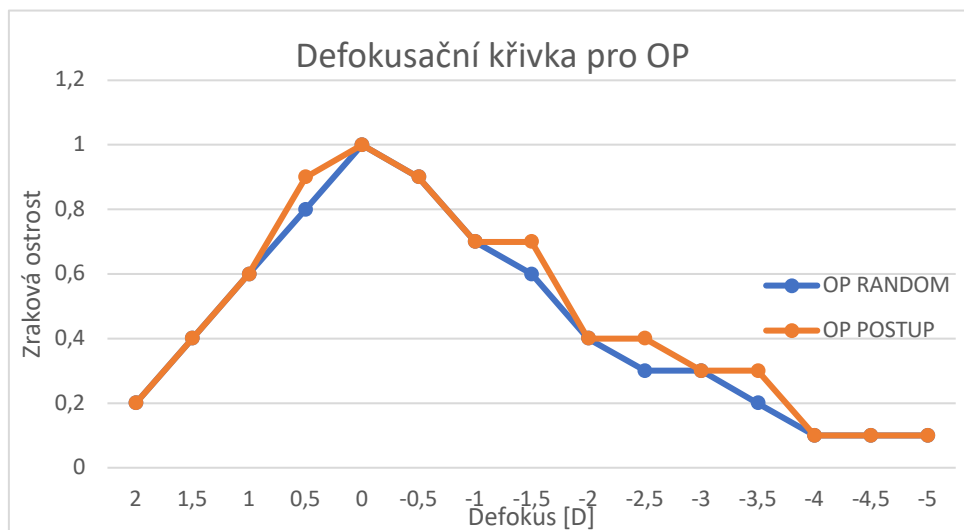


Příloha 41: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

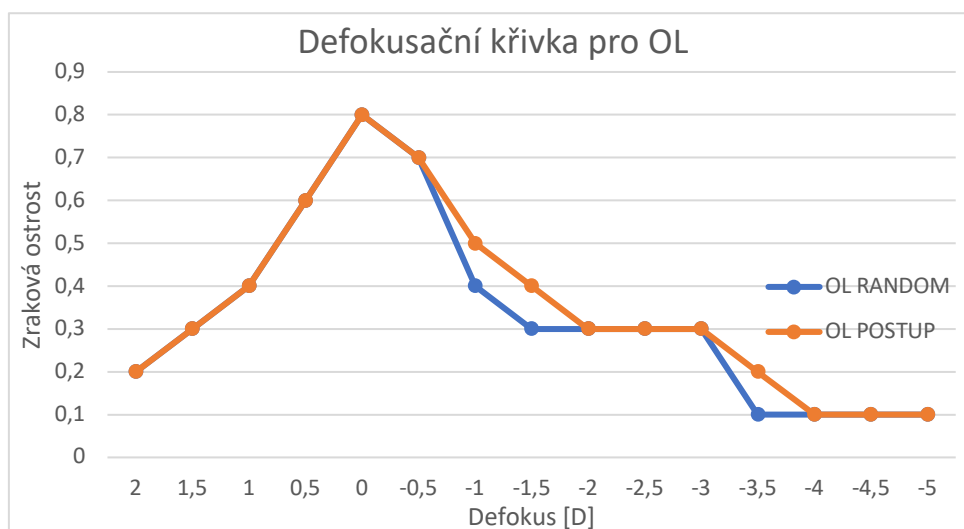


Příloha 42: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 22 - žena, 47 let

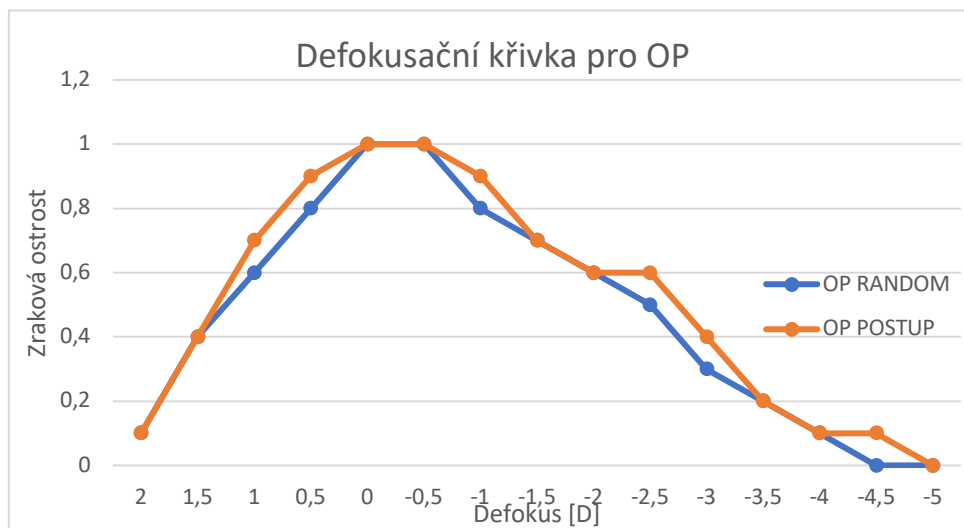


Příloha 43: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

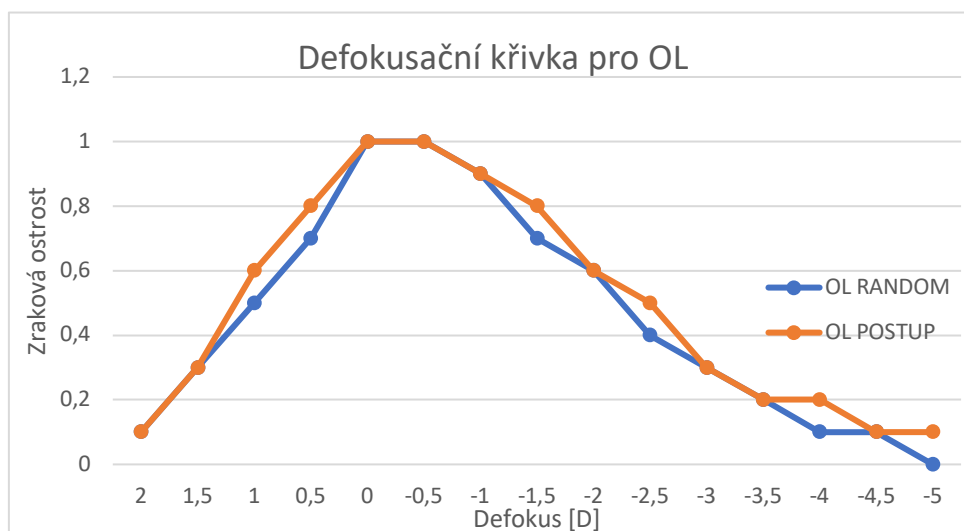


Příloha 44: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 23 - muž, 50 let

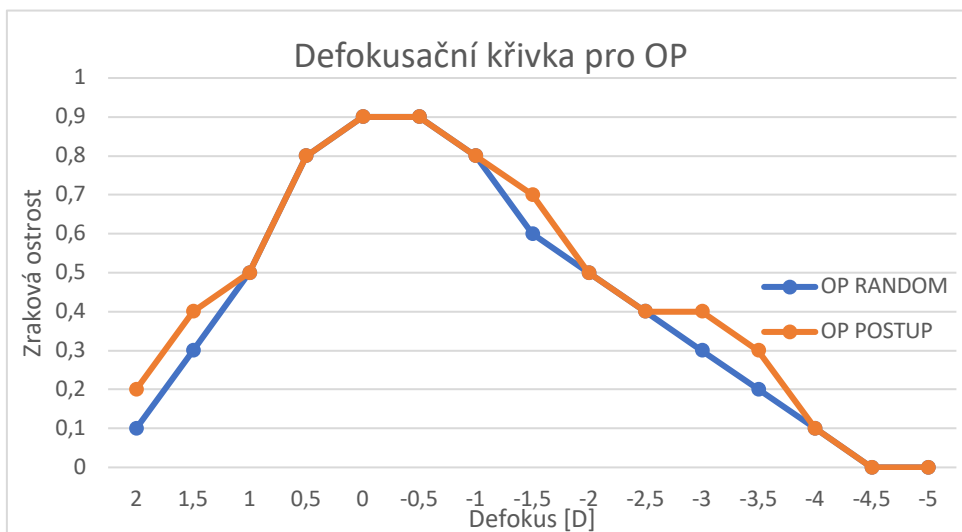


Příloha 45: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

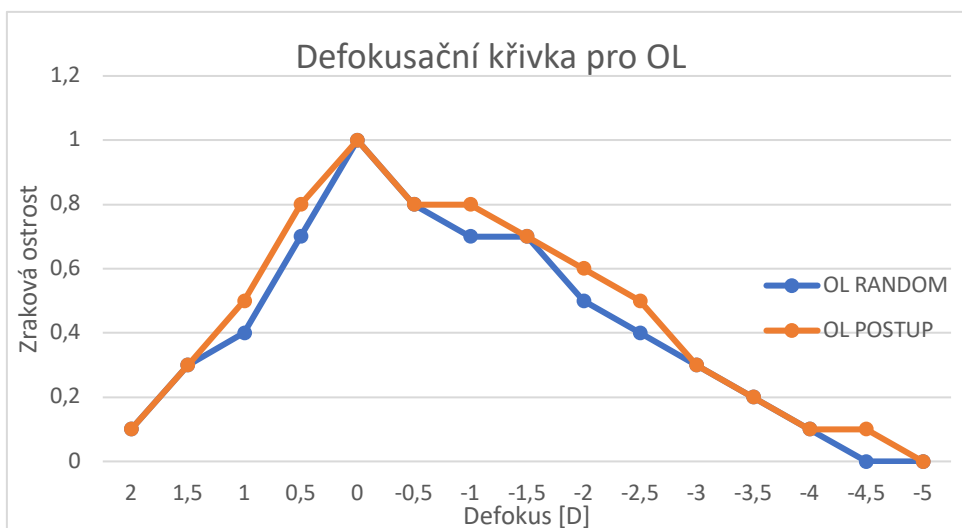


Příloha 46: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 24 - muž, 51 let

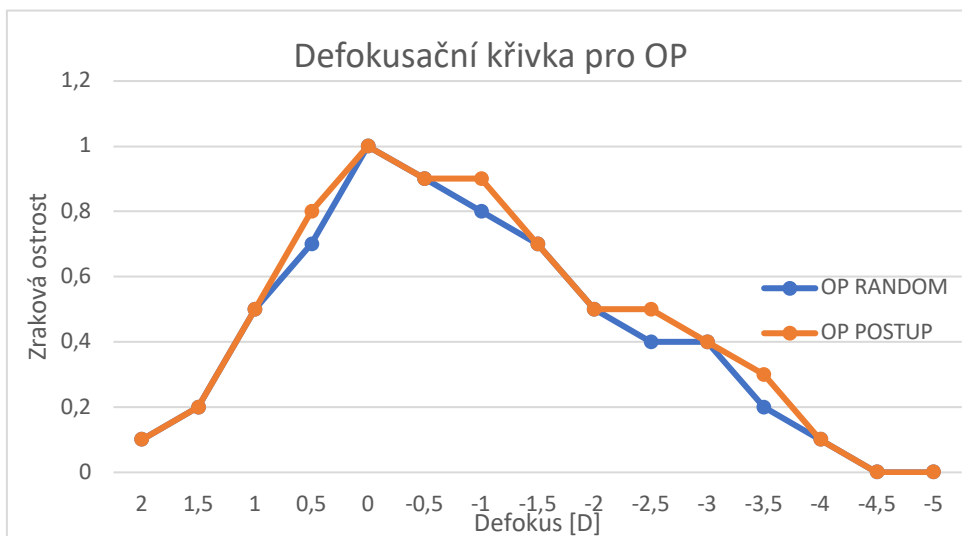


Příloha 47: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

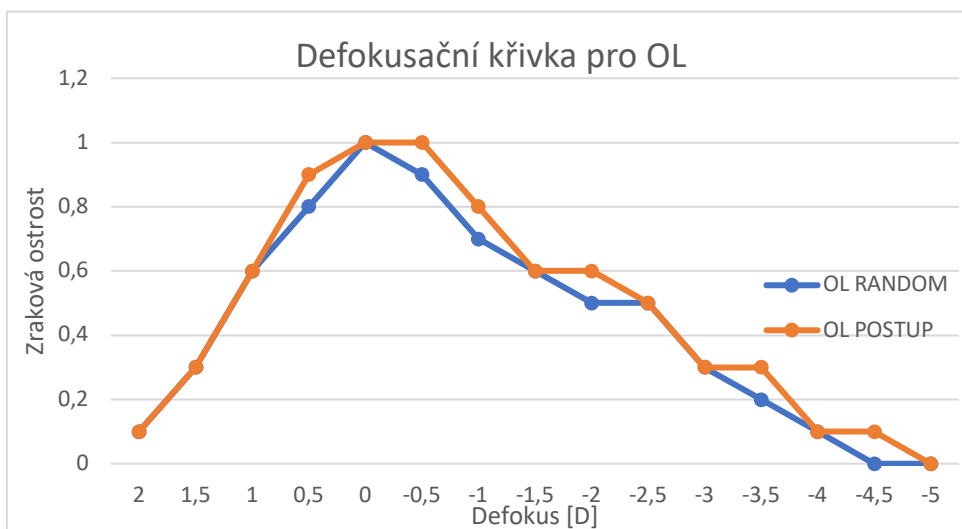


Příloha 48: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 25 - muž, 54 let

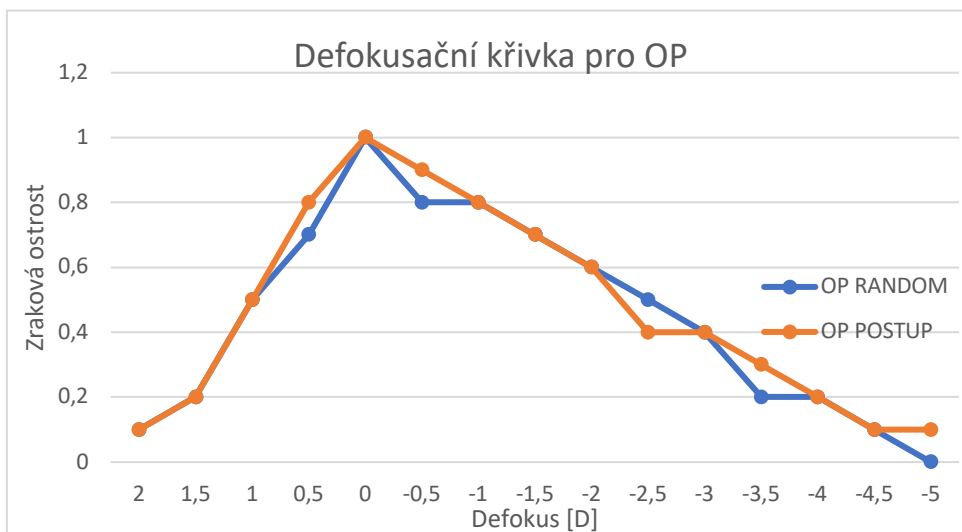


Příloha 49: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

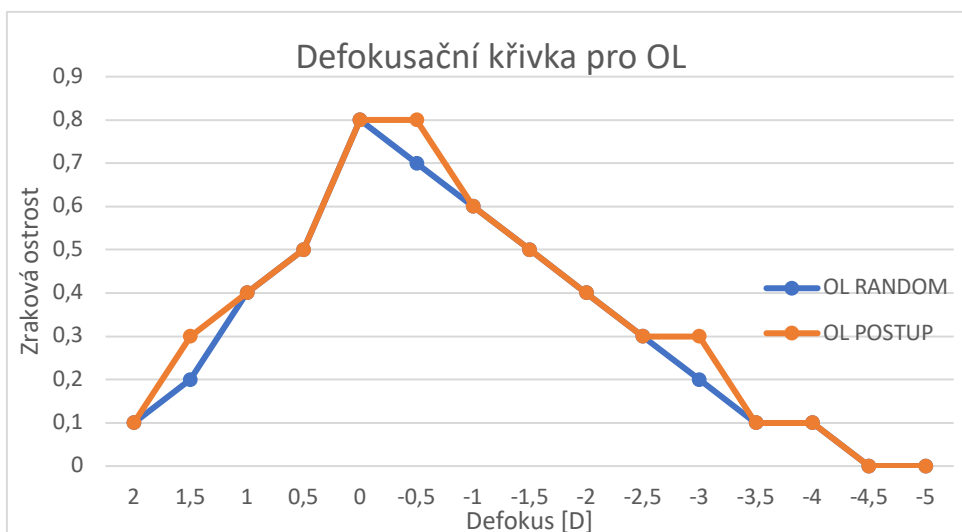


Příloha 50: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 26 - žena, 59 let

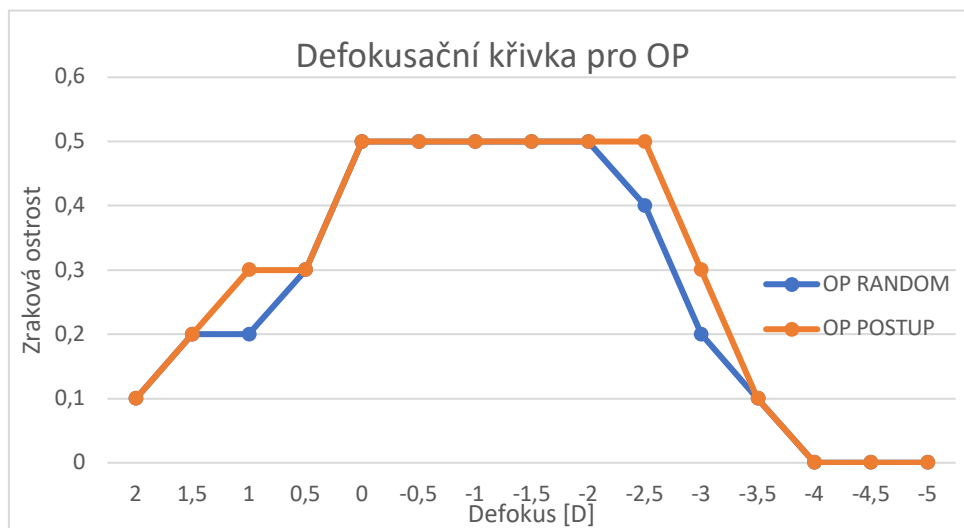


Příloha 51: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

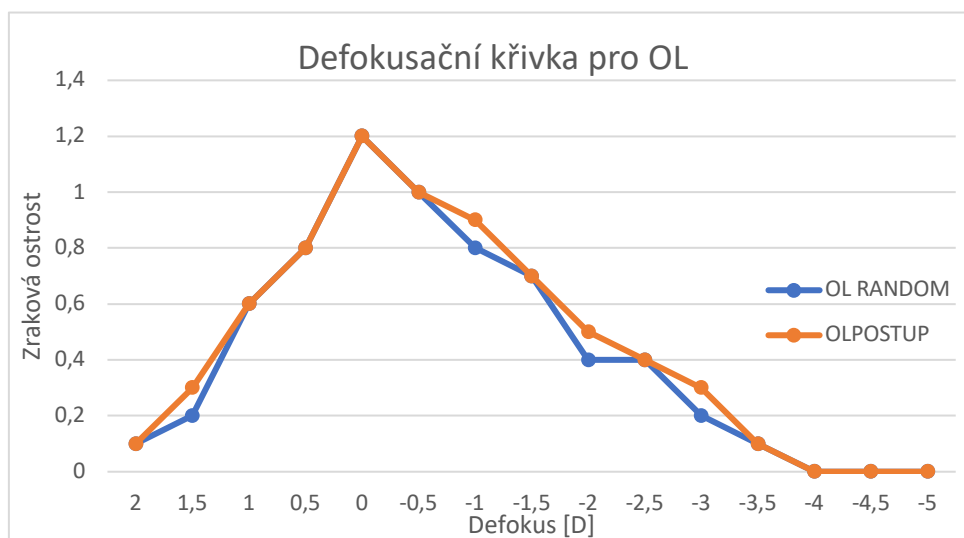


Příloha 52: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 27 - žena, 60 let

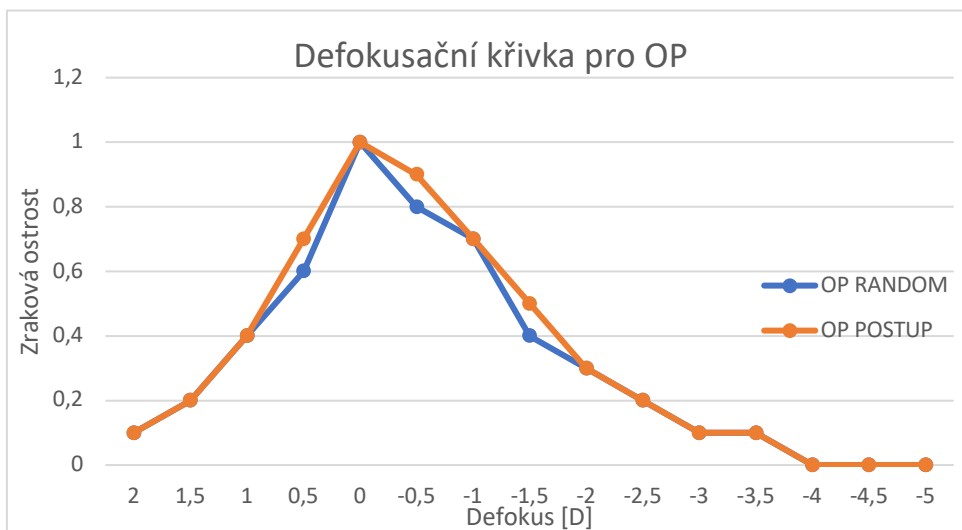


Příloha 53: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

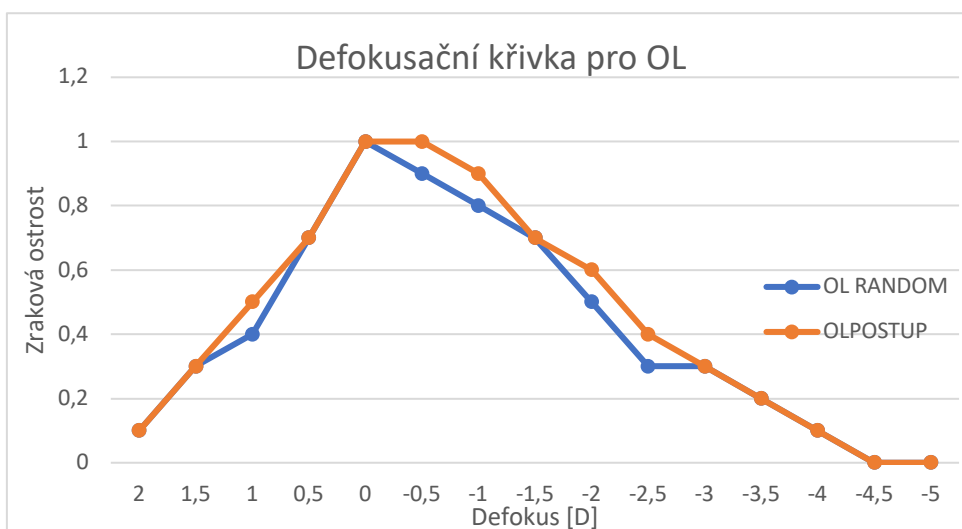


Příloha 54: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 28 - muž, 62 let

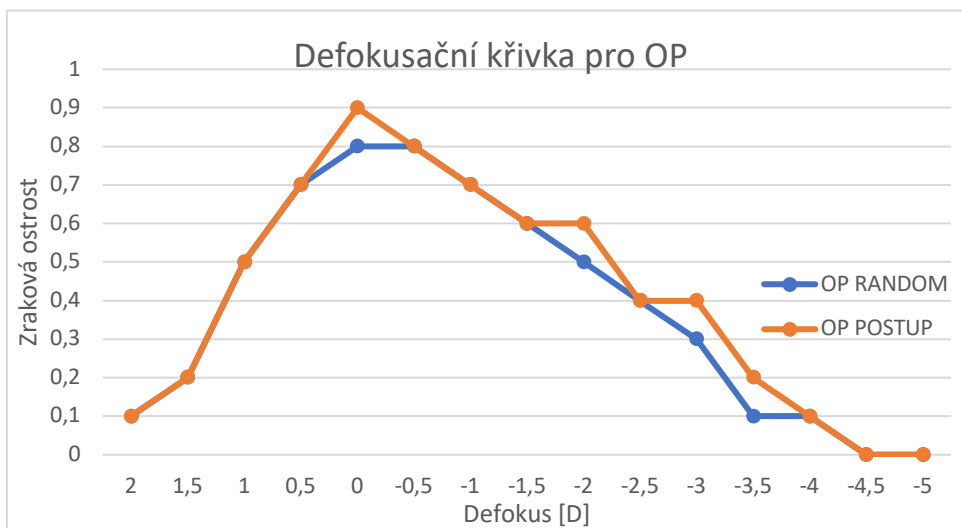


Příloha 55: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

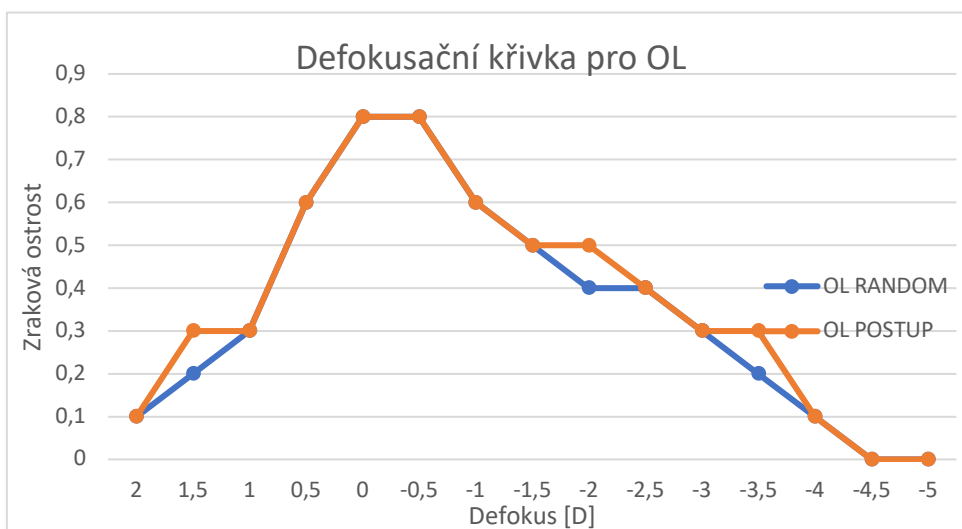


Příloha 56: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 29 - žena, 77 let

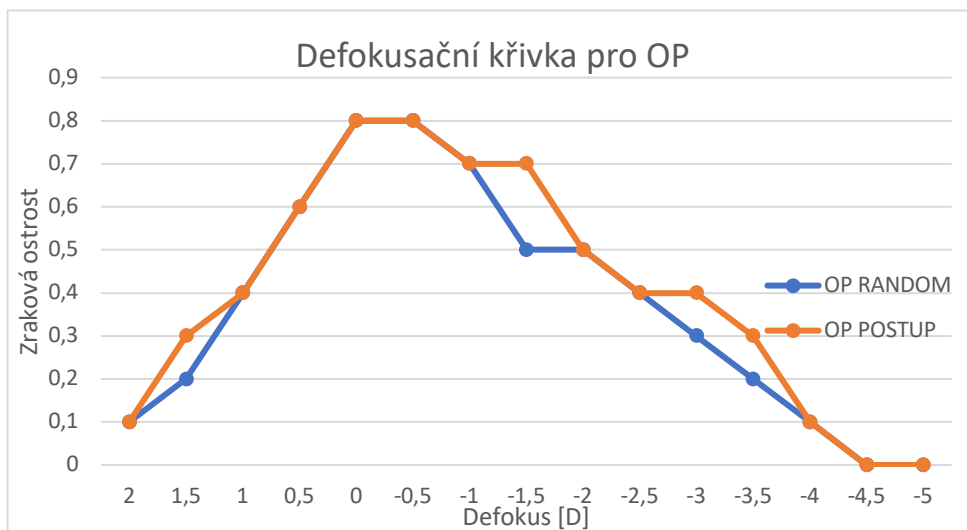


Příloha 57: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

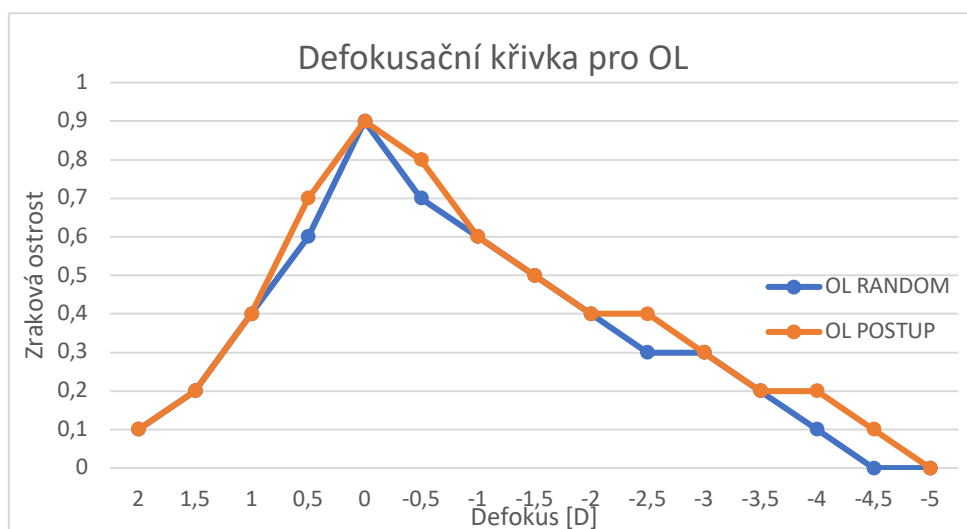


Příloha 58: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)

Proband č. 30 - muž, 78 let



Příloha 59: Defokusační křivky pro pravé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)



Příloha 60: Defokusační křivky pro levé oko za použití metody s postupným defokusem (oranžová křivka) a metody s randomizovaným defokusem (modrá křivka)