

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

**KRISTÝNA
KLÁPOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Vliv oslnění na vyšetření zrakové ostrosti

Influence of glare on visual acuity testing

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Kristýna Klápová

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Kladno 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Klápová** Jméno: **Kristýna** Osobní číslo: **461575**
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 oslnění na vyšetření zrakové ostrosti

Název bakalářské práce anglicky:

Influence of glare on visual acuity testing

Pokyny pro vypracování:

Hlavní náplní bakalářské práce je problematika oslnění zrakového systému, jeho klasifikace, ovlivňujících faktorů a plynoucích důsledků na zrakové funkce. Student provede podrobnou literární rešerši. Na jejím základě shrne poznatky z již provedených výzkumných studií a zaměří se zejména na testy pro vyšetření zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti při oslnění a bez oslnění a jejich souvislosti s různými faktory a důležitými aspekty takového testování pro optometrickou a oftalmologickou praxi. V experimentální části práce provede analýzu a srovnání vyšetření zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění.

Seznam doporučené literatury:

- [1] NADLER, M. P., MILLER, D., NADLER, D.J., Glare and Contrast Sensitivity for Clinicians, ed. 1 st, Springer-Verlag, New York, 1990, ISBN 978-1-4612-3242-1
- [2] BENJAMIN, W. J., BORISH, I. M., Borish's Clinical Refraction, ed. 2, Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2006, 1255 s., ISBN 978-0-7506-7524-6
- [3] ASLAM, T.M., HAIDER, D., MURRAY, I.J., Principles of disability glare measurement: An ophthalmological perspective, Acta Ophthalmologica Scandinavica, ročník 85, číslo 4, 2007, 354-360 s., DOI: 10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

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: Vliv oslnění na vyšetření zrakové ostrosti

Abstrakt:

Hlavním cílem bakalářské práce je rozebrat problematiku oslnění zrakového systému s důrazem na jeho klasifikaci, ovlivňující faktory a důsledky na zrakové funkce. V práci je stručně popsána problematika fotometrických veličin souvisejících se zrakovým vjemem, základy zrakového vnímání a adaptace zrakového systému. Rozebrány jsou faktory ovlivňující oslnění, zejména věk, onemocnění oka a intraokulární rozptyl. Vlivem oslnění dochází v jednotlivých tkáních lidského oka k různé míře intraokulárního rozptylu, na základě čehož byly vyvinuty subjektivní a objektivní metody jeho měření. Motivací pro zpracování práce je častokrát podceňované testování zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti s oslněním, přičemž jsou i popsány testy a metody využívající oslnění při vyšetření zraku. Vyšetření zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti s oslněním není součástí každodenní praxe, přičemž by mohlo odhalit nastávající změny zrakového systému. Testování citlivosti na oslnění může být užitečné při vývoji implantace intraokulárních čoček nebo při rozvoji metod v refrakční chirurgii. Experimentální část se zabývá vlivem oslnění na vyšetření zrakové ostrosti a na rozpoznávání znaků při sníženém kontrastu. K zjištění vlivu oslnění na zrakový systém jsou zpracována a porovnána naměřená data s oslněním a bez oslnění.

Klíčová slova:

Oslnění, citlivost na oslnění, intraokulární rozptyl

Bachelor's Thesis title: Influence of glare on visual acuity testing

Abstract:

The main aim of the bachelor thesis is to analyze the glare issue of visual system with an emphasis on its classification, influencing factors, and consequences on visual functions. This work describes photometric quantities related with visual perception, the principles of visual perception, and the adaptation of visual system. The factors affecting glare, as age, eye diseases and intraocular scatter, are analyzed. Thanks to the influence of glare there is a different extent of intraocular scatter in the individual human eye textures. On the basis of this, subjective and objective methods of its measuring were developed. The motivation for the elaboration of the bachelor thesis is often unprized testing of visual acuity and contrast sensitivity with glare, whereby there exist also tests and methods described which utilize glare for the eye examination. The examination of visual acuity and contrast sensitivity with glare is not a part of everyday practice; however it could discover coming changes in the human visual system. The examination of sensitivity to glare could be used within developing implantation of intraocular lenses or enhancing new methods in refraction surgery. The impact of glare on testing the visual acuity and recognizing signs during lowered contrast are discussed in the experimental part. There would be elaborated and compared measured data, with glare and without glare, for detection of the glare influence.

Key words:

Glare, sensitivity to glare, intraocular light scatter

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu této práce prof. Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za cenné rady a odborné připomínky a také za čas, který mi věnoval. Dále bych ráda poděkovala za podporu, které se mně dostávalo od celé rodiny, zejména děkuji mamince a partnerovi.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Vliv oslnění na vyšetření zrakové ostrosti“ 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

1	Úvod	10
2	Popis světelných podmínek pro zrakový vjem	11
2.1	Fotometrické veličiny	11
2.1.1	Světelný tok	12
2.1.2	Svítivost	13
2.1.3	Jas	13
2.1.4	Osvětlení	14
2.1.5	Měření vybraných fotometrických veličin	14
3	Základy zrakového vnímání	16
3.1	Průchod světla okem	16
3.2	Spektrální propustnost tkání oka	16
3.3	Zraková odezva fotoreceptorů	17
3.4	Spektrální citlivost	20
4	Adaptace zrakového systému	22
4.1	Adaptace na světlo	22
4.2	Adaptace na tmou	22
4.3	Přechod mezi fotopickým a skotopickým viděním	23
5	Oslnění	24
5.1	Druhy oslnění	24
5.2	Faktory ovlivňující oslnění zrakového systému	25
5.3	Testování citlivosti k oslnění	28
5.3.1	Vyšetření citlivosti k oslnění na základě zrakové ostrosti nebo citlivosti na kontrast	28
5.3.2	Vyšetření citlivosti k oslnění měření rozptylu světla	32
5.4	Vliv oslnění na zrakový vjem	33
5.4.1	Vliv oslnění na zrakovou ostrost	33
5.4.2	Vliv oslnění na kontrastní citlivost	35
5.4.3	Vliv oslnění na binokulární vidění	39
5.4.4	Citlivost na oslnění v zorném poli	40
5.4.5	Spektrální citlivost na oslnění	42

6	Intraokulární rozptyl	44
6.1	Příčiny a důsledky intraokulárního rozptylu	45
6.2	Charakterizace intraokulárního rozptylu	46
6.2.1	Dopředný a zpětný intraokulární rozptyl v oku	46
6.2.2	Kvantifikace míry intraokulárního rozptylu	47
6.3	Vztah intraokulárního rozptylu a oslnění	51
7	Experimentální studie	52
7.1	Metodika výzkumu	52
7.1.1	Průběh vyšetření	53
7.1.2	Statistická analýza	54
7.2	Výsledky	55
7.2.1	Analýza vzorku	55
7.2.2	Porovnání zrakové ostrosti bez a s oslněním	56
7.2.3	Porovnání hodnot kontrastu bez a s oslněním	57
7.2.4	Analýza naměřených dat vzhledem k věku klienta	59
7.2.5	Analýza hypotéz	62
8	Diskuze	63
9	Závěr	64
	Seznam použité literatury	66
	Seznam symbolů a zkratek	66
	Seznam obrázků	76
	Seznam tabulek	77
	Příloha A: Protokol o vyšetření korekce	78
	Příloha B: Naměřená data	79

1 Úvod

Oslnění zrakového systému a s tím související problematika intraokulárního rozptylu je v optometristické i oftalmologické praxi často podceňováno. Za normálních světelných podmínek se nadměrným jasům u oslnění nelze zcela vyhnout. Oslnění lze považovat za negativní faktor působící na zrakový systém, který může narušit naši koncentraci, způsobit únavu zraku a nepohodlí, degradovat pozorované scény, omezit velikosti zorného pole, nebo nás na okamžik zcela „oslepit“.

Někteří jedinci i přesto, že jsou správně vykorigováni, si stěžují na narušení zrakové pohody. Příčinou mohou být nehomogenity v jednotlivých strukturách oka nebo s věkem se projevující patologické změny. Standardní vyšetření zrakové ostrosti bez oslňujícího zdroje nedokáže tyto obtíže odhalit, proto bylo vyvinuto několik speciálních metod pro jejich testování. S rostoucím věkem dochází k zvýšení míry intraokulárního rozptylu, což může vyvolat zamlžené vidění a sníženou schopnost vnímat kontrast a barvy. Intraokulární rozptyl je vnímán s vyšší citlivostí u osob s počínající kataraktou.

Oslnění představuje omezující faktor při mnoha činnostech. Ohroženi jsou například řidiči při řízení automobilových vozidel za šera či v noci, dále piloti letadel, nebo chirurgové na operačních sálech. Oslnění se stává rušivým elementem i při denní práci u počítače v kanceláři a může tak zapříčinit předčasnou únavu zraku, bolest očí a potažmo hlavy, aniž by si člověk uvědomil, že je oslňován.

Jak oslnění ovlivňuje zrakový systém? Jakými metodami lze zjistit a hodnotit citlivost na oslnění? Které faktory ovlivňují citlivost na oslnění? Jaká je souvislost mezi oslněním a intraokulárním rozptylem? Na základě provedených studií a zjištěných poznatků se pokusím na dané otázky odpovědět.

Motivací pro zpracování tématu bylo zjistit vliv oslnění na zrakové funkce a porovnat vyšetření refrakčních vad s oslněním a bez oslnění. Součástí experimentální části je také porovnání naměřené hodnoty minimálního kontrastu pro rozpoznání znaků bez a s oslněním.

2 Popis světelných podmínek pro zrakový vjem

Zrak je lidský smysl, který umožňuje vizuální zpracování informace o okolním prostředí. Zdrojem této informace je světlo. Světlo neboli světelné záření, je viditelné záření, na které reaguje zrakový systém člověka podle jeho citlivosti na světlo o různých vlnových délkách. Světlo slouží jako prostředek pro přenos informací o daném prostředí, ale také ovlivňuje lidský organismus. Člověk je řízen biologickými pochody v těle, které kolísají v cirkadiánním cyklu [1,2].

Cirkadiánní cyklus se vyvinul na základě střídání světla a tmy v závislosti na otáčení Země kolem Slunce. Projevuje se aktivní fází ve dne a klidovou fází v noci. Ve zrakovém orgánu existuje třetí druh fotoreceptoru, takzvaný „C“ fotoreceptor, který je citlivý na střídání světla a tmy. Jedná se o cirkadiánní čidlo, které zajišťuje řízení biologických pochodů. Spektrální citlivost cirkadiánního čidla je maximální pro hodnoty vlnových délek 460 až 465 nm. [1,3]

Fotometrie je obor zabývající se popisem viditelného světla a jeho účinkem na náš zrak. Fotometrie je zaměřená na oblast elektromagnetického (viditelného) záření o vlnových délkách od 380 nm do 760 nm, pro které je lidský zrakový systém schopen detekovat záření a vyvolat příslušný zrakový vjem. Citlivost lidského oka je největší na vlnové délce 555 nm pro fotopické podmínky (denní vidění). [4]

2.1 Fotometrické veličiny

Pro popis fotometrie se používají fyzikální (fotometrické) veličiny, které respektují citlivost lidského oka na elektromagnetické viditelné záření o různých vlnových délkách [5]. Tyto veličiny slouží pro popis vlastností zdrojů světla, přenosu světla volným prostorem a dějů spojených s dopadem světla na objekty. Pro ostatní druhy záření (např. rentgenové, ultrafialové apod.), které nejsme schopni vnímat zrakem, se využívá radiometrických veličin. Radiometrie se zabývá popisem, měřením, vyzařováním a přenosem energie záření všech vlnových délek spektra. Mezi fotometrickými a radiometrickými veličinami existuje vzájemný vztah, který závisí na použitých jednotkách a spektrálním složení záření. Pro jednoduchý přepočítání radiometrických veličin na fotometrické lze použít převodní vztah mezi jednotkami watt a lumen. Pro vlnovou délku 555 nm platí, že $1 \text{ W} = 683 \text{ lm}$ pro denní vidění. Zatímco pro noční vidění při vlnové délce 507 nm platí, že $1 \text{ W} = 1\,700 \text{ lm}$. [4,6]

2.1.1 Světelný tok

Světelný tok je veličina, která odpovídá zářivému toku a vyjadřuje schopnost zářivého toku vyvolat zrakový vjem. Jednotkou je 1 lumen (lm). Světelný tok přenáší určitý zářivý výkon, tj. zářivý tok, zhodnocený zrakovým orgánem normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění. Světelný tok Φ monochromatického záření jediné vlnové délky λ , které přenáší určitý zářivý výkon, tedy zářivý tok Φ_e , je dán vztahem:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda), \quad (1)$$

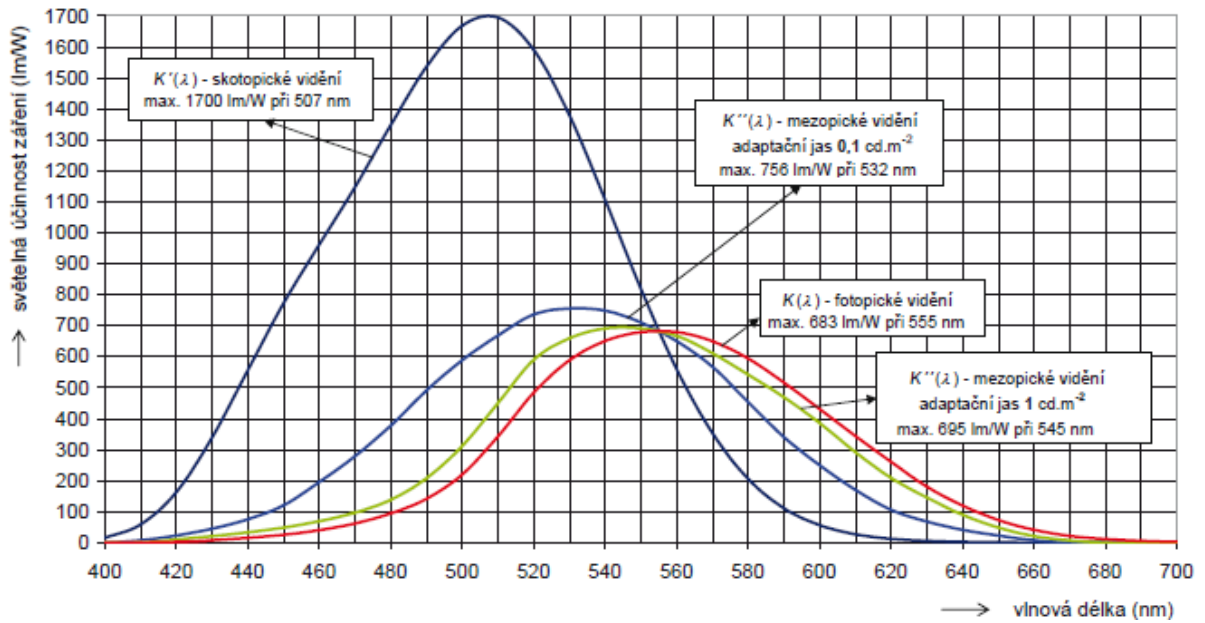
kde $K(\lambda)$ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$) je světelná účinnost monochromatického záření rovná poměru světelného toku Φ a odpovídajícího zářivého toku Φ_e . Tedy světelná účinnost monochromatického záření je dána vztahem:

$$K(\lambda) = \frac{\Phi(\lambda)}{\Phi_e(\lambda)}. \quad (2)$$

Spektrální citlivost vyjadřuje citlivost zraku pozorovatele na světlo o dané vlnové délce. Spektrální citlivost zraku při fotopickém vidění je určena citlivostí čípků, které jsou nejcitlivější na vlnové délce $\lambda = 555$ nm. Při skotopickém vidění se citlivost posouvá ke kratším vlnovým délkám, tj. $\lambda = 507$ nm, při kterých se uplatňují převážně tyčinky. Citlivost se vyjadřuje v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti. Citlivost oka se mění s vlnovou délkou, proto byla stanovena maximální hodnota K_m světelné účinnosti $K(\lambda)$, tj. $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, pro záření o vlnové délce $\lambda = 555$ nm při fotopickém vidění. Poměrná světelná účinnost $V(\lambda)$ je dána vztahem:

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683}. \quad (3)$$

Poměrná světelná účinnost $V(\lambda)$ je totožná s poměrnou spektrální citlivostí zraku pozorovatele při fotopickém vidění. Při výchozí vlnové délce $\lambda = 555$ nm je absolutní hodnota spektrální citlivosti lidského oka shodná a rovná hodnotě $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ pro fotopické vidění. Pro skotopické vidění při vlnové délce 507 nm je maximální hodnota spektrální citlivosti lidského oka $K'_m = 1\,700 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Na obrázku 2.1 jsou znázorněny spektrální závislosti světelné účinnosti záření normálního fotometrického pozorovatele pro fotopické, skotopické a mezopické vidění. [3,4]



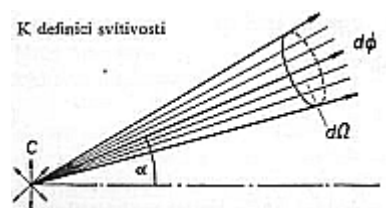
Obrázek 2.1: Průběh absolutních hodnot světelné účinnosti záření normálního fotometrického pozorovatele pro vidění fotopické, mezopické a skotopické [3]

2.1.2 Svítivost

Svítivost je základní fotometrická veličina, která charakterizuje vlastnosti zdroje světla. Její jednotkou je 1 kandela (cd). Svítivost je prostorová hustota světelného toku, která se stanovuje pouze pro bodový zdroj světla. Svítivost (obrázek 2.2) je charakterizována jako podíl části světelného toku $d\Phi$ vyzářeného bodovým zdrojem do malého prostorového úhlu $d\Omega$, tj.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \tag{4}$$

[3,4,6]



Obrázek 2.2: Svítivost bodového zdroje C [7]

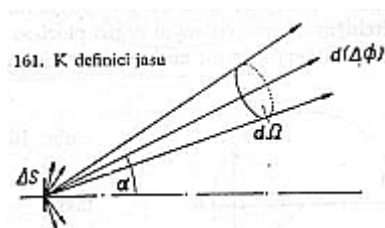
2.1.3 Jas

Jas je vnímán jako subjektivní dojem, který je vyvolán plošným zdrojem záření, který má určitou svítivost. Jas svazku světelných paprsků bezprostředně ovlivňuje vnímání zrakového orgánu. Jas je definován jako podíl svítivosti dI elementární plošky o obsahu dS zdroje ve zvoleném směru α a kolmému průmětu plošky v tomto směru, což je znázorněné

na obrázku. 2.3. Jednotkou jasu je 1 kandela na 1 m² (cd · m⁻²). Jedná se o veličinu, která je určena vztahem

$$L = \frac{dI}{dS \cos \alpha'} \quad (5)$$

kde dI je svítivost elementární plošky o obsahu dS zdroje ve zvoleném směru α a kolmému průmětu plošky v tomto směru. [3,4,8]



Obrázek 2.3: Definice jasu [7]

2.1.4 Osvětlení

Osvětlení neboli intenzita osvětlení, charakterizuje účinek světla při jeho dopadu na povrch tělesa. Její jednotkou je 1 lux (lx). Osvětlení je definováno jako podíl světelného toku $d\Phi$ (lm) a obsahu plochy dS (m²), na kterou světelný tok dopadá, takže platí vztah

$$E = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (6)$$

Pokud je plocha rovnoměrně osvětlena platí, že 1 lx = 1 lm · 1 m⁻². [4,6]

2.1.5 Měření vybraných fotometrických veličin

Hodnotu jasu je možno změřit pomocí luxmetru, který se musí pro toto měření přizpůsobit. Přijímač s korigovaným fotočlánkem se ohraničí černým matným tubusem. Tím se zabrání průniku dalšího osvětlení pro získání přesnějšího výsledku. Tímto způsobem můžeme například zjistit hodnotu jasu obrazovky LCD monitoru. Tubus připevněný na luxmetr se přiloží přímo na obrazovku. Získaná hodnota se následně musí přepočítat, abychom mohli mluvit o hodnotě jasu. Vhodnější a přesnější objektivní přístroj pro měření jasu je jasoměr. Jasoměry pro přesná a provozní měření se podle doporučení Mezinárodní komise pro osvětlování CIE člení do čtyř tříd (L, A, B, C) podle přesnosti. Pro přesná měření je nutné jasoměry pravidelně kalibrovat max. po 2 až 3 letech. Při měření jasu jasoměrem je nutné, aby měřená plocha zahrnovala pouze povrch (oblast), jehož jas se hodnotí.

Pro měření osvětlení (osvětlenosti) se používá objektivní přístroj, který slouží k ověření rozložení hladin osvětlenosti v různých osvětlovacích soustavách. V praxi se k měření osvětlení používá luxmetr. Luxmetr pracuje na principu přímé přeměny energie záření v elektrickou energii, tudíž na principu fotoelektrického jevu. Základem luxmetru je čidlo s polovodičovým fotoelektrickým prvkem, na kterém vzniká elektrické napětí úměrné osvětlení. Přístroj je opatřen měřicím a vyhodnocovacím systémem s digitálním nebo analogovým indikátorem. Luxmetry se také řadí do čtyř tříd (L, A, B, C) podle jejich přesnosti. Pro splnění požadavků určitých norem je zapotřebí kalibrace luxmetru po 2 až 3 letech, pro orientační měření po 5 letech. Při měření je třeba dbát určitých pravidel. Zejména by se mělo zamezit nežádoucímu záření a překročení limitu měřicího přístroje.

Vyrábí se i universální objektivní fotometrické přístroje, které jsou kombinací jasoměru s luxmetrem. [3,6]

3 Základy zrakového vnímání

Oko je považováno za nejdůležitější smyslový orgán, který umožňuje přijímat 80 až 90 % okolních informací zrakem. Zrakový systém zajišťuje příjem, přenos a zpracování informace světelných podnětů v nervové vzruchy, které dále pokračují zrakovým nervem do mozkových center vidění, kde vzniká zrakový vjem. [2] Zrak nám umožňuje schopnost orientace v prostoru. Dále zrakem vnímáme světlo, barvy a tvary. [9]

3.1 Průchod světla okem

Světlo prochází optickými prostředími oka až na sítnici, kde vzniká obraz pozorovaného předmětu, který se dále musí zpracovat.

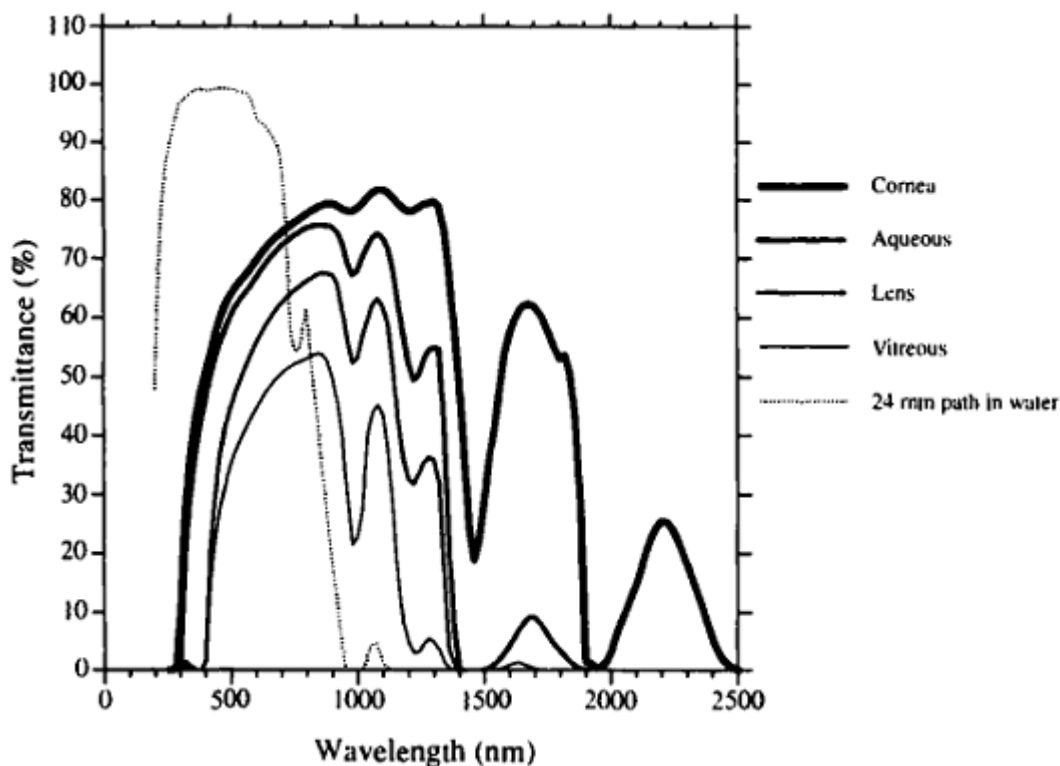
Optická prostředí část paprsků propouští, ale i absorbují, rozptylují a odráží. Při průchodu světla okem dochází k částečné ztrátě světelného toku, která způsobí snížení osvětlení na sítnici. Na čtyřech základních rozhraních (rohovka, oční čočka) je část světelného toku odražena a vytváří se tzv. Purkyněho obraz. Část světla je rozptýlena očními médii vlivem mikronehomogenit indexu lomu v tkáních oka. Jednotlivými tkáněmi je část světla absorbována, přičemž dochází ke zpětnému vyzařování na vyšších vlnových délkách (fluorescence). Tyto jevy způsobují snížení množství světla na sítnici, které tvoří sítnicový obraz, a zvyšují množství parazitního světla. Parazitní světlo snižuje kvalitu vytvořeného obrazu, především kontrast a rozlišení.

Dopadající světlo na rohovku proniká dále komorovou vodou, následně prochází zornicí, kde duhovka řídí světelný tok procházející okem. Dále se světlo dostává na oční čočku a následně se šíří sklivcem na sítnici. Sítnice obsahuje deset vrstev. Důležitou součástí stavby sítnice jsou fotoreceptorové buňky (tyčinky a čípky), při jejichž podráždění začíná proces vidění. Dále je vzniklý obraz (vzruch) veden zrakovým nervem a zrakovou dráhou do zrakového centra mozkové kůry, kde vzniká zrakový vjem. [3,10,11]

3.2 Spektrální propustnost tkání oka

Celkovou spektrální propustnost oka ovlivňuje především oční čočka, která vlivem přibývajících věku snižuje propustnost, zejména na kratších vlnových délkách. K celkové propustnosti přispívá i rohovka, komorová voda a sklivec. Celková propustnost oka je cca 54 %. [12]

Na obrázku 3.1 jsou znázorněny hodnoty vlnových délek (nm) v závislosti na spektrální propustnosti (%) danou tkání. Rohovka absorbuje všechno záření pod 290 nm. Záření o vlnové délce okolo 270 nm je pro rohovku škodlivé. Oční čočka výrazně absorbuje záření o vlnových délkách mezi 300 až 400 nm. Sítnice má největší absorpci okolo 380 nm. [12]



Obrázek 3.1: Kumulativní spektrální propustnost jednotlivých optických vrstev oka

Z obrázku 3.1 vyplývá, že jednotlivé optické části oka nejvíce absorbují záření kratších vlnových délek, tedy záření s kratší vlnovou délkou než 400 nm. [12]

3.3 Zraková odezva fotoreceptorů

Dopadající světlo na sítnici způsobuje podráždění fotocitlivých buněk, tedy tyčinek a čípků.

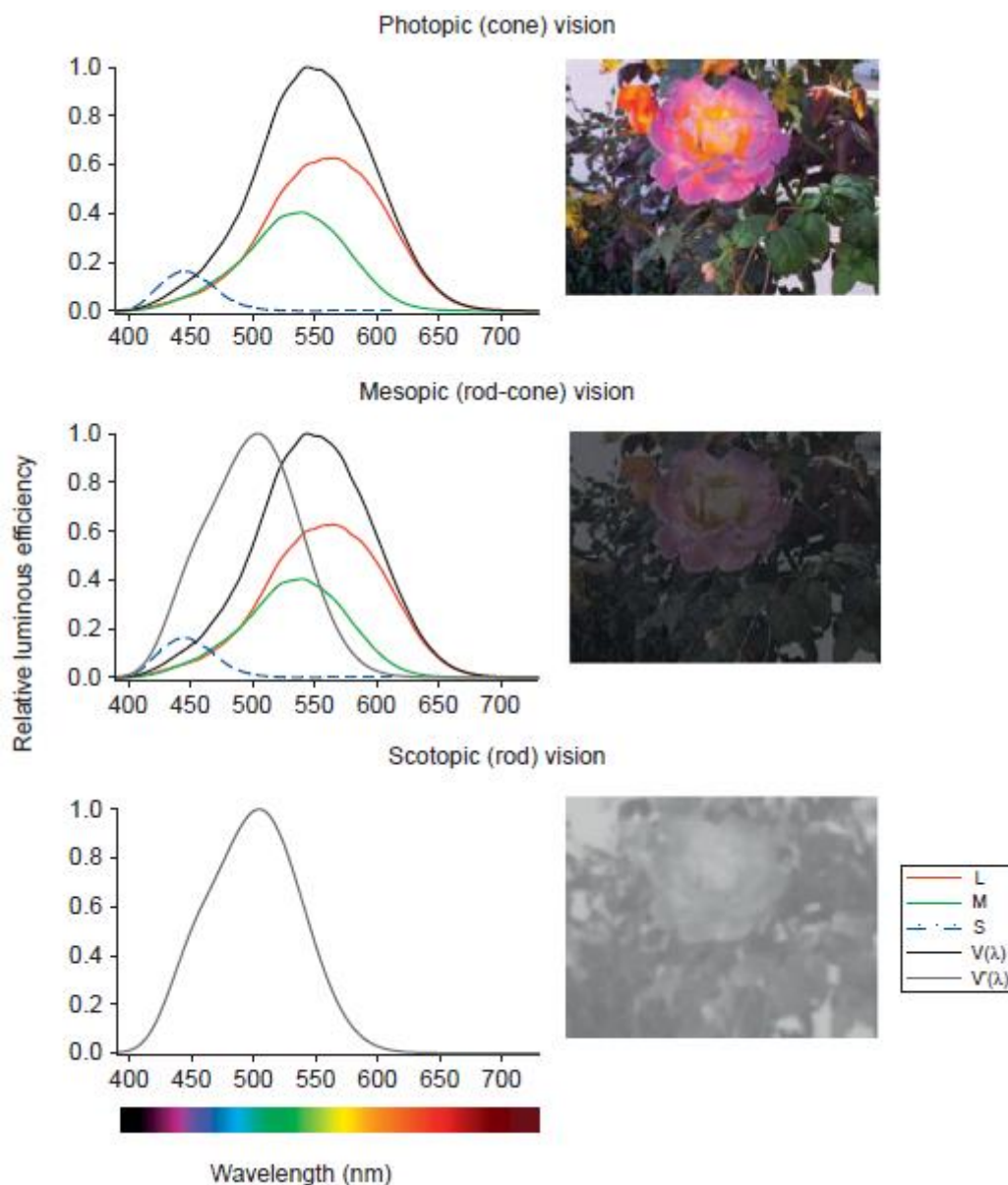
Čípky se uplatňují při denním (fotopickém) vidění. Nachází se převážně v centrální části sítnice ve žluté skvrně a jejich množství je cca 6,5 milionu. Průměr čípků je cca 0,0015 až 0,006 mm. Existují 3 typy čípků (S, M, L) s odlišnou spektrální propustností, z nichž každý obsahuje jiný pigment (chlorolab, erytrolab, cyanolab). Proto jsou citlivé na různé vlnové délky a umožňují barevné vidění. Hodnoty vlnové délky maximální

absorpce pro S čípky (modrá) jsou cca 420 nm, pro M čípky (zelená) jsou cca 534 nm a pro L čípky (červená) jsou cca 564 nm. Jejich citlivost je v rozmezí celého viditelného spektra.

Tyčinky naopak mají význam při nočním (skotopickém) vidění. Na intenzitu dopadajícího světla jsou citlivější tyčinky než čípky. Nachází se převážně v periférii sítnice. Jejich počet je cca 125 milionu a rozměr přibližně 0,002 mm. Obsahují zrakový pigment (rodopsín). Rodopsín je složený z opsínu (bezbarvá bílkovina) a z retinalu (nositel barvy). [2,3]

Následující obrázek. 3.2 vlevo zobrazuje reakci tyčinek a čípků (S, M, L) na různé vlnové délky za podmínek fotopického, mezopického a skotopického vidění. Červená křivka reprezentuje L čípky, zelená M čípky, přerušovaná S čípky, černá fotopické vidění $V(\lambda)$ a šedá skotopické vidění $V'(\lambda)$.

Obrázek 3.2 vpravo znázorňuje, jak se náš zrak mění při adaptaci za různých světelných podmínek. [13]



Obrázek 3.2: Spektrální citlivost fotoreceptorů při fotopickém $V(\lambda)$ a skotopickém vidění $V'(\lambda)$ [13]

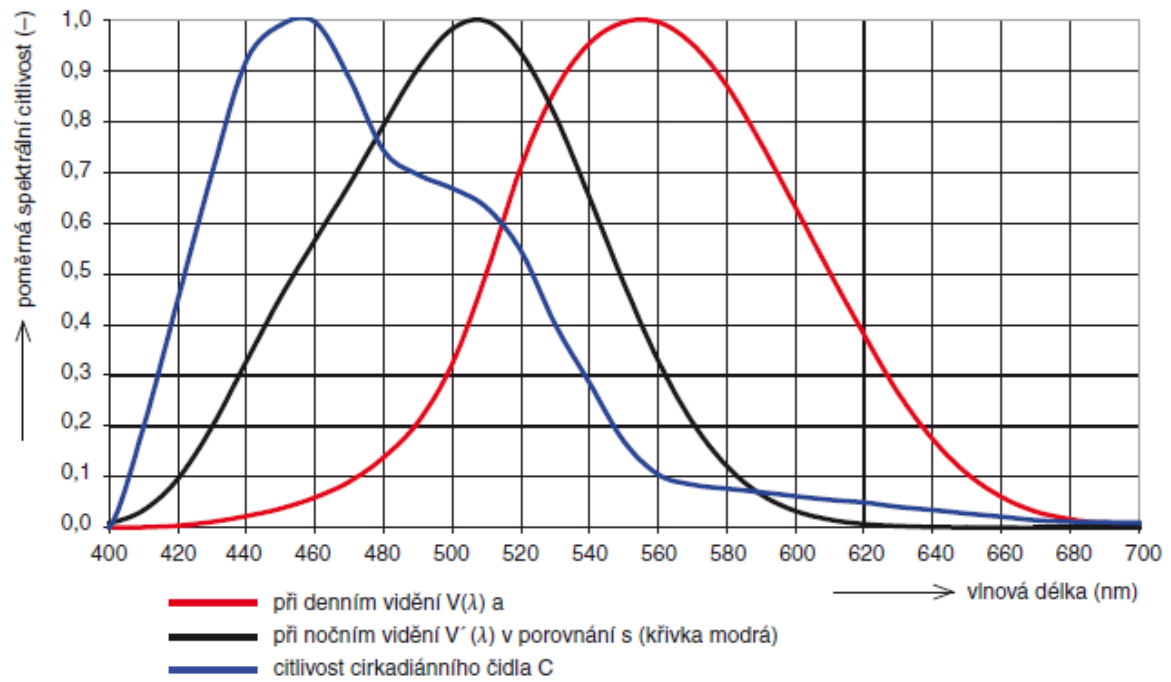
Část záření je absorbována zrakovým pigmentem ve fotoreceptorech. Určitý poměr dopadajícího světla na sítnici je absorbován zrakovým pigmentem, což přispívá ke vzniku zrakového vjemu. Tento poměr se mění se stavem adaptace, polohou dopadajícího světla na sítnici a spektrálním složením světla. Po absorpci světla makulárním pigmentem na membrana limitans interna dosáhne čípků 92 % dopadajícího světla. Z tohoto množství pouze 53 % světla dosáhne vnějšího segmentu čípků. Čípky obsahují zrakový pigment, který dále absorbuje 38 % prošlého světla. Následuje fotochemická reakce, která proběhne v 67 %. Zkombinováním výše uvedených hodnot dostaneme retinální účinnost v podobě 12 %.

Ze světla, které dopadne na rohovku, se dostane dále na sítnici 54 %. Celkově 7 % dopadajícího světla na rohovku je zodpovědné za vyvolání nervové odpovědi na sítnici. [12]

3.4 Spektrální citlivost

Lidský zrak je různě citlivý na záření jednotlivých vlnových délek. Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) stanovila dohodu o hodnotách spektrální citlivosti pro jednotnost světelně technických výpočtů a zavedla termín tzv. *normálního fotometrického pozorovatele*. Spektrální citlivost zraku je udávána v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti. Oko je nejvíce citlivé za fotopických podmínek na vlnové délce 555 nm. Z křivek čar z obrázku 3.3 je zřejmé, že spektrální citlivost zraku je závislá na adaptačním jasu. Adaptační jas pro denní vidění je podle CIE $100 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a pro noční vidění je podle CIE $10^{-5} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximum křivky pro noční vidění je v oblasti vlnový délek 507 nm, pro denní vidění je v oblasti 555 nm. Křivka spektrální citlivosti receptorů „C“ se nachází v oblasti kratších vlnových délek a její maximum je v oblasti vlnových délek 460 až 465 nm. Tyto receptory „C“ neslouží k vidění, ale k řízení biorytmů v těle.

Obrázek 3.3 znázorňuje průběh poměrné spektrální citlivosti zraku normálního fotometrického pozorovatele podle CIE. Červená křivka znázorňuje denní vidění, černá noční vidění a modrá citlivost cirkadiánního čidla (viz kapitola 2). Z průběhu křivek na obrázku 3.3 vyplývá, že spektrální citlivost zraku závisí na adaptačním jasu. [2,3,14]



Obrázek 3.3: Poměrná spektrální citlivost na záření různých vlnových délek pro různé adaptační jasy [3]

4 Adaptace zrakového systému

Adaptace zraku je proces přizpůsobování se různým intenzitám světla (hodnotám jasu). Adaptační mechanismus závisí na změně velikosti šíře zornic, změně velikosti vjemových polí sítnice, a především na změně citlivosti fotoreceptorů sítnice.

Průměrná velikost zornice se pohybuje od 1,8 mm do 7,5 mm v závislosti na hladině osvětlenosti, přičemž se s rostoucím věkem průměrná velikost zornice zmenšuje. Potřebný čas pro změnu šíře zornice je od 360 do 380 ms, pokud dojde k prudkým změnám světelných podmínek, doba se zkracuje až na 100 ms.

Dle výzkumů o zpracování a přenosu zrakové informace není základní funkční jednotkou sítnice jeden fotoreceptor, ale vjemové pole, které se dá považovat za část plochy sítnice, kde dojde k podráždění vlákna zrakového nervu, tj. gangliové buňky sítnice. Vjemové pole závisí na jasu světelného podnětu a na stavu adaptace sítnice, podle čehož se i mění velikost vjemových polí, které se můžou částečně překrývat. Z toho vyplývá, že na sítnici existuje mnoho typů a druhů vjemových polí. Při nízkých hladinách osvětlenosti dochází k zvětšování vjemových polí sítnice a naopak.

Při adaptaci zraku je nejpodstatnější změna citlivosti fotoreceptorů (tyčinek a čípků). Vlivem působení světla dochází k rozkladu zrakových pigmentů ve vnějších segmentech fotoreceptorů, tedy nastává fotochemický děj. [1,2,15,16]

4.1 Adaptace na světlo

Oko se mnohem rychleji adaptuje na světlo než na tmu. Adaptace na světlo je asi 1,5 min, po 10 min je už plně dokončena. Proces denního (fotopického) vidění probíhá při hladinách jasu od 3 cd.m^{-2} , což je spodní hodnota adaptačního jasu, kde funkci přebírají čípky, které umožňují barevné vidění. Čípky jsou umístěny převážně v centrální části sítnice, tj. žluté skvrně. [2,12,15]

4.2 Adaptace na tmu

Při přechodu ze světla do tmy přebírají funkci výrazně citlivější fotoreceptory, tj. tyčinky. Adaptace na tmu trvá okolo 5 min, poté už se příliš nemění, ale může doznívat až jednu hodinu. Tyčinky se uplatňují při nočním (skotopickém) vidění a jsou rozmístěny v periférii žluté skvrny a v dalších krajních oblastech sítnice. Při nočním vidění jsou hodnoty adaptačního jasu velmi nízké, uvádí se hodnota nižší než $0,03 \text{ cd.m}^{-2}$. [2,12,15]

4.3 Přejchod mezi fotopickým a skotopickým viděním

Zrak se také přizpůsobuje hodnotám jasů, které se nacházejí mezi denním a nočním viděním, kde se uplatňují oba typy fotoreceptorů. V menším množství se uplatňují čípky a funkci postupně přebírají tyčinky. V tomto případě mluvíme o mezopickém vidění, které se zaměřuje na oblast jasů v rozmezí od 0,03 až do 3 cd.m⁻². [2,12,15]

5 Oslnění

Jedná se o nepříznivý stav zraku, při kterém se naruší zraková pohoda. Zraková pohoda je pojem, který vystihuje celkově příjemný psychologický stav a zároveň optimální funkci celého zrakového systému. Člověk je spokojen, že dobře vidí v prostředí, které mu je i vzhledově příjemné, díky čemuž se cítí dobře i psychicky.

Oslnění vzniká při příliš velkých rozdílech jasů, kdy dojde k překročení mezí adaptability zraku. Oslnění je zapříčiněné nadměrným jasnem nebo nevhodným rozložením jasů v zorném poli. Dochází k narušení činnosti zrakového systému, čímž se znesnadňuje, až zhoršuje vidění. Oslnění může vzniknout přímo světelným zdrojem nebo i odrazem od povrchů s vysokým koeficientem odrazivosti.

S přibývajícím věkem bývá oslnění mnohem nepříjemnější a může vést až k astenopickým potížím (nauzea, pálení a slzení očí, bolest hlavy). [3,14]

Citlivost na oslnění je možné určit pomocí zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti při vyšetření bez a s oslněním, z rozdílů hodnot bez a při oslnění je dána citlivost. Citlivost lze také zjistit pomocí měření množství rozptýleného světla v oku. [17]

Oslnění může způsobit ztrátu kontrastu jako důsledek intraokulárního rozptylu (viz kapitola 6), což se projeví na kvalitě sítnicového obrazu. Tento faktor může mnohem více narůstat vlivem katarakty a refrakční operace. [18]

V oftalmologické praxi nebývá běžnou součástí vyšetření citlivosti na oslnění nebo vyšetření kontrastní citlivosti. Tato vyšetření by mohla doplnit komplexní informace o celkovém stavu zrakového systému. Testování citlivosti na oslnění a kontrastní citlivosti bývá využíváno k diagnostice očních chorob, screeningu zraku a také k vývoji implantace intraokulárních čoček. Poznatky z těchto měření mohou sloužit také při vývoji v refrakční chirurgii. [19]

5.1 Druhy oslnění

Z hlediska příčiny:

- Oslnění **přímé** vzniká nadměrným jasnem světla v zorném poli nad určitou přijatelnou mez. Oko není schopno se adaptovat.
- Oslnění **odrazem** je způsobené odrazy od lesklých ploch nebo jiných povrchů v zorném poli. Často může být více unavující než přímé oslnění.
- Oslnění **přechodové** vzniká při náhlé změně při přechodu z tmavšího do světlejšího prostředí. Zrakový systém se nestačí tak rychle adaptovat.

- Oslnění **závoje** je zvláštním případem. Vznikne tehdy, je-li mezi okem a pozorovaným předmětem prostředí s vyšším jasem nebo jemnou strukturou. Může se jednat o zrcadlení ve skle nebo se projeví při pozorování předmětu přes osvětlenou záclonu. Nebezpečným se stává při jízdě v autě při pohledu do mlhy před světlomety.

Z hlediska světelné techniky:

- Oslnění **kontrastem** je způsobené velmi vysokým jasem v porovnání s jasem, na který je zrak přizpůsoben. Oslnění kontrastem můžeme dále rozdělit dle psychofyzilogického stupně. Rozlišujeme oslnění psychologické (angl. discomfort glare) a fyziologické (angl. disability glare). Psychologické oslnění způsobuje nepříjemný pocit, zatímco fyziologické oslnění snižuje měřitelně kvalitu vidění kvůli intraokulárnímu rozptylu na sítnici vzniklému od zdroje záření. [20]

1. Oslnění psychologické:

Psychologické oslnění nezpůsobí měřitelné změny zrakových funkcí.

- Pozorovatelné oslnění způsobí subjektivní pocit zrakové nepohody.
- Rušivé oslnění naruší zrakovou pohodu, přičemž si člověk mnohdy ani neuvědomí, že se jedná o oslnění. Vlivem rušivého oslnění může nadměrně vzrůstat únava zraku pozorovatele. Důsledkem je narušení pozornosti.

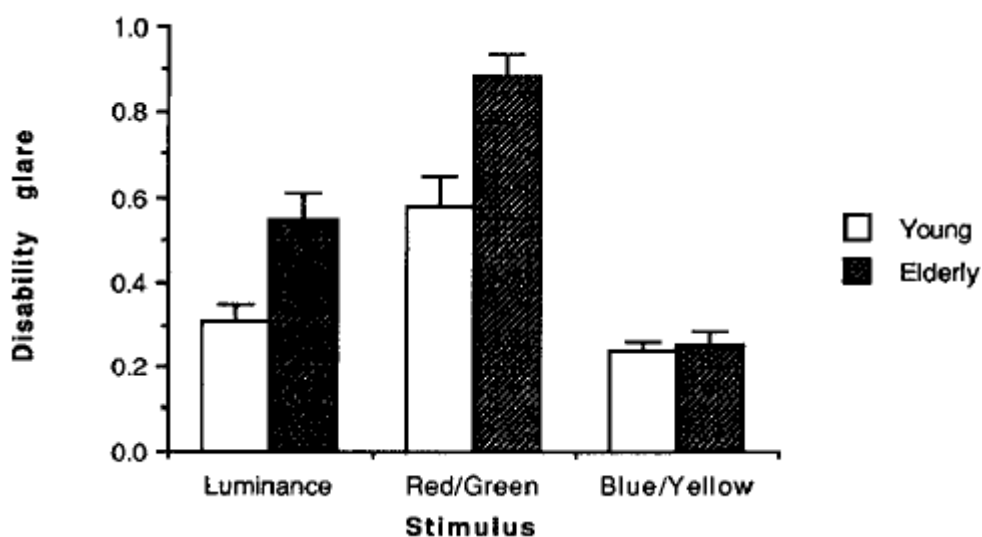
2. Oslnění fyziologické:

- Omezující oslnění může vést ke ztrátě zrakové pohody. Při tomto oslnění se snižuje pracovní výkon, snižuje se vnímání detailů a nastupuje únava zraku. Omezující oslnění je objektivně měřitelné, neboť se snižuje zraková ostrost a kontrastní citlivost.
- Oslepující oslnění (někdy označované jako absolutní) může zcela znemožnit vidění, do slova pozorovatele až „oslepi“. Jas způsobující oslepující oslnění je nazýván jako jas kritický. Zrak se tomuto jasu není schopen přizpůsobit adaptací. [3,14]

5.2 Faktory ovlivňující oslnění zrakového systému

Jeden z faktorů, který ovlivňuje oslnění zraku je věk. S přibývajícím věkem oslnění způsobuje více obtíží. Výzkum [21], zabývající se vlivem oslnění v závislosti na věku, zkoumal změny kontrastní citlivosti s oslněním a bez oslnění. Experiment se prováděl na 20 probandech, kteří se rozdělili na dvě skupiny. Mladší skupina obsahovala jedince v průměrném věku 25,4 let, starší skupina jedince v průměrném věku 73,8 let. Z výsledků je patrný věkový rozdíl v závislosti na kontrastní citlivosti. Jako externí zdroj oslnění byl použit přístroj BAT

(Brightness Acuity Tester). Fyziologické oslnění (angl. disability glare) bylo definováno jako rozdíl v kontrastní citlivosti měřené s oslněním a bez oslnění. Na obrázku 5.1 jsou v bílém sloupci zaznamenané hodnoty mladší skupiny (10 probandů) a v černém starší skupiny (10 probandů). Oslnění bylo nejvýraznější pro červenou – zelený stimul. Výsledky jsou vyneseny na následujícím obrázku 5.1. [21]



Obrázek 5.1: Závislost sledovaných parametrů na oslnění u vybraného vzorku lidí [21]

Na oslnění zraku má podíl míra vzniklého intraokulárního rozptylu. U každého jedince dochází k jiné míře intraokulárního rozptylu. Tato skutečnost je velmi individuálním faktorem (viz kapitola 6). S tímto faktorem mohou být spojené i pooperační komplikace u refrakčních chirurgických zákroků. Metoda PRK (fotorefrakční keratektomie) může souviset s potížemi při oslnění, vytvářet haló efekt nebo dvojité vidění, signifikantní problémy s oslněním může způsobovat LASIK (laser in situ keratimileusis). PRK signifikantně způsobuje pokles kontrastní citlivost za mezopických podmínek, za fotopických je v normálu [22]. Proto je vhodné u refrakčních operací mimo standardní vyšetření provést i testování na oslnění. Po refrakční operaci očekáváme zlepšení zrakové ostrosti, ale možné vzniklé potíže s oslněním mohou vytvářet stejně nekvalitní vidění nebo i subjektivně horší než před refrakční operací. [18]

Jedinci s očním onemocněním nebo s přítomností patologických změn oka vnímají oslnění silněji. Oční onemocnění jako je katarakta, glaukom, makulární degenerace, rohovková onemocnění, a další můžeme považovat za další faktory ovlivňující oslnění zraku. [23]

Dalším faktorem ovlivňující oslnění zrakového systému je věk. Zkalení očních médií je prokazatelnou příčinou intraokulárního rozptylu. Stářím se zužuje šíře zornic, což vede k omezení průchodu paprsků dopadajících na sítnici. Pokles dopadajících paprsků na sítnici je také způsoben zvýšenou absorpcí oční čočky v oblasti viditelného a UV záření. Propustnost oční čočky se mění s přibývajícím věkem, což souvisí se špatnou propustností pro kratší vlnové délky a zvýšeným intraokulárním rozptylem. Tyto změny mohou způsobit signifikantní ztrátu kontrastní citlivosti a větší citlivost na oslnění. [24]

Přímé nebo nepřímé oslnění přispívá ke stresu, který ovlivňuje zrakový systém. Tento faktor může mít celkově vliv na naše chování. [25]

Doba adaptace (kontrastní citlivosti) po intenzivním oslnění je signifikantně zpožděná po požití alkoholu, marihuany anebo jejich kombinací. [26] Výsledky výzkumu [27] ukazují, že stačí relativně malá dávka alkoholu k signifikantnímu navýšení doby návratu kontrastní citlivosti po oslnění. [27]

Oko výrazně vnímá oslnění ve směru osy pohledu a jejím okolí do úhlu cca 14°. Pokud se nachází zdroj oslnění ve větších úhlech od pohledové osy, tak vliv fyziologického oslnění je zanedbatelný.

Mezinárodní komise pro osvětlování zavedla tzv. Jednotný systém pro hodnocení oslnění, který definuje hodnotu indexu oslnění UGR. Index oslnění UGR se počítá pomocí Sørensenova vzorce, který pro n oslňujících zdrojů je ve tvaru [3]

$$UGR = 8 \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right|, \quad (7)$$

kde L_{zi} je jas i -tého oslňujícího zdroje ve směru k pozorovateli, Ω_i prostorový úhel, pod kterým pozorovatel vidí i -tý oslňující zdroj, P je činitel charakterizující vliv polohy oslňujícího zdroje a L_p jas pozadí, který se vypočítá z hladiny nepřímé osvětlenosti E_n v rovině oka pozorovatele ze vztahu

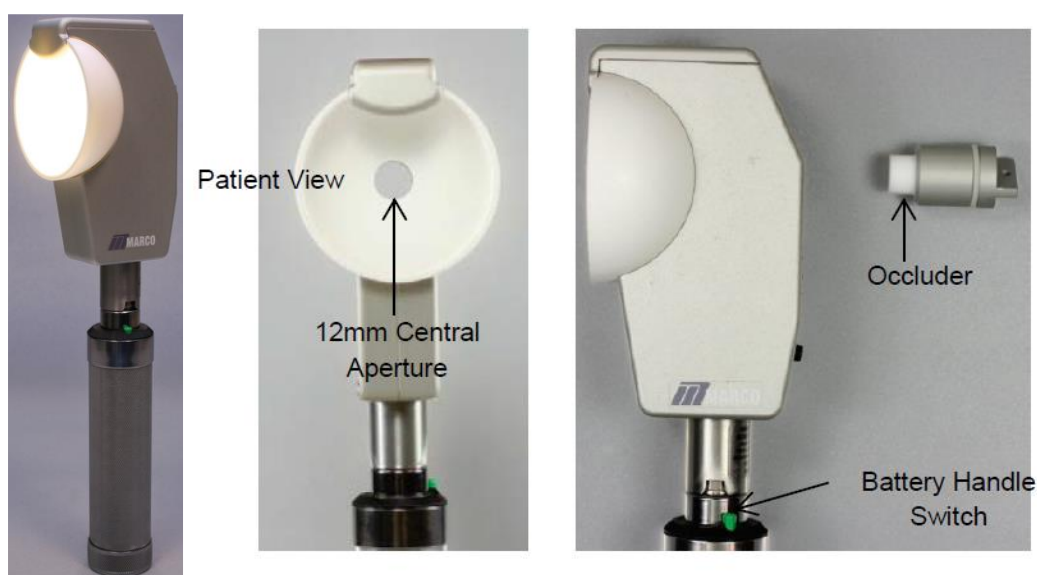
$$L_p = \frac{1}{\pi} E_n. \quad (8)$$

[3,14]

5.3 Testování citlivosti k oslnění

K vyšetření citlivosti na oslnění lze použít dva principy testování. První testování je založené na vyšetření zrakové ostrosti a citlivosti na kontrast v podmínkách s oslněním a bez oslnění. Na základě vyšetření se dále vyvozuje citlivost na oslnění. V druhém principu se měří množství intraokulárního rozptylu. Existují testy, jejichž součástí není zdroj oslnění. Proto jako externí, velkoplošný zdroj oslnění se používá ruční přístroj BAT (Brightness Acuity Tester), který je konstruován na základě vysoké odrazivosti s centrálním otvorem pro oko. [17,18] Vyšetřovaný pacient se dívá skrz centrální otvor, který je umístěn 12 mm před jeho okem. [28] Zdroj oslnění obsahuje nastavitelné intenzity oslnění ($41,4 \text{ cd.m}^{-2}$; 342 cd.m^{-2} ; $1360,4 \text{ cd.m}^{-2}$). [17] Nízká intenzita oslnění se nedoporučuje, protože vyvolává malý účinek. Střední intenzita oslnění je využívána k vyšetření pacientů s kataraktou. Vysoká intenzita oslnění může mít význam u pacientů s nasazenou kontaktní čočkou nebo po refrakčním chirurgickém zákroku. [28]

Na obrázku 5.2 je znázorněn přístroj BAT od firmy Marco. [29]



Obrázek 5.2: Přístroj BAT od firmy Marco [29]

5.3.1 Vyšetření citlivosti k oslnění na základě zrakové ostrosti nebo citlivosti na kontrast

Pro měření zrakové ostrosti s oslněním se využívá Berkleyho test oslnění a Reganova tabule s BAT. Berkleyho test se skládá z Baileyho-Lovieho nízkokontrastní tabule, která má 18 % Weberova kontrastu a velkoplošného zdroje oslnění. Velkoplošný zdroj oslnění poskytuje tři úrovně intenzity oslnění (300 , 800 a 3000 cd.m^{-2}). Reganova tabule s BAT obsahuje písmenové tabule, které jsou dostupné v několika kontrastních provedeních. Písmena

vyšetřovacích tabulí využívají hodnoty 96 %, 50 %, 25 %, 11 % a 4 % Weberova kontrastu. Každá tabule obsahuje písmena o konstantní hodnotě kontrastu. Reganovy tabule jsou vhodné pro detekci a prevenci ztráty vidění u pacientů s diabetes mellitus a s glaukomem. [17,18,28,30]

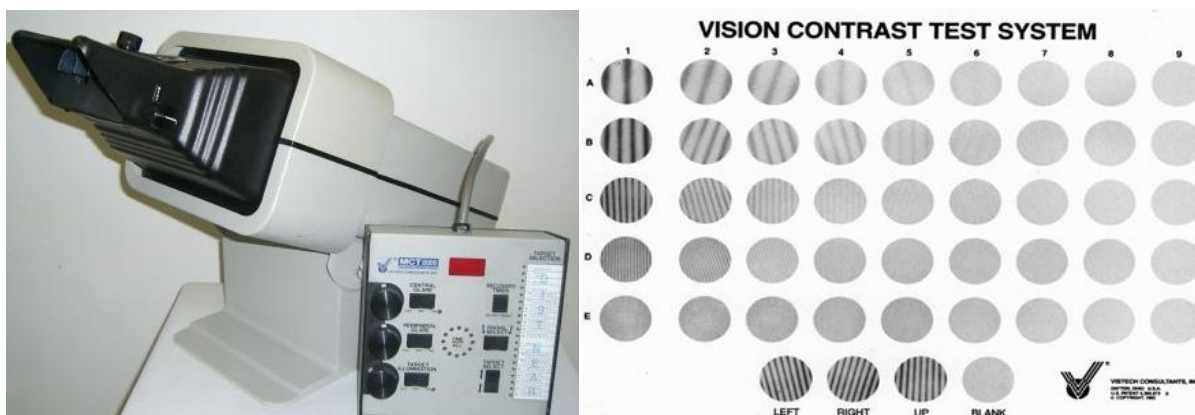
K vyšetření citlivosti na kontrast s oslněním lze využít Millerův-Nadlerův test oslnění, Vistech MCT8000, Pelliho-Robsonova tabule s BAT, CSV-1000HGT a CGT-2000. [17,18]

Millerův-Nadlerův test (obrázek 5.3) s oslněním je tvořen modifikovaným zpětným projektorem, na kterém jsou promítány Landoltovy optotypy o různých hodnotách kontrastu (80 % až 2,5 %). Vyšetřovací vzdálenost 40 cm se doporučuje dodržet, protože nedochází k přizpůsobení intenzity oslnění při změně vyšetřovací vzdálenosti. Přístroj využívá jednu danou intenzitu oslnění. [17,28]



Obrázek 5.3: Miller-Nadlerův tester [31]

Vistech MCT8000 je přenosný přístroj s vlastním zdrojem oslnění i osvětlení, tudíž lze použít za fotopických (125 cd.m^{-2}) i mezopických (3 cd.m^{-2}) podmínkách. Přístroj využívá Vistech tabule kontrastní citlivosti, které jsou založené na detekci sinusových pruhů. Sinusové pruhy jsou uspořádány do pěti řad, přičemž každá odpovídá jiné prostorové frekvenci. V každé řadě je devět terčů postupně snižujících kontrast. Pacient rozpoznává orientaci sinusových pruhů v terči (svislé, šikmé vpravo, šikmé vlevo, prázdný terč). Na obrázku 5.4 vlevo je znázorněn přístroj Vistech MCT8000 a vpravo Vistech tabule kontrastní citlivosti. [17]



Obrázek 5.4: Vlevo přístroj Vistech MCT8000 [32], vpravo Vistech tabule kontrastní citlivosti [33]

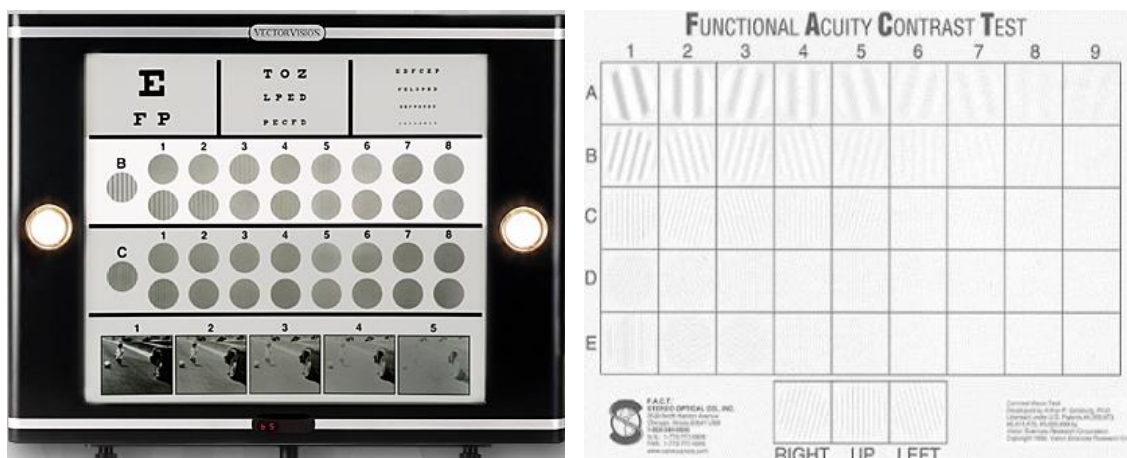
Pelliho-Robsonova tabule je poměrně jednoduchý test, který se skládá z trojic písmen vždy o stejném kontrastu. Kontrast trojic písmen se postupně zmenšuje, což je zobrazeno na obrázku 5.5. Součástí Pelliho-Robsonovy tabule není oslňující zdroj, proto je nutné k vyšetření citlivosti k oslnění využít ruční přístroj BAT. [17]



Obrázek 5.5: Pelliho-Robsonova tabule [34]

Test oslnění CSV-1000HGT je sestaven z CSV tabulí, na jejichž stranách jsou umístěny dva halogenové zdroje oslnění (obrázek 5.6). Testování je prováděno pomocí sinusových pruhů. Na stejném principu funguje i FACT (angl. Functional Acuity Contrast Test) [35]. Zařízení FACT (obrázek 5.6) neobsahuje zabudovaný zdroj oslnění, proto lze použít ruční přístroj BAT. Výhodou CSV-1000HGT je zabudovaný světelný senzor, který kalibruje interní osvětlení tabule podle intenzity okolního osvětlení a tím je během vyšetření zachován konstantní jas optotypu. CSV-1000HGT je účinný při hodnocení katarakty. Zařízení CSV-1000HGT je také užitečné při hodnocení zraku sportovců, přičemž je možné zhodnotit vizuální

stav za různých podmínek oslnění a díky tomu vybrat nejvhodnější zbarvení slunečních brýlových čoček pro daný sport. [28,36]



Obrázek 5.6: Zařízení CSV-1000HGT vlevo [36] a zařízení FACT vpravo [35]

CGT-2000 je přístroj zaměřující se na účinky oslnění působící na zrakové vnímání během testování kontrastní citlivosti. Přístroj CGT-2000 zaznamenává jemné změny zrakového vnímání, které nejsou odhalitelné testováním zrakové ostrosti. CGT-2000 je především užitečný k analýze stavu před a po operaci katarakty a k pozorování stavu po refrakčním zákroku. Přístroj lze také využít k testování citlivosti na oslnění, díky čemuž je možné určit stupeň narušení zrakového vnímání vlivem oslňujícího zdroje. Intenzita oslnění je nastavitelná dle tří módů – nízké, střední, vysoké oslnění. Přístroj umožňuje simulaci různých světelných podmínek na vzdálenost 30 cm, 60 cm, 1 m a 5 m. Zařízení CGT-2000 je znázorněno na obrázku 5. 7. [17,37,38]



Obrázek 5.7: Přístroj CGT-2000 od firmy Takagi [38]

Komplexní přístroj pro testování zrakové ostrosti, citlivosti na kontrast, citlivosti na oslnění za měnitelných světelných podmínek je Frankfurtsko-Freiburský systém testování. Tento přístroj je vhodný pro hodnocení optické kvality zrakového vnímání v refrakční a kataraktové chirurgii. [17]

Přístroje Nyktotest, Nyktometr a Mesotest jsou založené pro měření za mezopických podmínek. Tato trojice přístrojů slouží pro kontrolu ostrosti zraku za šera a citlivosti při oslnění. Testy jsou navrženy pro simulaci silničního provozu. Před testováním je nutná adaptace na tmu po dobu 10 min. Přístroje jsou navrženy tak, aby zaznamenaly pokles nebo ztrátu vidění, což způsobuje potíže při řízení vozidla v noci. Kontrola vidění na Mesotestu se provádí pomocí Landoltova kruhu v šesti různých polohách. Nejprve se kontrolují čtyři kontrastní stupně bez oslnění (jas okolí $0,032 \text{ cd.m}^{-2}$) a poté s oslněním (jas okolí $0,10 \text{ cd.m}^{-2}$). Nyktometr je založen na stejném principu jako Mesotest. Velikost Landoltových kruhů u Mesotestu i Nyktometru odpovídá hodnotě vízu 0,1.

Na obrázku 5.8 je zobrazen přístroj Nyktometr vlevo a Mesotest od firmy Oculus vpravo. [17,39,40]



Obrázek 5.8: Nyktometr vlevo a Mesotest firmy Oculus vpravo [39,40]

Žádný z uvedených zdrojů oslnění a testů není doposud celosvětově uznávaným standardem. [17]

5.3.2 Vyšetření citlivosti k oslnění měření rozptylu světla

Dalším způsobem zjištění hodnoty citlivosti k oslnění je měření intraokulárního rozptylu pomocí testu rozptylu světla (angl. stray light meter). Tento přístroj je vyráběn firmou Oculus pod názvem C-Quant. (viz kapitola 6.2.2) [17,41]

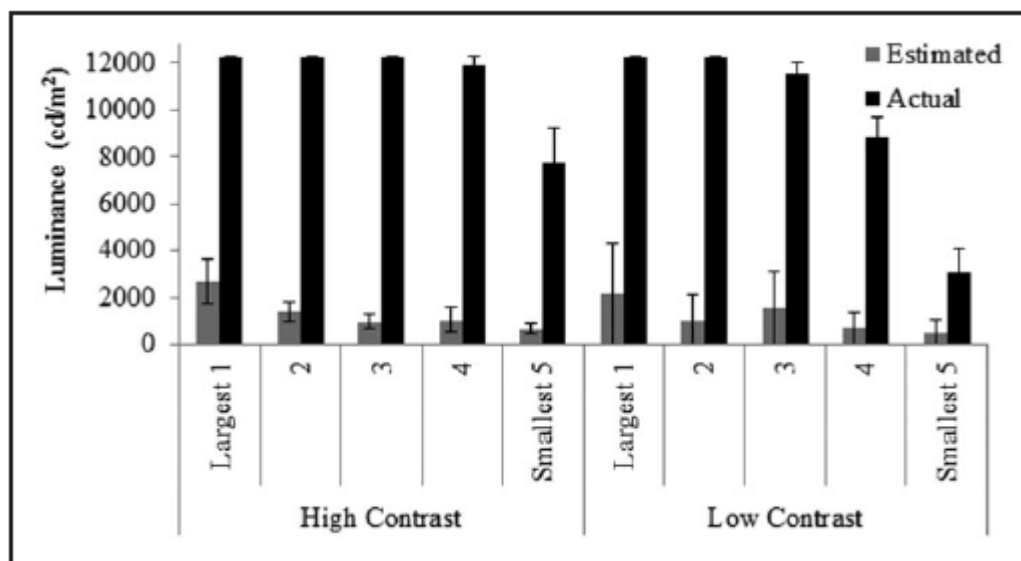
5.4 Vliv oslnění na zrakový vjem

Oslnění snižuje zrakový výkon způsobený intraokulárním rozptylem světla na jednotlivých strukturách oka. Jedinec, který je oslněn pociťuje potíže při vidění, což se výrazně může projevit u starších osob. Oslnění zhoršuje kvalitu sítnicového obrazu a tím i celkově znesnadňuje kvalitu života. Ohrožujícím faktorem se stává pro řidiče při řízení za šera, mlhy, deště či v noci, kdy dojde k oslnění od světlometů protijedoucích automobilů. Profesionálním řidičům, ale i pilotům může oslnění bránit v bezpečném vykonávání práce. Oslnění může činit obtíže při nevhodném rozmístění osvětlení ve vnitřních prostorech (např.: v kanceláři). [42,43]

5.4.1 Vliv oslnění na zrakovou ostrost

Oslnění způsobuje snížení schopnosti rozpoznat podnět, který je umístěný blíže jinému podnětu s vyšším jasnem. Toto je běžné pro řidiče, kteří jsou „oslepeni“ slunečním světlem nebo světly protijedoucích aut. Není jasné, zda řidič může přesně vyhodnotit situaci při snížené kvalitě vidění vlivem oslnění.

V práci [44] byl prováděn výzkum, který hledal odpověď na to, jak pozorovatel může hodnotit, když při oslnění je jeho zraková ostrost snížena. K výzkumu bylo využito 17 jedinců. Test vyhodnocuje jejich mez fyziologického (omezujícího) oslnění (angl. Disability glare). Jas oslnujícího zdroje by měl dostatečně narušit jejich schopnost rozpoznat orientaci Landoltových kruhů „C“. Účastníci hodnotili intenzitu oslnění, která jim narušila zrak. Hodnocené oslnění účastníky bylo o 88 % nižší než reálná intenzita oslnění. Jedinci měli problém s velikostí podnětu, ale ne s jeho kontrastem. Tyto výsledky ukazují, že jedinec může podcenit účinek oslnění. Jedinec nedokáže ocenit fakt, že vysoký kontrast podnětu je více odolný oslnění. Vysoké hodnoty jasu ukazují, že relativně vysoký jas oslnění ve tvaru mezikruží byl nezbytný k dosažení hranic mezi rozpoznatelným a nerozpoznatelným podnětem v podobě Landoltových kruhů. Nejvyšší možná intenzita oslnění byla $12\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Na obrázku 5.9 jsou znázorněny výsledky měření. Šedý sloupec reprezentuje odhadovanou intenzitu oslnění a černý reálnou intenzitu oslnění za nízkého a vysokého kontrastu podnětu. Sloupec 1 znázorňuje největší velikost podnětu, která se postupně zmenšuje, což je viditelné na sloupci 5 s nejmenší velikostí podnětu. [44]



Obrázek 5.9: Odhadovaná a reálná intenzita oslnění v porovnání s velikostí podnětu a kontrastem podnětu [44]

Studie [45] se zabývá vyšetřením zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění v závislosti na věku. Zkoumanou skupinou jsou jedinci bez očních patologií ve věku od 5 do 60 let. Vyšetření na Snellenově optotypu neprokázalo signifikantní změny zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění. [45]

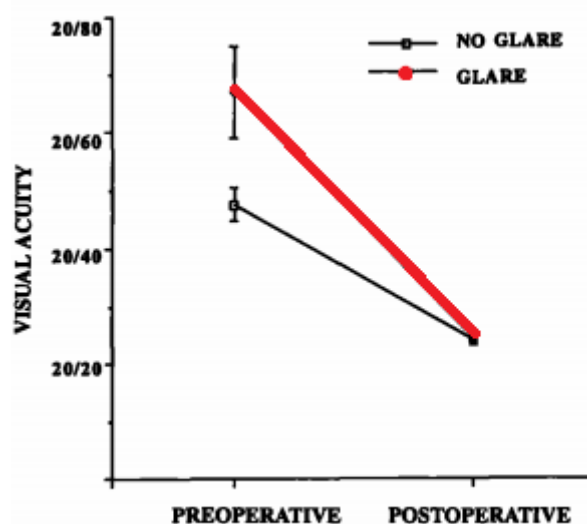
Studie [46] popisuje pokles zrakové ostrosti v závislosti na přibývajícím věku, snižujícím jasem pozadí optotypu a zvyšujícím oslněním. Testování se zúčastnili jedinci ve věku 20–25 let, 40–45 let a 60–65 let. Nízký jas pozadí způsobil významné snížení zrakové ostrosti, což se nejvíce projevilo u jedinců ve věku 60–65 let. Při vyšetření zrakové ostrosti s oslněním v kombinaci s nízkým jasnem pozadí došlo k významnému poklesu zrakové ostrosti u všech skupin. [46]

Studie [47] se snaží objasnit, jaký vliv má katarakta na zrakovou ostrost a kontrastní citlivost s oslněním a bez oslnění. Dle výsledků studie [47] došlo k významnému poklesu zrakové ostrosti a zejména také kontrastní citlivosti u všech stupňů katarakty. Výsledky prokázaly, že se zvyšujícím stupněm zkalení oční čočky dochází zároveň k signifikantnímu poklesu zrakové ostrosti nezávisle na oslnění. Kontrastní citlivost poskytla více informací než testy na zrakovou ostrost u jedinců s počátečním stádiem katarakty. [47]

Oslnění ovlivňuje míru intraokulárního rozptylu, čímž následně může dojít i ke změně zrakové ostrosti. Studie [48] se zaměřuje na jedince s kataraktou. Ve studii [48] zkoumali vliv intraokulárního rozptylu v závislosti na věku a na zrakové ostrosti. Studie [48] porovnává výsledky měření již publikovaných výzkumů. Z výsledků publikovaných výzkumů vyplývá, že intraokulární rozptyl signifikantně ovlivňuje zrakovou ostrost (logMAR) u nukleární,

subkapsulární i kortikální katarakty. Z porovnání zjišťujeme, že při závislosti intraokulárního rozptylu na zrakové ostrosti statisticky největších změn dosahovala subkapsulární katarakta. Ale vzhledem k tomu, jak velké míry dosahuje intraokulární rozptyl a negativně tím ovlivňuje kvalitu vidění, nedojde k tak velkému poklesu zrakové ostrosti. [48]

Jedna ze studií [49], která se zabývá jedinci před operací a po operaci katarakty, potvrzuje snížení zrakové ostrosti a zároveň kontrastní citlivosti při oslnění. U jedinců po operaci katarakty došlo k statisticky signifikantnímu zlepšení výsledků měření zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti. Jedinci po operaci vnímají i subjektivně zlepšení zrakové ostrosti a celkově kvalitnější vidění. Na obrázku 5.10 je viditelné zlepšení zrakové ostrosti u jedinců po operaci katarakty s oslněním i bez oslnění. Červená křivka znázorňuje výsledky měření s oslňujícím zdrojem a černá bez oslňujícího zdroje. [49]



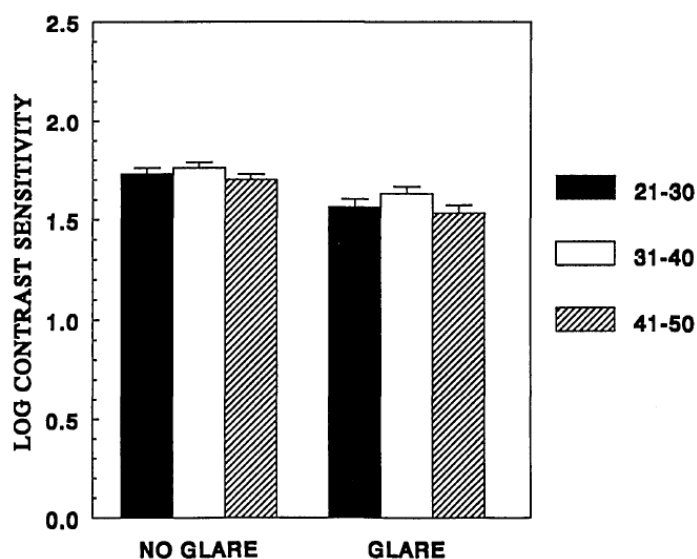
Obrázek 5.10: Porovnání zraková ostrost s oslněním a bez oslnění před a po operaci katarakty [49]

5.4.2 Vliv oslnění na kontrastní citlivost

Kontrastní citlivost (angl. contrast sensitivity – CS) na střední a vysoké prostorové frekvence se mění s rostoucím věkem. Několik studií ukazuje, že CS se zvyšuje od dětství a maxima dosahuje v období dospívání. Ke snížení dochází mezi 60 až 80 rokem života.

Studie [50] se zaměřuje na probandy středního věku, tj. 21 až 50 let. Testování se zúčastnilo 30 probandů v každé dekádě, tedy dohromady 90 probandů. Studie se snaží objasnit, zda dochází ke snížení CS postupně od pozdního dospívání nebo zda začne prudce klesat až po středním věku. CS byla vyšetřována monokulárně s oslněním a bez oslnění. Oslnění bylo regulovatelné do $16\,000\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \pm 1\%$. CS se zjišťovala na 4 prostorových frekvencích (4, 12, 16 a 20 cyklů/stupeň) bez oslnění a s oslněním na 4 a 12 cyklů/stupeň. Rozdíl mezi CS

s oslněním a bez oslnění byl signifikantní. Oslnění způsobilo signifikantní pokles CS o cca 0,12 log. Nebyla prokázána závislost mezi věkem a citlivostí na oslnění. Prokazatelná byla změna prostorové frekvence vlivem oslnění, potvrzením je nepatrně lepší výsledek na 12 čar/stupeň než na 4 čar/stupeň s oslněním. CS nebo citlivost na oslnění téměř nezávisí na věku (21–50 let), závislost je menší než 0,1 log CS. Na obrázku 5.11 jsou vyneseny výsledky kontrastní citlivosti bez oslnění (levá část obrázku) a s oslněním (pravá část obrázku) studie [41] dle věkových skupin. Černý sloupec odpovídá věkové skupině 21 až 30 let, bílý sloupec 31 až 40 let a šrafovaný sloupec 41 až 50 let.



Obrázek 5.11: Kontrastní citlivost dle věkové skupiny s oslněním a bez oslnění na prostorové frekvenci 12 cyklů/stupeň [50]

Výsledky (obrázek 5.11) ukázaly, že oslnění ovlivňuje CS a neprokázaly závislost CS na věku (21 až 50 let). Data studie [50] ukazují, že ztráta CS zkušených starších probandů nastává až po 50 roku života. S tímto tvrzením se shoduje studie v práci [51], kde se autoři snažili objasnit změny zrakových funkcí v závislosti na věku.

Se studií [50] se ztotožňují výsledky dalších studií, jako jsou [52-56]. Ve studii [57] jsou jiného názoru. Naznačují, že ke změnám dochází postupně od 20 roku života. Množství probandů v těchto studiích nebylo dostačující pro poskytnutí adekvátních poznatků.

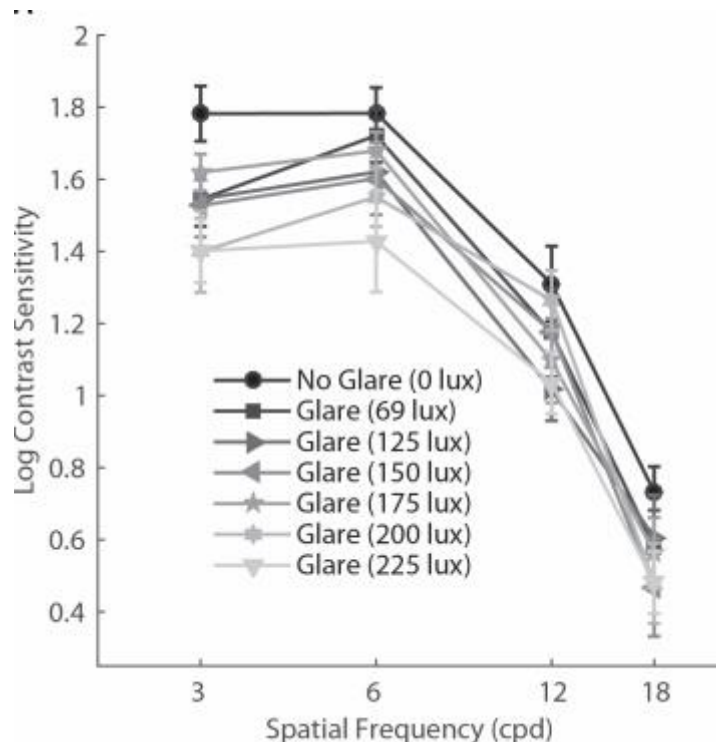
Jedna ze studií [58] zaznamenala signifikantní změny CS s oslněním mezi věkovými skupinami 20 až 25 let a 40 až 45 let. Neprokázala změny mezi věkovými skupinami 60 až 65 let a 40 až 45 let, což poukazuje, že signifikantní výsledky byly chybné.

Ve studii [50] tedy nenašli žádné statistické signifikantní změny CS nebo intraokulárního rozptylu vyhodnocené oslněním zraku normálního probanda ve věku 21 až 50 let. [50]

Z výsledků studie [59] je zřejmé, že CS s oslněním a bez oslnění je velmi podobná mezi 40 až 59 rokem života. Během dne byl většinou zaznamenaný pokles CS bez oslnění na prostorové frekvenci 18 cyklů/stupeň. [59]

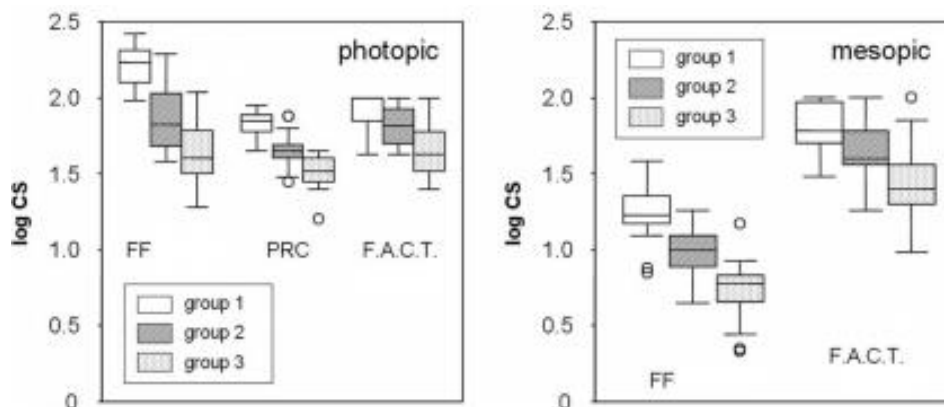
Signifikantní změny při vyšetření CS s oslněním a bez oslnění byly prokázány ve studii [45] u jedinců ve věku od 5 do 60 let. CS se v přítomnosti oslnujícího zdroje snížila u všech věkových skupin. Snížení CS se nejvíce projevilo u skupiny ve věku 51 až 60 let. [45]

Ve studii [60] se zabývají tím, jak je CS ovlivněna různými kombinacemi oslnění a okolním osvětlením u mladých zdravých jedinců. Dle studie nízká úroveň oslnění má relativně malý dopad na vidění za fotopických a mezopických podmínek, zatímco vyšší úroveň má signifikantně větší důsledek na CS především za mezopických podmínek. Testování probíhalo na zařízení CSV-1000E a vyšetřovací vzdálenost byla 2,5 m. Vyšetření se realizovalo na prostorových frekvencích 3, 6, 12 a 18 cyklů/stupeň. Nízká úroveň (64 lx) zabudovaného oslnění v zařízení CSV-1000E nezpůsobí významný pokles CS, tudíž je nedostačující k získání signifikantních výsledků. V první části byla měřena CS za fotopických podmínek s oslněním a bez oslnění. Výsledky v této části nebyly statisticky významné. V druhé části probíhalo měření CS za mezopických podmínek za použití různých hodnot intenzity oslnění. Při použití vyšší intenzity oslnění (225 lx) za mezopických podmínek se dosáhlo signifikantního snížení CS na všech testovaných prostorových frekvencích, přičemž bylo zjištěno, že již při hodnotě 125 lx dojde k poklesu CS. Tyto výsledky jsou zobrazeny na obrázku 5.12, kde je funkce CS na vyšetřovaných prostorových frekvencích za mezopických podmínek bez oslnění a s šesti intenzitami oslnění. [60]



Obrázek 5.12: Funkce kontrastní citlivosti za mezopických podmínek [60]

Cílem studie [61] bylo zhodnotit tři psychofyzikální testy sloužící k měření CS a fyziologického oslnění za různých světelných podmínek. CS byla zjišťována na Frankfurtsko-Freiburském systému testování, FACT (angl. Functional Acuity Contrast Test) a Pelliho-Robsonově tabuli. Jedinci byli rozděleni do 3 skupin (skupina 1: 20 zdravých mladých jedinců, skupina 2: 20 zdravých starších jedinců, skupina 3: 20 jedinců s kataraktou). CS byla vyšetřována za fotopických podmínek na Frankfurtsko-Freiburském systému testování, FACT (angl. Functional Acuity Contrast Test) a Pelliho-Robsonově tabuli, a to vždy s a bez přítomnosti oslnění. Poté bylo provedeno testování na Frankfurtsko-Freiburském systému a FACT za mezopických podmínek s oslněním a bez oslnění. CS dosahovala vyšších hodnot u mladých než u starších jedinců, přičemž hodnoty u jedinců s kataraktou byly nejnižší. Na následujícím obrázku 5.13 jsou znázorněny výsledné hodnoty CS bez oslnění. Při měření na Frankfurtsko-Freiburském systému se dosahovalo vyšších hodnot než na Pelliho-Robsonově tabuli (PRC) u všech skupin za fotopických podmínek. Za mezopických podmínek byly významně rozdílné hodnoty mezi Frankfurtsko-Freiburském systémem a FACT. Významný pokles CS se projevil za mezopických podmínek na Frankfurtsko-Freiburském systému testování. [61]



Obrázek 5.13: Porovnání kontrastní citlivost za fotopických (vlevo) a mezopických (vpravo) podmínek [61]

Ve studii [46] zaznamenali signifikantní snížení CS v přítomnosti oslňujícího zdroje a nízkého jasu pozadí. Z výsledků vyplývá, že starší jedinci dosahovali výraznějších změn CS než mladší jedinci. [46]

Katarakta způsobí zvýšení intraokulárního rozptylu, který může snížit kontrast obrazu vytvořeného na sítnici a nepříznivě ovlivnit kontrastní citlivost, a to dříve než zrakovou ostrost. Jedinci s kataraktou jsou předmětem studie [47], která se zabývá účinkem různých typů katarakty na kontrastní citlivost vyšetřovanou s oslněním a bez oslnění. Ve studii [47] došlo k signifikantnímu poklesu CS na všech prostorových frekvencích u všech typů katarakty (subkapsulární, kortikální, nukleární). U jedinců s kortikální kataraktou v přítomnosti oslňujícího zdroje byla CS signifikantně snížena na prostorové frekvenci 18 cyklů/stupeň za denního světla, zatímco za nočních podmínek osvětlení došlo k snížení na prostorové frekvenci 3 cyklů/stupeň. Při denním světla byla zaznamenána vyšší korelace při oslnění v porovnání s výsledky bez oslnění. [47]

5.4.3 Vliv oslnění na binokulární vidění

Oslnění zapříčiní rozptyl světla, to vede k poklesu kvality zrakového vnímání kvůli vniklému zářivému jasů na sítnici. Ve studii [62] se zabývají účinky oslnění na binokulární vidění. Vidění je dostatečně znehodnoceno přidavkem fyziologického oslnění, které se nepovažuje za signifikantní příčinu při posuzování prostorového vidění, které je měřeno pomocí experimentálně zjištěného longitudiálního horopteru. Z hlediska vlivu na binokulární vidění posuzují jako hlavní faktor degradaci obrazu zjišťovanou pomocí horopteru. Změny struktur očních médií mohou mít negativní vliv na binokulární a prostorové vidění. Degradace obrazu signifikantně ovlivňuje prostorové vidění. Při oslnění dojde k zhoršení prostorového vidění a tím získáme ještě více signifikantní výsledky. [62]

Výzkum [25] hodnotí vliv oslnění na binokulární koordinaci. Testů se účastnilo 16 studentů ve věku 25 až 30 let. Pro obě části studií byl použit LCD monitor, který byl umístěn ve vzdálenosti 60 cm od studenta.

První část studie [25] hodnotila účinky odlišných intenzit oslnění na vergenční pohyby. Zatímco jedinec pracoval na počítači, docházelo k měření horizontální fixační disparity. Během testu byla stabilizována poloha hlavy pomocí opěrky čela a brady. Na monitoru byly dvě vodící linie, červená (oko pravé) a zelená (oko levé), které student sledoval binokulárně. Student četl text v monitoru a současně byl oslňován. Test se skládal ze tří řízených intenzit oslnění: $6\,100\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $1\,850\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a $450\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Výsledky měření fixační disparity prokázaly zvýšení esoforie s přibývajícím intenzitou oslnění.

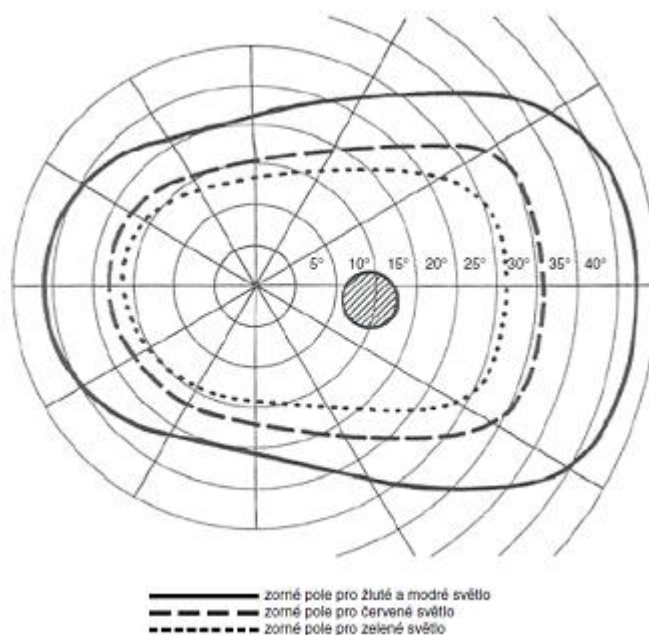
Druhá část výzkumu [25] se zaměřila na určení hranic jasu hodnot přímého oslnění zhodnocením vergenčních pohybů při práci na počítači. Měřila se horizontální fixační disparita ve spojení se subjektivním zhodnocením očních příznaků. Testovaly se 4 intenzity přímého oslnění: bez oslnění (jas v místnosti $600\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$), $2\,000\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $4\,000\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a $6\,000\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Zdroj oslnění byl umístěn do vzdálenosti 100 cm od studenta. Nakonec studenti zodpověděli, jaký mělo oslnění dopad na jejich práci na počítači. Stejně jako v první části studie se i v druhé prokázala esoforie měřením fixační disparity s oslněním. Signifikantní rozdíl byl v odchylce fixační disparity měřené bez oslnění a s oslněním. Subjektivně studenti popisovali únavu očí, bolest hlavy, dvojitě vidění, bolest očí, rozmazané vidění, potřebu opakovaně číst text.

Z výzkumu [25] vyplývá, že dochází k zatížení akomodačních a vergenčních mechanismů. [25]

5.4.4 Citlivost na oslnění v zorném poli

Citlivost na oslnění v zorném poli závisí na průhlednosti optických struktur a také na charakteru osvětlení. Účinky oslnění na zorné pole závisí na úrovni oslnění a jeho pozici v zorném poli. Citlivost na oslnění se výrazně navyšuje při počátečních stádiích zákalů optických médií. Oko výrazně vnímá oslnění ve směru osy pohledu a jejím okolí do úhlu cca 14° . Pokud se nachází zdroj oslnění ve větších úhlech od pohledové osy, tak vliv fyziologického oslnění je zanedbatelný. Velikost zorného pole závisí na chromatičnosti světla procházejícího na sítnici. Tato skutečnost je zobrazena na následujícím obrázku 5.14. Z obrázku 5.14 je viditelný rozdíl velikosti zorného pole pro zelené, červené, žluté a modré světlo. Největší zorné pole je pro žluté

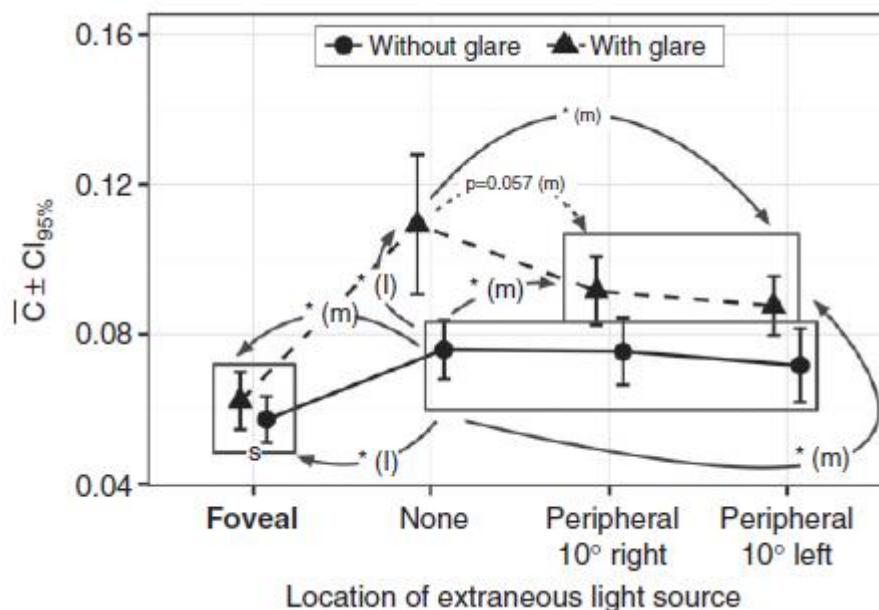
a modré světlo, menší pro světlo červené a nejmenší pro zelené světlo. Velikost zorného pole se u normálních zdravých jedinců liší poměrně málo. [3,14,30,63]



Obrázek 5.14: Monokulární zorné pole pravého oka při reakci na různě světelně barevné podněty [3]

Citlivost na oslnění v zorném poli bezprostředně ovlivňuje schopnost řízení automobilů. Řidiči se mohou snažit oslnění minimalizovat, čímž se narušuje jejich pozornost.

Vliv oslnění a vnějšího zdroje záření na velikost zorného pole je ve studii [64] zjišťován porovnáním detekovaného kontrastu ve foveole nebo periferně 10° vpravo a 10° vlevo od zrakové osy (obrázek 5.15). Po oslnění je stav adaptace ovlivněn okolním osvětlením, což má vliv na zorné pole. Zrakové vnímání jak s oslněním, tak i bez něj je lepší, pokud se vnější zdroj záření nachází v periférii zorného pole. Oslnění má signifikantní efekt na velikost zorného pole, která se jeho vlivem zmenšuje. Oslnění není považováno za signifikantní, pokud vnější zdroj záření je přítomen ve foveole. Takže pokud se oslnění nachází v zorném poli za přítomnosti okolního osvětlení, nedochází k signifikantním změnám velikosti zorného pole. Na obrázku 5.15 je znázorněno ovlivnění velikosti zorného pole (l – velké, m – střední, s – malé). Kulaté body vyznačují testování detekovaného kontrastu bez oslňujícího zdroje a trojúhelníkovité body s oslňujícím zdrojem. [64]

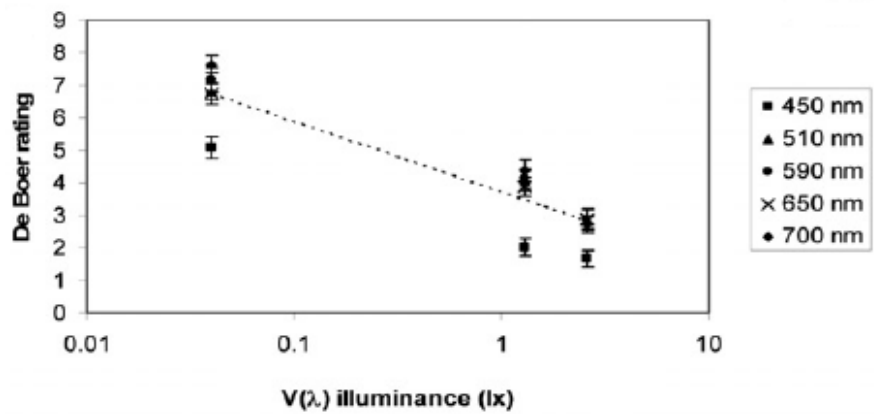


Obrázek 5.15: Porovnání detekovaného kontrastu v závislosti na pozici vnějšího zdroje záření s oslněním a bez oslnění [64]

5.4.5 Spektrální citlivost na oslnění

Fotopická světelná účinnost záření $V(\lambda)$ reprezentuje spektrální citlivost čípků ve foveole. Existuje několik studií charakterizujících spektrální citlivost na psychologické oslnění od monochromatického zdroje záření, které se nachází v blízkosti fovei (5° a 10° od zrakové osy). Na intenzivnější oslnění reagují čípkové kratších vlnových délek. Fotometrické veličiny založené na základě fotopické světelné účinnosti záření $V(\lambda)$ (jednotky jako lux, lumen, kandela) slouží k opodstatnění některých zrakových odezev, jako je zraková ostrost, reakční čas a fyziologické oslnění.

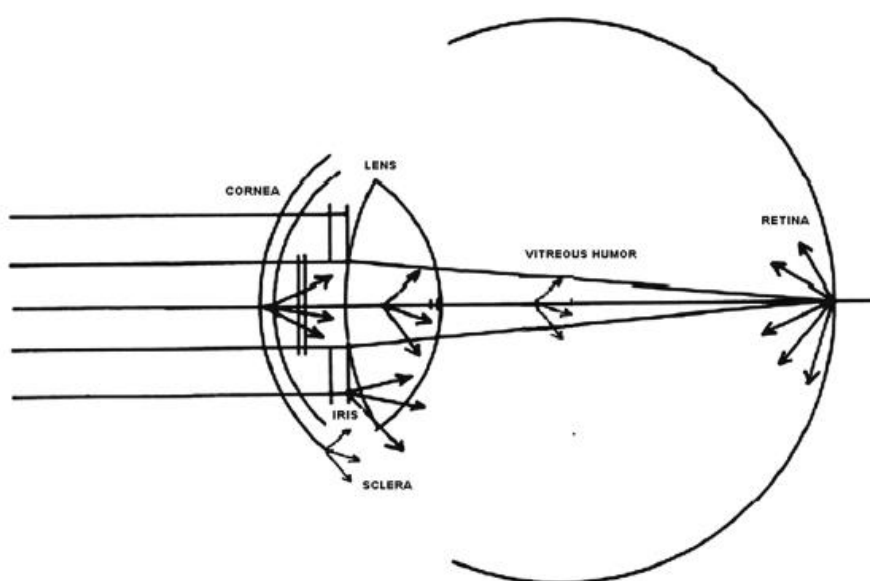
Každé vlnové délce odpovídá logaritmická funkce, kromě vlnové délky 450 nm. Hodnocení stimulu vlnové délky 450 nm je nižší než ostatních vlnových délek, což je viditelné na obrázku 5.16 [65]. K hodnocení je použita de Boerova klasifikační stupnice, která je založena na principu subjektivního vyhodnocení míry oslnění. Stupnice zahrnuje škálu hodnot od 1 do 9 a hodnotí se vizuální odezva (nesnesitelné, znepokojivé, přípustné, vyhovující, nepozorovatelné). [66]



Obrázek 5.16: Hodnocení oslnění dle de Boerovy klasifikační stupnice v závislosti na různém osvětlení [65]

6 Intraokulární rozptyl

U normálního zdravého jedince dochází v určité míře k intraokulárnímu rozptylu, který závisí na věku, patologických změnách oka (katarakta), pigmentaci a na refrakčních chirurgických zákrocích. Míra intraokulárního rozptylu je pro každého jedince individuální, dokonce se může lišit pro pravé a levé oko. U mladého zdravého oka míra intraokulárního rozptylu je z 1/3 způsobena rohovkou, z 1/3 způsobena čočkou a z 1/3 duhovkou, bělimou a očním pozadím. Tyto poměry závisí především na věku a pigmentaci. Následující obrázek 6.1 znázorňuje schematicky intraokulární rozptyl zdravého oka.



Obrázek 6.1: Intraokulární rozptyl na jednotlivých strukturách oka normálního zdravého jedince

Zvýšený rozptyl světla negativně ovlivňuje kvalitu sítnicového obrazu. Rozptýlené světlo na sítnici způsobuje především snížení kontrastu, rozmlžení obrazu, oslnění, haló jev. K rozptylu dochází na nehomogenitách optické soustavy oka, tedy za vznik rozptylu může především skléra, rohovka, duhovka, oční čočka, sklivec a sítnice. Což je zobrazeno na obrázku 6.1.

Intraokulární rozptyl je považován za zrakovou funkci, která se v populaci navyšuje, nezávisle na zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti. Platí skutečnost, že čím je větší rozptyl světla, tím je horší kvalita vnímaného obrazu.

Navýšení intraokulárního rozptylu může mít větší vliv na kvalitu zraku než pokles zrakové ostrosti. [1,43,67,68,69,70]

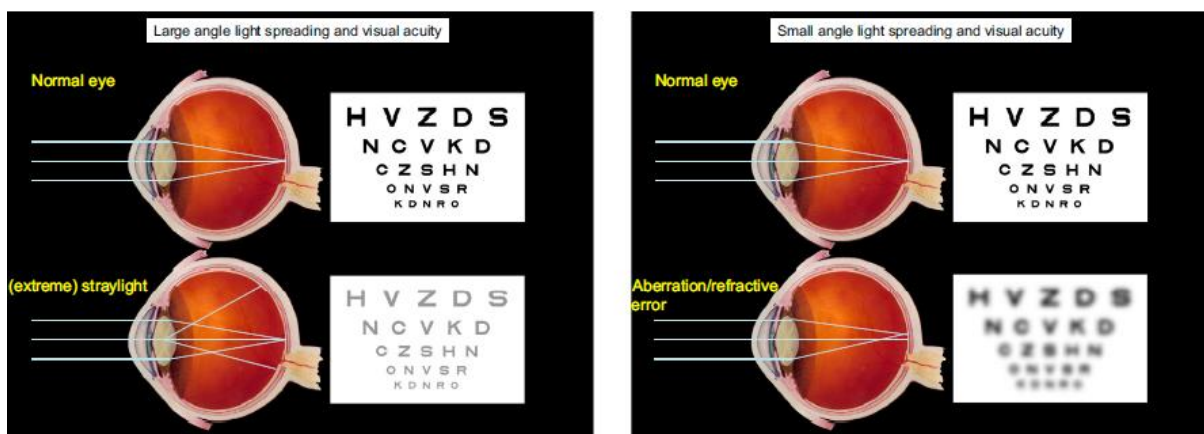
6.1 Příčiny a důsledky intraokulárního rozptylu

Rozptyl světla vzniká vlivem šíření světla nehomogenním prostředím oka, kde dochází ke změnám indexu lomu prostředí. Na nehomogenitách v prostředí se světlo v důsledku difrakce, lomu a odrazu odchyluje od původního směru šíření. Světlo se rozdělí s různou intenzitou do různých směrů. Jedinci s vyšším intraokulárním rozptylem vnímají zvýšenou citlivost na oslnění zdrojem světla, sníženou schopnost vnímat kontrast nebo barvy, zamlžené vidění.

Rozptyl světla může zvýšit pocit přítomnosti očních patologií, které postupně narušují jednotlivé optické struktury oka. Oslnění může být komplikací pro jedince s kataraktou, kteří mají pooperační potíže. [18,66,71]

Největší rozptyl světla se projevuje na rohovce a oční čočce. Ke zvýšenému rozptylu na rohovce může dojít v důsledku traumatu nebo onemocnění rohovky, keratoplastiky, poruchy kvality slzného filmu nebo refrakčních chirurgických zákroků na rohovce, přičemž rozptyl na rohovce prakticky nezávisí na věku. S přibývajícím věkem se zvyšuje rozptyl na oční čočce, hlavně vlivem katarakty. Implantovaná oční čočka či naaplikovaná kontaktní čočka může ovlivňovat míru intraokulárního rozptylu. Stupeň rozptýleného světla na duhovce a sklěře je závislý na množství pigmentu duhovky. Světlejší duhovka propouští více světla na sítnici než tmavší duhovka. Světlo vstupující skrz duhovku se nepodílí na vytvoření obrazu, ale narušuje čistotu obrazu. Úroveň rozptýleného světla na sítnici může být zvýšena vlivem zákalků ve sklivci, které nemají vliv na zrakovou ostrost. Zraková ostrost a míra intraokulárního rozptylu netvoří mezi sebou prakticky žádnou závislost. Sítnice neabsorbuje všechno světlo, takže část světla se zpětně rozptyluje od sítnice. Množství tohoto rozptylu závisí na pigmentaci. [43,66,67,69]

Výzkum [72] potvrzuje, že zraková ostrost a intraokulární rozptyl se mění zcela nezávisle na sobě. Zraková ostrost se ztrácí vlivem katarakty a neprůhledností dalších médií. Snížení zrakové ostrosti není způsobeno intraokulárním rozptylem, ale může být zapříčiněno aberacemi. Intraokulární rozptyl není ovlivněn refrakčními vadami, na rozdíl od zrakové ostrosti. Toto vystihuje následující obrázku 6.2. [72]



Obrázek 6.2: Znáornění vlivu intraokulárního rozptylu a aberací na normální oko

Na obrázku 6.2 vlevo je schematicky znázorněn důsledek vlivu intraokulárního rozptylu na zrakovou ostrost normálního oka, vpravo vliv aberací na zrakovou ostrost normálního oka. [72]

6.2 Charakterizace intraokulárního rozptylu

K intraokulárnímu rozptylu dochází na jednotlivých strukturách oka při průchodu optického záření na sítnici. Optické záření procházející na sítnici interaguje na vnitřních strukturách očních prostředí, čímž je ovlivněna kvalita sítnicového obrazu a celkový zrakový vjem. Rozptyl může zvýšit vnímání přítomnosti očních patologií, které postupně narušují struktury oka. [12,43,66]

6.2.1 Dopředný a zpětný intraokulární rozptyl v oku

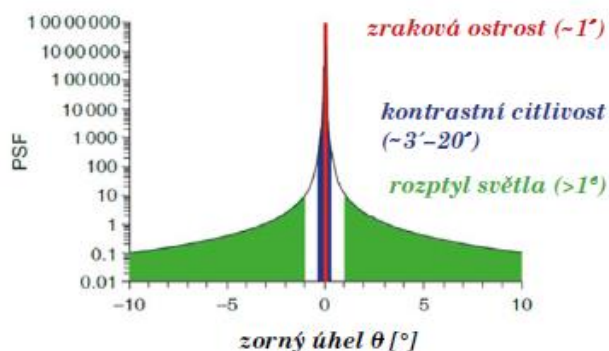
Dopředný a zpětný intraokulární rozptyl se liší v jednotlivých tkáních oka, proto se hodnotí přímo rozptýlené světlo na sítnici, které reálně ovlivňuje kvalitu sítnicového obrazu. Zpětný intraokulární rozptyl je zpětně rozptýlené světlo od očních médií, které může být pozorovatelné pomocí štěrbinové lampy nebo Scheimpflugovy kamery. Analýzy zpětně rozptýleného světla mohou poskytnout informace o transparentnosti a kvalitě optických tkání. Zpětný rozptyl teoreticky pouze snižuje množství výsledného světla na sítnici. [12] Dopředně rozptýlené světlo způsobuje zářivý jas na sítnici, a výsledkem je deformace vytvořeného obrazu (oslnění, zamlžené vidění, snížení kontrastu, haló jev) za fotopického i skotopického vidění. Dopředný rozptyl u jedinců s kataraktou způsobí závojové oslnění (angl. veiling glare), zatímco zpětný rozptyl omezí množství procházejícího světla na sítnici. Efekt dopředného rozptylu světla částečně mění směr původního šíření světla a zmírňuje citlivost fotoreceptorů, tedy dochází k Stiles-Crawfordovu jevu 1. typu. Stiles-Crawfordův jev se vztahuje hlavně na čípky, tedy na fotopické vidění. Paprsky dopadající kolmo způsobí intenzivnější vnímání jasu. Tudíž

v periférii sítnice, kde převažují tyčinky, tento jev není pozorován. Stiles-Crawfordův jev 1. typu vysvětluje, že se liší jas paprsků dopadajících na sítnici pod úhlem 90° a jas paprsků dopadajících pod šikmým úhlem. [12,43,66,71]

6.2.2 Kvantifikace míry intraokulárního rozptylu

Jedinci, kteří pociťují potíže se zvýšeným intraokulárním rozptylem, si také mohou stěžovat na sníženou schopnost vnímat kontrast nebo barvy, na zvýšenou citlivost na oslnění a na zamlženější vidění. Intraokulární rozptyl je zejména nepříjemný, pokud je zrak zatížen makulárními degeneracemi, retinálním onemocněním nebo glaukomem.

Kvalita zobrazení optické soustavy oka se kvantitativně posuzuje podle rozptylové funkce bodu (PSF) a funkce přenosu kontrastu (MTF). Rozptylová funkce bodu popisuje, jak vypadá obraz bodového zdroje. Funkce přenosu kontrastu udává, s jakým kontrastem soustava zobrazuje různě jemné struktury. Tyto charakteristiky lze matematicky vyjádřit z naměřené vlnové aberace. K měření aberací oka se využívá aberometrie. Aberometrie nezhodnotí přesně kvalitu sítnicového obrazu. Ve skutečnosti je v důsledku vlivu rozptylu světla kvalita znehodnocena a je horší, než udává aberometrie. Rozptýlené světlo ovlivňuje periferní část PSF (úhly větší než 1°), zatímco centrální část (úhly do několika desítek úhlových minut) je ovlivněna primárně aberacemi a difrakcí. Na obrázku 6.3 je zobrazena závislost PSF na zorném úhlu.

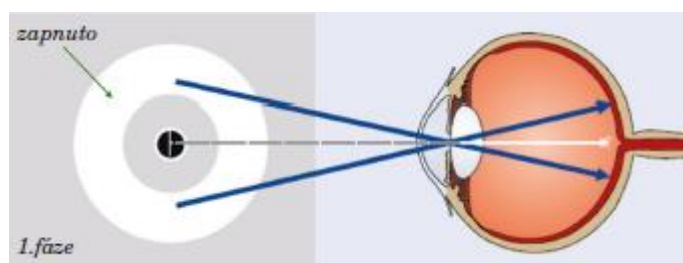


Obrázek 6.3: Schéma PSF [43]

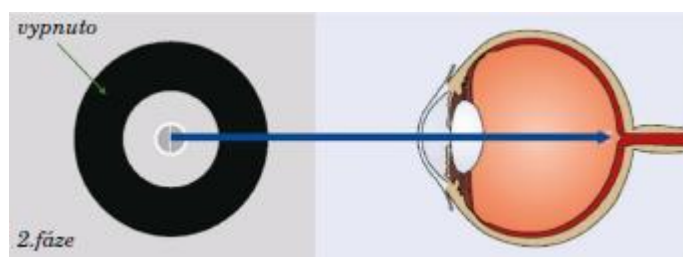
Existují speciální metody, které určují míru intenzity rozptýleného světla. Ke kvantifikaci míry intraokulárního rozptylu se využívá psychofyzikálních nebo optických metod.

C-Quant přístroj firmy Oculus [41] (obrázek 6.6) měří intraokulární rozptyl, tak jak ho subjekt ve skutečnosti vnímá. Vyšetření se provádí monokulárně. Přístroj je ovládán počítačem. Měření probíhá ve 2 fázích. Vyšetřovaný jedinec pozoruje testové pole, ve kterém je zobrazen centrální a periferní stimul (obrázek 6.4 a 6.5). Centrální stimul černé barvy je vertikálně rozdělen na dvě poloviny. Periferní stimul, který má tvar mezikruží, se střídavě vypíná a zapíná,

čímž způsobuje záblesky. Tyto záblesky jsou rozptýleny oční čočkou a dalšími strukturami oka. Rozptýlené světlo dopadá na sítnici, kde je zobrazen obraz odpovídajícího stimulu. Vyšetřovaný subjekt porovnává záblesky pravé a levé části centrálního pole. Vyšetřovaný subjekt určuje, která polovina je jasnější.



Obrázek 6.4: Průběh vyšetření při zapnutém periferním stimulu



Obrázek 6.5: Průběh vyšetření při vypnutém periferním stimulu

Protože se jedná o psychofyzikální techniku, spolehlivost individuálního měření musí být zkontrolována. Parametr spolehlivosti (ESD) byl navržen tak, že předpovídá přesnost individuálního měření. Využívá se mezní hodnoty $ESD \leq 0,08$.

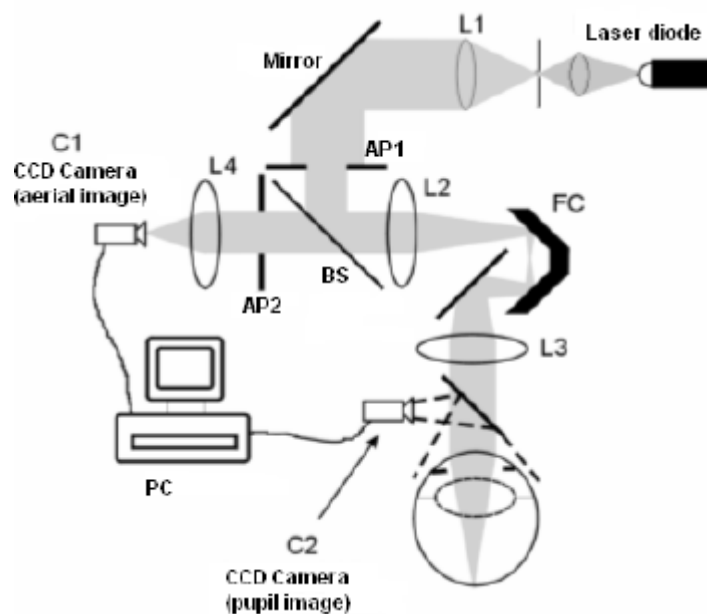
Míra intraokulárního rozptylu je vyjádřena tzv. parametrem intraokulárního rozptylu s (angl. straylight parameter). Tento parametr udává poměr mezi nechtěným rozptylem světla a nerozptýleným světlem. Nechtěný rozptyl způsobuje snížení kontrastu na sítnici, zatímco nerozptýlené světlo formuje obraz na sítnici, který pozorujeme. Míra intraokulárního rozptylu se kvantifikuje pomocí logaritmu parametru (s). Vyšší hodnota $\log(s)$ znamená větší míru intraokulárního rozptylu, a tudíž horší vidění. Protože je parametr rozptylu udáván v logaritmické stupnici, měli bychom si uvědomit, že pokud dojde k nárůstu hodnoty $\log(s)$ o 1, desetinásobně se zvýší intenzita rozptýleného světla. Dřívější studie ukazují, že průměrná hodnota $\log(s)$ zdravého normálního oka mladého jedince je přibližně 0,85, oko 70 ročního zdravého jedince dosahuje hodnoty přibližně 1,2 a oko s kataraktou může dosahovat hodnoty 2,0 nebo i více. S přibývajícím věkem dochází u normálního zdravého oka až k více než

čtyřnásobnému navýšení intenzity rozptýleného světla. U oka s patologiemi může dojít k několikanásobně vyššímu nárůstu. [18,41,43,67,73]



Obrázek 6.6: C-Quant přístroj firmy Oculus [73]

Intraokulární rozptyl lze určit též optickou objektivní metodou pomocí přístroje HD Analyzer od firmy Visiometrics [74] (obrázek 6.8). HD Analyzer pracuje na principu tzv. dvojitého průchodu (angl. double-pass technique). Přístroj promítne bodový zdroj na sítnici. Bodový zdroj je vytvořen infračervenými laserovými diodami o vlnové délce 780 nm. Světelný svazek je filtrován a kolimován čočkou L1. Po odrazu na zrcadle svazek prochází aperturní clonou AP1. Mezi čočkou L2 a L3 probíhá korigování refrakčního stavu oka. Svazek dále prochází jednotlivými tkáněmi oka až na sítnici. Odražené světlo prochází zpět okem na CCD kameru C2 (obraz pupily k centraci přístroje), přes čočku L3 a L2, aperturní clonou AP2 (otvor menší než pupila) a dopadá na CCD kameru C1. Schematicky je dvojitý průchod světla HD Analyzerem zobrazen na obrázku 6.7. [74]



Obrázek 6.7: Schéma dvojitého průchodu (angl. double-pass)

HD Analyzer analyzuje velikost a tvar odražené světelné skvrnky (bodu). Přístroj vyhodnotí obraz bodu PSF a následně se vypočte MTF. Tímto získáme tzv. OSI parametr (angl. Objective Scattering Index). Parametr OSI udává poměr mezi hodnotou intenzity světla v periferii a intenzitou světla v centru. Čím vyšší hodnota parametru OSI, tím je vyšší stupeň intraokulárního rozptylu. Hodnota OSI parametru u normálních očí mladého jedince je nižší než 0,5. Pro oči s počínající kataraktou se hodnota posouvá mezi 1,5 až 4, u zralé katarakty je vyšší než 4. Dostáváme komplexní informace o optické kvalitě zraku, včetně aberací vyššího řádu a rozptylu světla. Přístroj lze například využít na detekci a klasifikaci katarakty, po operačních zákrocích nebo lze zhodnotit kvalita slzného filmu. [74]



Obrázek 6.8: HD Analyzer [74]

Oslnění lze také měřit podle de Boerovy klasifikační stupnice, kde jedinec subjektivně vyhodnocuje míru oslnění. Stupnice obsahuje škálu hodnot od 1 do 9 a hodnotí se vizuální odezva (nesnesitelné, znepokojivé, přípustné, vyhovující, nepozorovatelné). [66]

6.3 Vztah intraokulárního rozptylu a oslnění

Fyziologické oslnění (angl. disability glare) snižuje zrakové vnímání vytvořením zářivého jasu (angl. veiling luminance) na sítnici. Oslnění je příčinou fyzikálního procesu, který má za následek zvýšení míry intraokulárního rozptylu. Oslnění se dá kvantifikovat měřením intraokulárního rozptylu. Měření oslnění a intraokulárního rozptylu je obzvláště významné pro řidiče, jedince s kataraktou a po refrakčních chirurgických zákrocích. Oslnění v počáteční fázi vývoje katarakty je často důvodem proč lidé přestávají řídit v noci. Během několika posledních let došlo k pokroku ve vývoji testů s oslněním. Většina měření jak zrakové ostrosti, tak i kontrastní citlivosti lze provádět za přítomnosti oslňujícího zdroje. Žádný z testů však není celosvětově uznávaným standardem. Test rozptylu světla (angl. stray light meter) umožňuje přímé měření intraokulárního rozptylu, místo měření účinku na zrakový vjem. Proto je považován za „zlatý standard“. V dnešní době se intraokulární rozptyl měří běžně dostupným přístrojem C-Quant. [17,18,42,74]

Citlivost na oslnění lze měřit prostřednictvím kontrastní citlivosti za mezopických podmínek pomocí Mesotestu, Nyktotestu a Nyktometru (viz kapitola 5.3.1). Tyto testy je vhodné použít při vyšetření řidičů. Testy jsou přizpůsobené pro simulaci silničního provozu. [17,18,25]

Mnoho autorů upřednostňuje měření citlivosti na oslnění pro zhodnocení zrakové schopnosti řidičů a pro stanovení katarakty, ale v současné době není toto zahrnuto ve směrnici Evropské unie. Možnost zařazení testů na oslnění nebo rozptyl světla je komplikované, protože neexistuje celosvětově uznávaná metoda nebo technika měření. [17,18,42,75]

7 Experimentální studie

V experimentální části bakalářské práce jsem se zabývala vlivem oslnění na vyšetření zrakové ostrosti a také vlivem oslnění na rozpoznání znaků při sníženém kontrastu. Vyšetření probíhalo na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Cílem bylo zjistit, zda při oslnění dojde k poklesu zrakové ostrosti a také zda při oslnění dojde k zhoršení rozpoznatelnosti znaků při sníženém kontrastu.

7.1 Metodika výzkumu

Vyšetření se zúčastnili jedinci věkových kategorií od 21 do 81 let. Pro záznam naměřených dat byl zhotoven protokol pro vyšetření, který je uveden v příloze A.

K měření byl využíván polarizovaný LCD optotyp CS Pola600 od firmy Essilor [76]. Na optotyp byly nainstalovány LED pásy, které sloužily jako oslňující zdroj. LED pásy byly umístěny vertikálně po stranách optotypu. Na obrázku 7.1 je zobrazen LCD optotyp CS Pola600 se zapnutým LED oslněním. Oslňující zdroj dosahoval hodnoty $\sim 17\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, která byla naměřena přímo u zdroje oslnění. Vyšetření probíhalo za fotopických podmínek na vzdálenost 6 m bez oslnění i s oslněním. Osvětlení v místnosti bylo cca 800 lx. Hodnota osvětlení se v místě vyšetření navýšila o 95 lx v důsledku oslnění. Měření osvětlení bylo prováděno pomocí luxmetru Velleman DVM 1300 [77] a hodnoty jasu byly získány nepřímým měřením pomocí luxmetru [78].

Vyšetření sloužilo ke zjištění zrakové ostrosti a k rozpoznání znaků při sníženém kontrastu bez oslnění a s oslněním. Pro každého probanda byly nastaveny stejné podmínky vyšetření. Metodika postupu vyšetření byla následující: anamnéza, objektivní refrakce, naturální vizus, sférocylická refrakce (bez oslnění), binokulární vyvážení, vyšetření binokulárních funkcí, test na pravé nekonečno, kontrola vizu s oslněním, rozpoznání znaků při snižování kontrastu s korekcí bez oslnění a poté s oslněním.

Systém CS Pola600 umožňuje snižovat kontrast na hodnoty 75 %, 50 %, 40 %, 30 %, 20 %, 10 %, 7,5 %, 5 %, 3 % a 1,5 %. Nejvyšší hodnota kontrastu je 100 % a nejnižší je 1,5 %. Při snížení kontrastu zároveň dochází k obměně písmen. Vyšetření v přítomnosti oslnění bylo prováděno na řádku s dosažením nejlepší hodnoty vizu. Během vyšetření bez oslňujícího zdroje byl jas optotypu nastaven na $246\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a s oslňujícím zdrojem byl jas optotypu snížen na $143\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obrázek 7.1: LCD optotyp CS Pola600

7.1.1 Průběh vyšetření

Nejprve byla podrobně zjištěna anamnéza, kde jsem se dotazovala i na to, zda klient pracuje na počítači a zda je aktivním řidičem. Následně bylo provedeno objektivní měření refrakčních vad na autorefraktometru Smart RK–11 od firmy Medizs [79]. Dále probíhalo subjektivní vyšetření na LCD optotypu CS Pola600. Zjistila jsem naturální vizus a poté přešla na sférocylindrickou refrakci, která byla prováděna bez přítomnosti oslňujícího zdroje. Zaznamenala jsem si binokulární vizus nejmenšího přečteného řádku, kterého klient dosáhl s korekcí. Akomodační vyvážení bylo provedeno pomocí třířádkového testu nebo Humphrisovy metody [80]. Pro ověření fúze jsem použila Worthova světla [81]. Dále jsem vyšetřila binokulární funkce zrakového systému pomocí Schoberova testu nebo K-testu. Byl proveden test na pravé nekonečno. Po těchto testech následovala kontrola dosaženého vizu s korekcí, přičemž došlo k snížení jasu optotypu, zapnutí oslňujícího zdroje a zároveň obměně písmen na obrazovce optotypu. Zaznamenala jsem si stav hodnoty vizu s oslněním. Navýšila jsem jas optotypu na původní hodnotu a došlo k vypnutí oslnění. Další zjišťovanou hodnotou byl nejnižší kontrast, který je uváděn v procentech. Postupně jsem snižovala hodnotu kontrastu a současně měnila písmena na nejmenším přečteném řádku. Nejprve bez oslnění a následně probíhalo totéž při sníženém jasu obrazovky a zapnutém oslnění. Poznamenala jsem si hodnotu

nejnižšího dosaženého kontrastu bez oslnění a poté s oslněním. Naměřená data byla potom využita k porovnání vlivu oslnění na zrakovou ostrost a vnímání kontrastu.

7.1.2 Statistická analýza

Vzhledem k tomu, že ve statistické analýze chceme porovnávat naměřená data bez oslnění a s oslněním a poté zkoumat jejich závislost na věku, musíme nejprve ověřit, zda je možné k analýze použít dvouvýběrový párový T-test [82]. K tomu nám poslouží histogram. Na základě vytvoření histogramu předpokládáme normální rozdělení.

Byly vytvořeny hypotézy H_{01} a H_{02} pro porovnání zrakové ostrosti a naměřené minimální hodnoty kontrastu pro rozpoznání znaků s oslněním a bez oslnění.

Nulová hypotéza H_{01} a alternativní hypotéza H_1 zkoumají vztah mezi zrakovou ostrostí bez oslnění a zrakovou ostrostí s oslněním na hladině významnosti $\alpha=0,05$ a $\alpha=0,01$.

H₀₁: Mezi střední hodnotou naměřené zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění není žádný signifikantní rozdíl.

H₁: Mezi střední hodnotou naměřené zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění je signifikantní rozdíl.

Nulová hypotéza H_{02} a alternativní hypotéza H_2 zkoumají rozpoznatelnost znaků při sníženém kontrastu s oslněním a bez oslnění na hladině významnosti $\alpha=0,05$ a $\alpha=0,01$.

H₀₂: Mezi střední hodnotou nejnižšího kontrastu pro rozpoznání znaků s oslněním a bez oslnění není žádný signifikantní rozdíl.

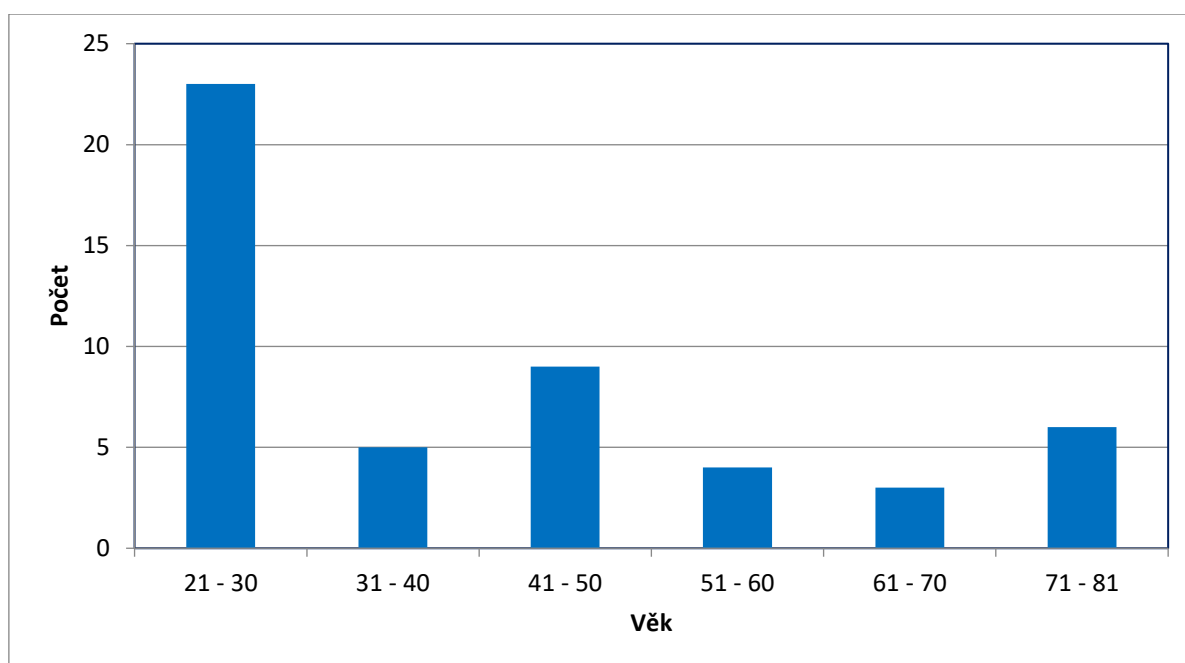
H₂: Mezi střední hodnotou nejvyššího kontrastu pro rozpoznání znaků s oslněním a bez oslnění je signifikantní rozdíl.

Dále chceme hodnotit zrakovou ostrost a rozpoznatelnost znaků při sníženém kontrastu s oslněním a bez oslnění v závislosti na věku. Pro toto hodnocení je 50 osob rozděleno do skupin dle věku a z hodnot v každé skupině je vypočítán průměr, který je hodnocen.

7.2 Výsledky

7.2.1 Analýza vzorku

Studie je založena na základě vyšetření 50 osob, 36 žen a 14 mužů ve věku od 21 do 81 let (průměr 40,5 roku, směrodatná odchylka 18,2 roku). Na obrázku 7.2 jsou vyšetřovaní klienti pro přehlednost o počtu zařazeni do věkových skupin. Ze sloupcového grafu, který je na obrázku 7.2 je viditelná převaha počtu osob ve věkové skupině od 21 do 30 let, ovšem snaha byla vyšetřit hodnoty zrakové ostrosti a kontrastu u všech věkových skupin za účelem zkoumání jejich vztahu k věku.



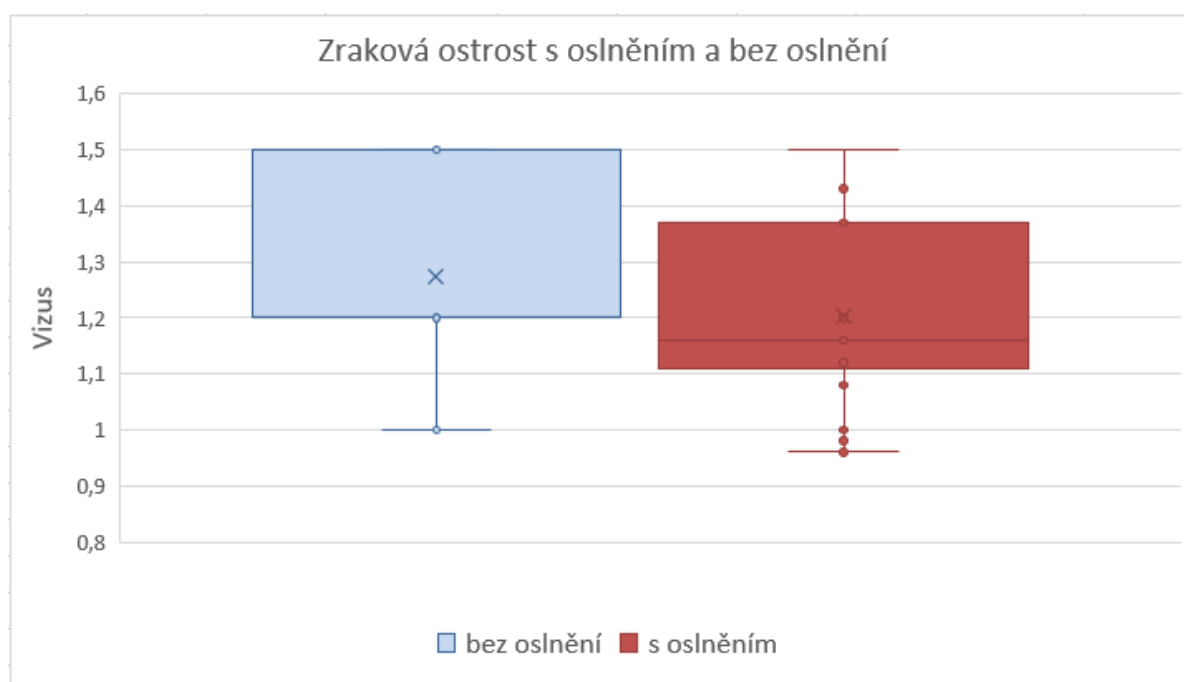
Obrázek 7.2: Graf rozložení věku ve vzorku

7.2.2 Porovnání zrakové ostrosti bez a s oslněním

Naměřené hodnoty zrakové ostrosti jsou porovnány na obrázku 7.3, kde jsou znázorněny data všech klientů bez ohledu na věk bez oslnění a s oslněním. Z grafu na obrázku 7.3 můžeme vyčíst, že oslnění má vliv na vyšetření zrakové ostrosti. Při vyšetření v přítomnosti oslňujícího zdroje nastal viditelný pokles hodnoty vizu oproti vyšetření bez oslnění.

Tohoto poklesu dosáhla studie [46], která také snižovala jas pozadí optotypu při oslňování.

Pro zjištění závislosti mezi hodnotou zrakové ostrosti bez a s oslněním je použit Pearsonův korelační koeficient [83], který dosahuje hodnot od -1 do +1. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu je $r = 0,96$, což potvrzuje téměř perfektní lineární závislost, tj. zraková ostrost při oslnění se snížila prakticky stejnou měrou u všech vyšetřovaných jedinců.



Obrázek 7.3: Porovnání zrakové ostrosti bez oslnění a s oslněním

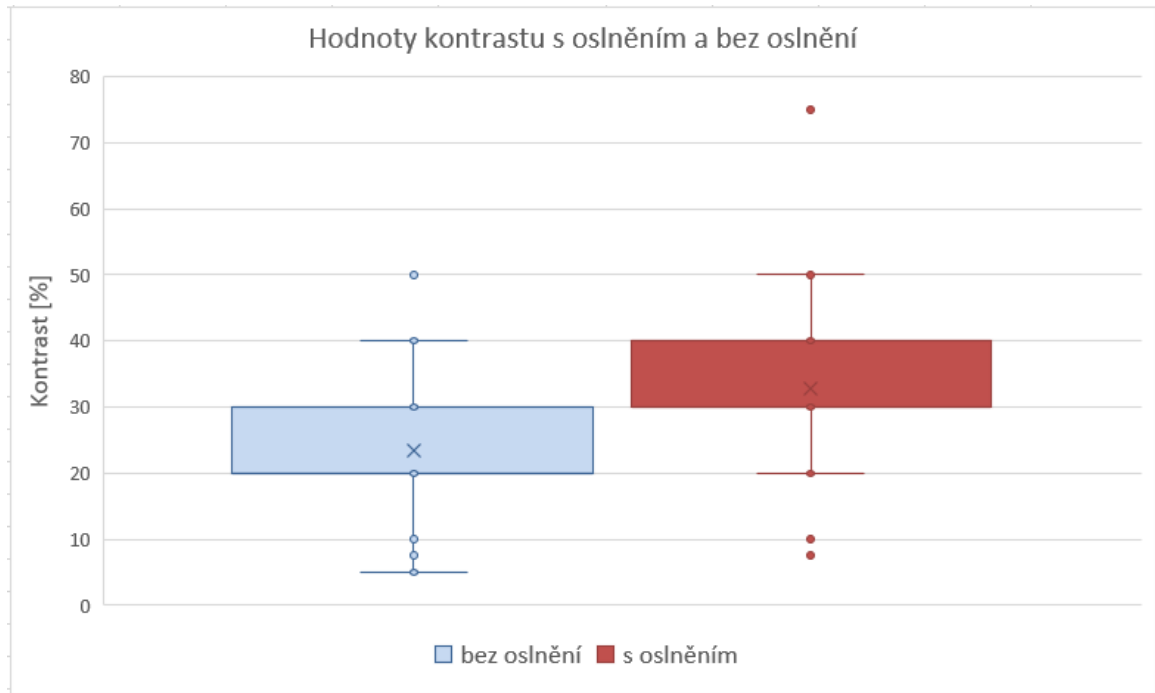
7.2.3 Porovnání hodnot kontrastu bez a s oslněním

Na obrázku 7.4 jsou porovnána data všech klientů bez ohledu na věk. Naměřené minimální hodnoty kontrastu testového řádku bez oslnění, které klient ještě rozpozná, jsou u každého klienta individuální. U téměř každého klienta se projevilo zhoršení vnímání kontrastu s oslněním, tj. vzrůstem minimální hodnoty kontrastu testového řádku, které klient ještě rozpozná. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu je $r = 0,88$, což stále potvrzuje silnou lineární závislost, tj. kontrast testového řádku, které klient ještě rozpozná při oslnění, se zvýšil prakticky obdobným způsobem u všech vyšetřovaných jedinců.

Z obrázku 7.4 je patrné, že jeden klient ve věku 22 let se vymyká ostatním výsledkům, což příkládám tomu, že daný klient užívá léky na štítnou žlázu a diabetes mellitus. Daný klient dosáhl bez oslnění minimální hodnoty kontrastu 40 % a s oslněním došlo k posunu, tedy zhoršení až na 75 %.

V přítomnosti oslňujícího zdroje nastalo zhoršení na 75 % hodnoty kontrastu u dalšího klienta, přičemž bez oslnění byla hodnota kontrastu 50 %. V tomto případě se jedná o klienta ve věku 73 let, u kterého je diagnostikován počínající stupeň katarakty. Klient uvedl, že užívá léky na deprese, což v kombinaci s počínajícím stupněm katarakty může vysvětlovat tyto neobvyklé změny.

Z výsledků ostatních klientů vidíme, že bez oslnění převažují hodnoty kontrastu mezi 20 až 30 %. Při oslnění nastane zhoršení, tudíž je nutná vyšší úroveň kontrastu potřebného k rozpoznání znaků. V přítomnosti oslňujícího zdroje převažují hodnoty kontrastu mezi 30 až 40 %.



Obrázek 7.4: Porovnání hodnoty kontrastu bez oslnění a s oslněním

7.2.4 Analýza naměřených dat vzhledem k věku klienta

S přibývajícím věkem se mění struktura očních medií, což se může projevit na zrakové ostrosti a na minimální hodnotě kontrastu potřebného k rozpoznání znaků.

Chtěla jsem taktéž zjistit, jaký je vztah mezi zrakovou ostrostí bez a s oslněním s ohledem na věk klienta.

Pro tuto analýzu vycházíme z průměrných hodnot naměřeného vizu v každé dané věkové skupině.

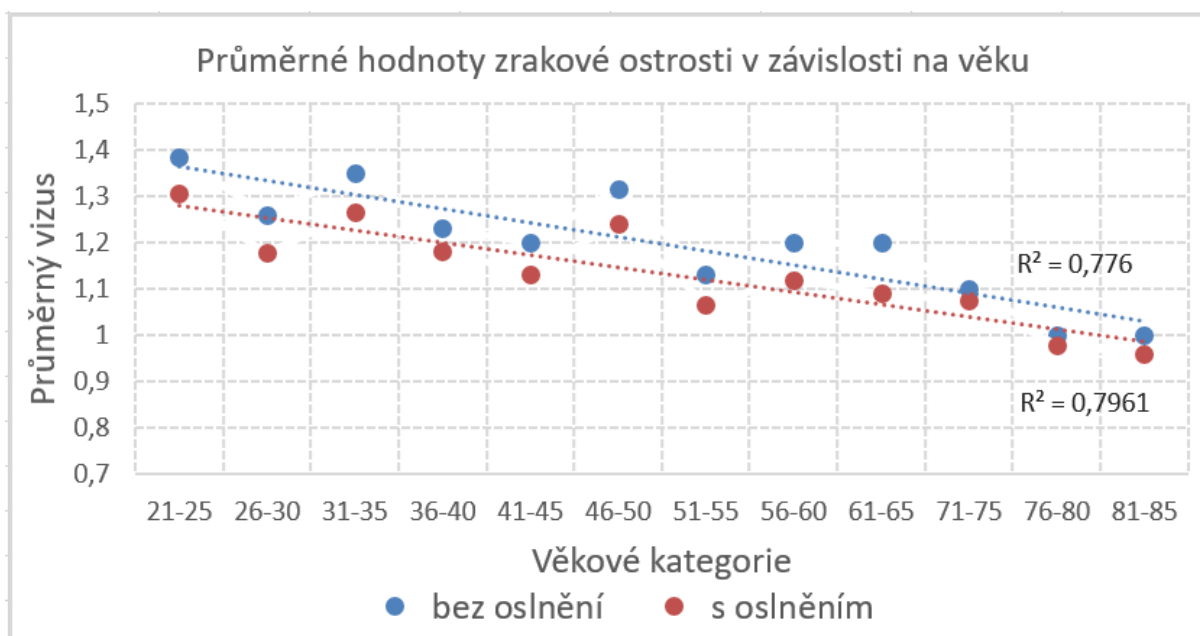
Tabulka 7.1: Přehled průměrných hodnot zrakové ostrosti bez a s oslněním dle věku

Věkové kategorie	Počet klientů	Průměrná hodnota naměřeného vizu bez oslnění	Průměrná hodnota naměřeného vizu s oslněním
21-25	18	1,38	1,31
26-30	5	1,26	1,18
31-35	2	1,35	1,27
36-40	3	1,23	1,18
41-45	3	1,20	1,13
46-50	6	1,32	1,24
51-55	3	1,13	1,06
56-60	1	1,2	1,12
61-65	3	1,2	1,09
71-75	4	1,1	1,06
76-80	1	1,0	0,98
81-85	1	1,0	0,96

Na základě průměrných hodnot zrakové ostrosti v každé věkové skupině byl sestaven graf, který je na obrázku 7.5. Z bodového grafu na obrázku 7.5 je patrný pokles zrakové ostrosti s přibývajícím věkem.

Při zkoumání závislosti mezi hodnotou zrakové ostrosti a věkem klienta je použit Pearsonův korelační koeficient. Záporné hodnoty koeficientu potvrzují nepřímou závislost dat, naopak kladné hodnoty koeficientu potvrzují přímou závislost dat. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu pro zjištění závislosti mezi průměrnou hodnotou vizu bez oslnění a věkem klienta je $r = -0,56$, což dokazuje fakt, že s přibývajícím věkem klesá hodnota zrakové ostrosti. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu pro zjištění závislosti mezi průměrnou hodnotou vizu s oslněním a věkem klienta je $r = -0,55$. Zjištěné hodnoty určitým způsobem ukazují na středně silnou lineární závislost mezi průměrnou hodnotou vizu a věkem klienta.

U spojnic trendu, které přísluší průměrným hodnotám zrakové ostrosti, jsou uvedeny hodnoty koeficientu spolehlivosti. Hodnota koeficientu spolehlivosti u průměrné hodnoty zrakové ostrosti bez oslnění je $R^2 = 0,776$ a u průměrné hodnoty zrakové ostrosti s oslněním je $R^2 = 0,7961$.



Obrázek 7.5: Průměrné hodnoty zrakové ostrosti bez a s oslněním v závislosti na věku

Dalším zjišťovaným vztahem jsou hodnoty kontrastu bez a s oslněním v závislosti na věku, přičemž opět vycházíme z průměrných hodnot naměřeného kontrastu v každé dané věkové skupině.

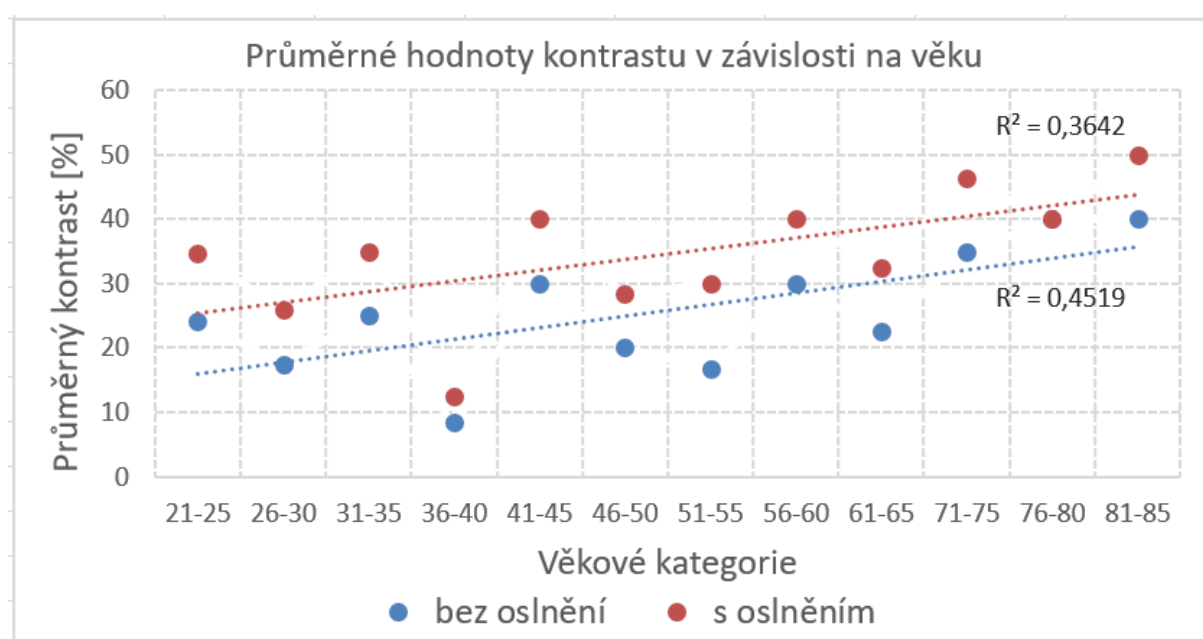
Tabulka 7.2: Přehled průměrných hodnot naměřeného kontrastu bez a s oslněním

Věkové kategorie	Počet klientů	Průměrná hodnota naměřeného kontrastu bez oslnění (%)	Průměrná hodnota naměřeného kontrastu s oslněním (%)
21-25	18	24,03	34,58
26-30	5	17,50	26,00
31-35	2	25,00	35,00
36-40	3	8,33	12,50
41-45	3	30,00	40,00
46-50	6	20,00	28,33
51-55	3	16,66	30,00
56-60	1	30,00	40,00
61-65	3	22,50	32,50
71-75	4	35,00	46,25
76-80	1	40,00	40,00
81-85	1	40,00	50,00

Na obrázku 7.5 je graf znázorňující průměrné hodnoty naměřeného kontrastu v každé věkové skupině. V tomto případě můžeme naopak pozorovat zhoršení, tedy s vyšším věkem je potřeba vyšší hladina kontrastu pro rozpoznání znaků na nejmenším čteném řádku.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu pro zjištění závislosti mezi věkem klienta a průměrnou hodnotou kontrastu bez oslnění je $r = 0,28$ a při oslnění je $r = 0,19$. V případě kladné korelace hodnoty, jak kontrastu, tak věku stoupají, ovšem hodnoty neprokazují příliš velkou závislost.

Hodnota koeficientu spolehlivosti u průměrné hodnoty kontrastu bez oslnění je $R^2 = 0,3642$ a u naměřeného kontrastu s oslněním je $R^2 = 0,4519$.



Obrázek 7.6: Průměrné hodnoty minimálního kontrastu pro rozpoznání znaků bez a s oslněním v závislosti na věku

7.2.5 Analýza hypotéz

Pro statistickou analýzu daných hypotéz byl použit dvouvýběrový párový T-test na střední hodnotu [82]. Hypotézy byly testovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ a také $\alpha = 0,01$. Hypotéza H_{01} zkoumá, zda oslnění má vliv na vyšetření zrakové ostrosti, či nikoliv. Hypotéza H_{02} zkoumá, zda oslnění má vliv na rozpoznání znaků při sníženém kontrastu, či nikoliv.

Do hypotézy H_{01} a H_{02} jsou zahrnuti všichni klienti bez ohledu na věk.

Hypotézu H_{01} („Mezi střední hodnotou naměřené zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění není žádný signifikantní rozdíl.“) zamítáme pro dosaženou hodnotu statistické významnosti u párového jednostranného t-testu $P(1) = 3,46 \cdot 10^{-14}$ na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,01$, tudíž přijímáme hypotézu H_1 („Mezi střední hodnotou naměřené zrakové ostrosti s oslněním a bez oslnění je signifikantní rozdíl.“). Dvouvýběrovým párovým T-testem na střední hodnotu bylo prokázáno, že mezi vyšetřením zrakové ostrosti bez oslnění a s oslněním je statisticky signifikantní rozdíl.

Hypotézu H_{02} („Mezi střední hodnotou nejnižšího kontrastu pro rozpoznání znaků s oslněním a bez oslnění není žádný signifikantní rozdíl.“) zamítáme pro dosaženou hodnotu statistické významnosti u párového jednostranného t-testu $P(1) = 2,19 \cdot 10^{-14}$ na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,01$, tudíž přijímáme hypotézu H_2 („Mezi střední hodnotou nejnižšího kontrastu pro rozpoznání znaků s oslněním a bez oslnění je signifikantní rozdíl.“). Dvouvýběrovým párovým T-testem na střední hodnotu bylo prokázáno, že mezi minimální hodnotou kontrastu potřebného k rozpoznání znaků na nejmenším čteném řádku bez oslnění a s oslněním je statisticky signifikantní rozdíl.

Tabulka 7.3: Přehled výsledků statistické analýzy hypotéz

Hypotéza	Hladina významnosti α	Dosažená hladina významnosti $P(1)$	Výsledek
H_{01}	0,05	$3,46 \cdot 10^{-14}$	H_{01} zamítáme, H_1 přijímáme
H_{01}	0,01	$3,46 \cdot 10^{-14}$	H_{01} zamítáme, H_1 přijímáme
H_{02}	0,05	$2,19 \cdot 10^{-14}$	H_{02} zamítáme, H_2 přijímáme
H_{02}	0,01	$2,19 \cdot 10^{-14}$	H_{02} zamítáme, H_2 přijímáme

8 Diskuze

Dle zadaných cílů práce byl na základě dvouvýběrového párového T-testu na hladině významnosti 5 % a 1 % potvrzen signifikantní vliv oslnění na vyšetření zrakové ostrosti, což znamená celkové zhoršení kvality vidění při oslnění zrakového systému.

Předchozí studie [46], která dodržovala stejné podmínky vyšetření prokázala také signifikantní vliv oslnění na vyšetření zrakové ostrosti u jedinců ve věku od 20 do 65 let. Signifikantního poklesu zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti v přítomnosti oslnujícího zdroje dosáhly i studie [47,48,49], které jsou zároveň zaměřeny na jedince s kataraktou.

V této práci se experimentálního měření zúčastnil klient s diagnostikovaným stupněm počínající katarakty, který se výrazně vymykal výsledkům ostatních měření, což vysvětlují výzkumy [47,48,49] zabývající se různými stádii a typy katarakty.

Na základě provedené statistické analýzy byl potvrzen signifikantní rozdíl při rozpoznávání znaků při sníženém kontrastu bez oslnění a s oslněním na hladině významnosti 5 % a 1 %.

Naměřená zraková ostrost byla zkoumána i s ohledem na věk klienta. Pro zjištění závislosti mezi hodnotou zrakové ostrosti a věkem klienta byl použit Pearsonův korelační koeficient, který nabýval záporných hodnot, což značí nepřímou závislost dat. Výsledek Pearsonova korelačního koeficientu potvrzuje, že s přibývajícím věkem klesá hodnota zrakové ostrosti.

Dalším pozorovaným parametrem byla minimální hodnota kontrastu bez a s oslněním v závislosti na věku klienta. Dle Pearsonova korelačního koeficientu byla prokázána malá lineární závislost dat, přičemž kladné hodnoty koeficientu znamenají, že s vyšším věkem je zapotřebí vyšší hodnota kontrastu pro rozpoznání znaků na daném řádku.

Pokud si tyto poznatky převedeme do běžného života, můžeme konstatovat, že oslnění negativně ovlivňuje náš zrak při nejrůznějších činnostech. [42,43]

Jak tyto poznatky využít v praxi v různých oborech? Možností se nabízí hned několik. Například automobilové společnosti při vývoji a konstrukci světlometů mohou využít poznatků z testování citlivosti na oslnění za účelem minimalizace oslnění protijedoucích automobilů. Další možné využití je v interiérovém designérství při navrhování vhodného rozmístění osvětlení v místnosti (kancelář, zubní ordinace). A v neposlední řadě při vývoji intraokulárních čoček a nových metod v refrakční chirurgii.

9 Závěr

V práci jsem se nejprve zabývala popisem světelných podmínek, fotometrických veličin souvisejících s oslněním, základy zrakového vnímání a adaptací zraku pro pochopení souvislosti problematiky oslnění.

Hlavním cílem práce bylo zaměřením se na oslnění zrakového systému. Při oslnění dochází k narušení činnosti zrakového systému, přičemž citlivost na oslnění narůstá s přibývajícím věkem. Rozlišuje se několik druhů oslnění z hlediska příčiny a světelné techniky. Každý druh oslnění způsobuje specifické obtíže zrakového systému. Z hlediska světelné techniky se posuzuje psychologické (angl. discomfort glare) a fyziologické (angl. disability glare) oslnění. Faktorem ovlivňující citlivost na oslnění bývá věk, míra intraokulárního rozptylu, onemocnění či patologické změny oka. Věkem dochází k změně propustnosti oční čočky a zkalení očních médií, což je prokazatelnou příčinou navyšujícího se intraokulárního rozptylu [21]. Míra intraokulárního rozptylu bývá ovlivněna očními chorobami a refrakčními chirurgickými zákroky, může se však projevit i u zdravého jedince. Osoby se zvýšeným rozptylem světla v oku mohou pociťovat zvýšenou citlivost na oslnění, mít sníženou schopnost rozpoznat kontrast a barvy, mít pocit zamlženého vidění.

V práci jsou popsány objektivní metody pro testování citlivosti na oslnění na základě vyšetření zrakové ostrosti, kontrastní citlivosti a rozptylu světla v oku. Subjektivně je možné hodnotit citlivost na oslnění například pomocí de Boerovy klasifikační stupnice [54].

V experimentální části jsem provedla experimentální studii vlivu podmínek oslnění na zrakovou ostrost a rozpoznání znaků optotypu při sníženém kontrastu. V rámci práce byla provedena statistická analýza experimentálně naměřených dat, která potvrdila statisticky významné změny zrakové ostrosti a minimálního kontrastu pro rozpoznání znaků optotypu při oslnění. Tyto výsledky korespondují velmi dobře s již dříve prováděnými mezinárodními studiemi vlivu oslnění na zrakové funkce [25,45-47,62,64,65].

Klienti byli oslněni, v důsledku čehož došlo k chybě přečtení maximálně třech znaků na stejném řádku vizu. Při snižování kontrastu jsem zjistila zhoršení v rozpoznání znaků o maximálně 35 % hodnoty kontrastu. Citlivost na oslnění je individuální a závisí i na míře intraokulárního rozptylu.

Za možný nedostatek v experimentální části práce považuji, že nebylo provedené vyšetření funkce kontrastní citlivosti [84] v přítomnosti oslňujícího zdroje, což bohužel nebylo možné z důvodu použitého optotypu, který neumožňuje vyšetřit funkci kontrastní citlivosti.

Kontrastní citlivost by prokázala větší rozdíly ve vyšetření s oslněním a bez oslnění, jak vyplývá z mnohých provedených vědeckovýzkumných studií v minulosti [45,46,50,60,61].

Seznam použité literatury

- [1] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (2): Zrak a vidění (1. část). *Světlo*. 2008, **2008**(5), 53-55.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. *Elektrické světlo 1*. Praha, 2011, 207 s. Skripta. ČVUT V Praze.
- [4] JELÍNEK, Miroslav a kol. *Biofotonika*. Praha: V Praze: ČVUT, 2015, 162 s. ISBN 978-80-01-05709-4.
- [5] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (3): Světelnotechnické veličiny (1. část). *Světlo*. 2009, **2009**(1), 40-43.
- [6] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: optika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2004. ISBN 80-7196-237-6.
- [7] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. *Optika*. Praha: SPN, 1961.
- [8] MIKŠ, Antonín. *Aplikovaná optika 10: geometrická a vlnová optika*. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02116-5.
- [9] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [10] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [11] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [12] ATCHISON, David A. a George SMITH. *Optics of the human eye*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 0-7506-3775-7.
- [13] BARBUR, J.L. a A. STOCKMAN. *Photopic, Mesopic and Scotopic Vision and Changes in Visual Performance*. 2010. London: Elsevier, 2010, 323-331.
- [14] Základy světelné techniky (2): Zrak a vidění (2. část - pokračování z č. 5/2008). *Světlo*. 2008, **2008**(6), 52-55.
- [15] HABEL, Jiří. Význam mezopického vidění pro praxi. *Světlo*. 2007, **2007**(6), 52-54.
- [16] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [17] *Trendy soudobé oftalmologie*. Praha: Galén, c2007. ISBN 978-80-7262-470-6.

- [18] ASLAM, Tariq M., David HAIDER a Ian J. MURRAY. Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 2007, **85**(4), 354-360. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x. ISSN 13953907. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x>
- [19] NADLER, M. Princeton, David MILLER a Daniel J. NADLER, ed. *Glare and Contrast Sensitivity for Clinicians*. In: . 1990. DOI: 10.1007/978-1-4612-3242-1. ISBN 978-1-4612-7931-0.
- [20] VAN DEN BERG, Thomas J.T.P., L.J. (RENÉ) VAN RIJN, R. KAPER-BONGERS, et al. Disability Glare in the Aging Eye. Assessment and Impact on Driving☆. *Journal of Optometry* [online]. 2009, **2**(3), 112-118 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.3921/joptom.2009.112. ISSN 18884296. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1888429609700330>
- [21] STEEN, Richard, David WHITAKER, David B. ELLIOTT a John M. WILD. Age-Related Effects of Glare on Luminance and Color Contrast Sensitivity. *Optometry and Vision Science*. 1994, **1994**(12), 792-796.
- [22] MONTÉS-MICÓ, Robert a W Neil CHARMAN. Mesopic Contrast Sensitivity Function After Excimer Laser Photorefractive Keratectomy. *Journal of Refractive Surgery*. 2002, **18**(1), 9-13.
- [23] DIEP, My a Pinakin Gunvant DAVEY. Glare and Ocular Diseases. RUMELT, Shimon, ed. *Causes and Coping with Visual Impairment and Blindness* [online]. InTech, 2018, 2018-09-19 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.5772/intechopen.74687. ISBN 978-1-78923-770-2. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/causes-and-coping-with-visual-impairment-and-blindness/glare-and-ocular-diseases>
- [24] RAJARAM, Vandana a Vasudevan LAKSHMINARAYANAN. A note on image degradation, disability glare, and binocular vision. *Journal of Modern Optics* [online]. 2013, **60**(14), 1187-1192 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1080/09500340.2013.826390. ISSN 0950-0340. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500340.2013.826390>
- [25] GLIMNE, Susanne. *Effects of glare on binocular vision and reading behaviour performing computer work*. Stockholm, 2015, 53 s. ISBN 978-91-7549-655-9. Disertace. Karolinska Institutet.

- [26] ADAMS, Anthony J., Brian BROWN, Gunilla HAEGERSTROM-PORTNOY, Merton C. FLOM a Reese T. JONES. Marijuana, Alcohol, and Combined Drug Effects on the Time Course of Glare Recovery. *Psychopharmacology*. Springer-Verlag, 1978, **1978**, 81-86.
- [27] SEKULER, ROBERT a RODGER D. MACARTHUR. Alcohol retards visual recovery from glare by hampering target acquisition. *Nature*. 1977, vol. 270, no. 5636, s. 428-429. ISSN 0028-0836.
- [28] *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. Editor William J. BENJAMIN. St. Louis, Mo.: Butterworth-Heinemann, c2006. ISBN 9780750675246.
- [29] BAT Brightness Acuity Tester. *Marco* [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://marco.com/products/additional-products/bat-brightness-acuity-tester/>
- [30] DIEP, My a Pinakin Gunvant DAVEY. Glare and Ocular Diseases. RUMELT, Shimon, ed. *Causes and Coping with Visual Impairment and Blindness* [online]. InTech, 2018, 2018-09-19, s. 58-82 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.5772/intechopen.74687. ISBN 978-1-78923-770-2. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/causes-and-coping-with-visual-impairment-and-blindness/glare-and-ocular-diseases>
- [31] Miller-Nadlerův tester. *SlideShare* [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/schizophrenicSabbir/contrast-sensitivity-clinical-assessment-of-intraocular-light-scatter-recovery-from-glare-macular-photo-stress-test>
- [32] Vistech MCT8000. *DOTmed* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.dotmed.com/listing/ophthalmology-general/vision-tester/mct8000/1278444>
- [33] Vistech VCTS 6000 and 6500 Contrast Sensitivity Tests. *University of Calgary (Governors of the University of Calgary)* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.ucalgary.ca/pip369/mod4/spatial/testingsensitivity>
- [34] Pelli-Robson Chart. *BiB Ophthalmic Instruments* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.bibonline.co.uk/products/mitron-contrast-sensitivity-chart-improved-pelli-robson>
- [35] HITCHCOCK, Edward M., Robert B. DICK a Edward F. KRIEG. Visual contrast sensitivity testing: A comparison of two F.A.C.T. test types. *Neurotoxicology and Teratology*. 2004, **26**(2), 271-277. DOI: 10.1016/j.ntt.2003.10.007. ISSN 08920362. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0892036203001430>

- [36] CSV-1000HGT. *VectorVision* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.vectorvision.com/csv1000-glare/>
- [37] Contrast Glaretester CGT-2000. *Takagi* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://takagi-j.com/ENG/product/instru/CGT-2000/product_EN_instru_CGT-2000.html
- [38] CGT-2000. *Takagi* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.takagieurope.com/diagnostic-specialist/cgt-2000-contrast-glaretester/>
- [39] Nyktometr. *OPTOtech Medical* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://www.optotech.com.pl/okulistyka/Nyktometr_kontrastometr_BA-4.htm
- [40] OCULUS Mesotest® II. *Oculus* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.oculus.de/cz/produkty/pristroje-testujici-zrak/mesotest-ii/vyznacne-vlastnosti/>
- [41] C-Quant. *Oculus* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://www.oculus.de/cz/produkty/pristroje-testujici-zrak/c-quant/vyznacne-vlastnosti/>
- [42] VAN RIJN, L. J. et al. Measurement of stray light and glare: comparison of Nyktotest, Mesotest, stray light meter, and computer implemented stray light meter. *The British Journal of Ophthalmology*. 2005, vol. 89, no. 3, s. 345-351. ISSN 0007-1161.
- [43] NOVÁK, Jiří. Intraokulární rozptyl světla: Důležité faktory pro kvalitu vidění. *TRENDY V OČNÍ OPTICE 2018*. S-Press Publishing, 2018, **2018**, 26-30. Dostupné také z: http://www.s-presspublishing.cz/archiv/201802_trendy.pdf
- [44] SEWALL, Ashley A. Stafford, Stephanie A. Whetsel BORZENDOWSKI, Richard A. TYRRELL, Benjamin R. STEPHENS a Patrick J. ROSOPA. Observers' Judgments of the Effects of Glare on Their Visual Acuity for High and Low Contrast Stimuli. *Perception* [online]. 2016, **45**(7), 755-767 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1177/0301006616633591. ISSN 0301-0066. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0301006616633591>
- [45] MAHJOOB, Monireh, Samira HEYDARIAN a Somayyeh KOOCHI. Effect of yellow filter on visual acuity and contrast sensitivity under glare condition among different age groups. *International Ophthalmology*. 2016, **36**(4), 509-514. DOI: 10.1007/s10792-015-0154-7. ISSN 0165-5701. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10792-015-0154-7>

- [46] STURGIS, Samuel P. a Deborah J. OSGOOD. Effects of Glare and Background Luminance on Visual Acuity and Contrast Sensitivity: Implications for Driver Night Vision Testing. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2016, **24**(3), 347-360. DOI: 10.1177/001872088202400310. ISSN 0018-7208. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001872088202400310>
- [47] SHANDIZ, Javad Heravian, Akbar DERAKHSHAN, Ameneh DANESHYAR, Abbas AZIMI, Hadi Ostadi MOGHADDAM, Abbas Ali YEKTA, Seyed Hosein Hoseini YAZDI a Habibollah ESMAILY. Effect of Cataract Type and Severity on Visual Acuity and Contrast Sensitivity. *J Ophthalmic Vis Res*. 2011, **6**(1), 26-31.
- [48] GHOLAMI, Sonia, Nicolaas J. REUS a Thomas J. T. P. VAN DEN BERG. Changes in Intraocular Straylight and Visual Acuity with Age in Cataracts of Different Morphologies. *Journal of Ophthalmology*. 2017, **2017**, 1-12. DOI: 10.1155/2017/5649532. ISSN 2090-004X. Dostupné také z: <https://www.hindawi.com/journals/joph/2017/5649532/>
- [49] SIDOROVA, Jelena, Rasa ČIUMBARAITĖ, Džastina ČEBATORIENĖ, Mantas BANEVIČIUS a Rasa LIUTKEVIČIENĖ. Functional acuity contrast sensitivity assessment in young and middle age healthy persons at the day time with and without glare. *Acta medica Lituanica*. 2014, **21**(1). DOI: 10.6001/actamedica.v21i1.2885. ISSN 2029-4174. Dostupné také z: <http://maleidykla.lt/ojs/index.php/actamedicalituanica/article/view/2885>
- [50] HARRISON, Joseph M., J. Terry YATES, Charles BALLENTINE a Raymond A. APPLGATE. Contrast sensitivity and disability glare in the middle years. *Journal of the Optical Society of America A* [online]. 1993, **10**(8), 1849-1855 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1364/JOSAA.10.001849. ISSN 1084-7529. Dostupné z: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=josaa-10-8-1849>
- [51] JOHNSON, Mary A. a David CHOY. On the definition of age-related norms for visual function testing. *Applied Optics* [online]. 1987, **26**(8), 1449-1454 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1364/AO.26.001449. ISSN 0003-6935. Dostupné z: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=ao-26-8-1449>
- [52] MORRISON, J. D. a C. MCGRATH. ASSESSMENT OF THE OPTICAL CONTRIBUTIONS TO THE AGE-RELATED DETERIORATION IN VISION. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*[online]. 1985, **70**(2), 249-269 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1113/expphysiol.1985.sp002907. ISSN 01448757. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1113/expphysiol.1985.sp002907>

- [53] ELLIOTT, D. Contrast sensitivity decline with ageing: A neural or optical phenomenon?. *Ophthalmic and Physiological Optics* [online]. 1987, **7**(4), 415-419 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1016/0275-5408(87)90065-2. ISSN 02755408. Dostupné z: [http://doi.wiley.com/10.1016/0275-5408\(87\)90065-2](http://doi.wiley.com/10.1016/0275-5408(87)90065-2)
- [54] FINLAY, David a Jenny WILKINSON. The Effects of Glare on the Contrast Sensitivity Function. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* [online]. 2016, **26**(3), 283-287 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1177/001872088402600304. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001872088402600304>
- [55] VERRIEST, G. a A. UVIJLS. Disability glare in normal and diseased eyes. *Clinical Vision Science*. 1989, **1989**(4), 253-256.
- [56] YAGER, D., T. HAGE, R. YUAN, S. MATHEWS a M. KATZ. The relations between contrast threshold, lens back scatter, and disability glare. *Noninvasive Assessment of the Visual System*. OSA Technical Digest Series, 1990, **1990**(3), 168-171.
- [57] OWSLEY, C., K. KNOBLAUCH a C. KATHOLI. When does visual aging begin?. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. Suppl.* 1992, **1992**(33), 1414.
- [58] STURGIS, Samuel P. a Deborah J. OSGOOD. Effects of Glare and Background Luminance on Visual Acuity and Contrast Sensitivity: Implications for Driver Night Vision Testing. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* [online]. 2016, **24**(3), 347-360 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1177/001872088202400310. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001872088202400310>
- [59] SIDOROVA, Jelena, Rasa ČIUMBARAITĖ, Džastina ČEBATORIENĖ, Mantas BANEVIČIUS a Rasa LIUTKEVIČIENĖ. Functional acuity contrast sensitivity assessment in young and middle age healthy persons at the day time with and without glare. *Acta medica Lituanica*. 2014, **21**(1). DOI: 10.6001/actamedica.v21i1.2885. ISSN 2029-4174. Dostupné také z: <http://maleidykla.lt/ojs/index.php/actamedicalituanica/article/view/2885>
- [60] MANIGLIA, Marcello, Steven M. THURMAN, Aaron R. SEITZ a Pinakin G. DAVEY. Effect of Varying Levels of Glare on Contrast Sensitivity Measurements of Young Healthy Individuals Under Photopic and Mesopic Vision. *Frontiers in Psychology*. 2018, **9**. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00899. ISSN 1664-1078. Dostupné také z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.00899/full>

- [61] BÜHREN, JENS, EVDOXIA TERZI, MICHAEL BACH, WOLFGANG WESEMANN a THOMAS KOHNEN. Measuring Contrast Sensitivity Under Different Lighting Conditions: Comparison of Three Tests. *Optometry and Vision Science*. 2006, **83**(5), 290-298. DOI: 10.1097/01.opx.0000216100.93302.2d. ISSN 1040-5488. Dostupné také z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-200605000-00008>
- [62] RAJARAM, Vandana a Vasudevan LAKSHMINARAYANAN. A note on image degradation, disability glare, and binocular vision. *Journal of Modern Optics* [online]. 2013, **60**(14), 1187-1192 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1080/09500340.2013.826390. ISSN 0950-0340. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500340.2013.826390>
- [63] SIMONSON, Ernst. Adaptation to Glare*. *American Journal of Ophthalmology* [online]. 1958, **46**(3), 353-355 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1016/0002-9394(58)90261-7. ISSN 00029394. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0002939458902617>
- [64] WINTER, J, S FOTIOS a S VÖLKER. The effects of glare and inhomogeneous visual fields on contrast detection in the context of driving. *Lighting Research & Technology* [online]. 2016, **50**(4), 537-551 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1177/1477153516672719. ISSN 1477-1535. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153516672719>
- [65] BULLOUGH, J.D. Spectral sensitivity for extrafoveal discomfort glare. *Journal of Modern Optics* [online]. 2009, **56**(13), 1518-1522 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1080/09500340903045710. ISSN 0950-0340. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500340903045710>
- [66] LONGLEY, Christopher I. *Contrast sensitivity and glare: new measurement techniques and the visual consequences of wearing head-mounted displays*. The University of Bradford, 2016, 305 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10454/16061>. Disertace. The University of Bradford. Vedoucí práce Whitaker, David J.
- [67] VAN DEN BERG, Tom. *Introduction to retinal straylight*. Netherlands Institute for Neuroscience (NIN).
- [68] PIÑERO, David P., Dolores ORTIZ a Jorge L. ALIO. Ocular Scattering. *Optometry and Vision Science* [online]. 2010, **87**(9), E682-E696 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181e87da6. ISSN 1040-5488. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-201009000-00010>

- [69] VAN DEN BERG, Thomas J. T. P. Intraocular light scatter, reflections, fluorescence and absorption: what we see in the slit lamp. *Ophthalmic and Physiological Optics* [online]. 2018, **38**(1), 6-25 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1111/opo.12426. ISSN 02755408. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/opo.12426>
- [70] MICHAEL, Ralph, Laurentius J. VAN RIJN, Thomas J. T. P. VAN DEN BERG, et al. Association of lens opacities, intraocular straylight, contrast sensitivity and visual acuity in European drivers. *Acta Ophthalmologica* [online]. 2009, **87**(6), 666-671 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2008.01326.x. ISSN 1755375X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1755-3768.2008.01326.x>
- [71] MONTENEGRO MARTÍNEZ, Gustavo A. *Intraocular straylight measurement as a new parameter in visual quality assessment*. Universitat Autònoma de Barcelona, 2015, 121 s. ISBN 9788449061532. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10803/382640>. Disertace. Universitat Autònoma de Barcelona.
- [72] VAN DEN BERG, Thomas J. T. P. The (lack of) relation between straylight and visual acuity. Two domains of the point-spread-function. *Ophthalmic and Physiological Optics* [online]. 2017, **37**(3), 333-341 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1111/opo.12368. ISSN 02755408. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/opo.12368>
- [73] C-Quant-Technical data. *Oculus* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.oculus.de/en/products/visual-test-equipment/c-quant/technical-data/>
- [74] HD Analyzer. *Visiometrics* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.visiometrics.com/hd-analyzer>
- [75] VAN DEN BERG, Thomas JTP. Measurement of straylight for glare assessment and driving. *Scandinavian Journal of Optometry and Visual Science* [online]. 2017, **10**(1), 1-6 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.5384/sjovs.vol10i1p1-6. ISSN 1891-0890. Dostupné z: <http://sjovs.org/index.php/SJOVS/article/view/93>
- [76] CS Pola 600. *Essilor Instruments* [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.essilor-instruments.com/en/refraction-prescription-2/product-cs-pola-600/>
- [77] Velleman DVM 1300. *Velleman* [online]. USA: Velleman, 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.vellemanusa.com/products/view/?country=us&lang=enu&id=351244>
- [78] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (4): Základy fotometrie (1. část). *Světlo*. 2009, (3), 44-48.

- [79] Smart RK 11 - Autorefraktor/Kerato. *Medizs* [online]. Korea [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://medizs.com/index.php?route=product/product&product_id=55
- [80] GROSVENOR, Theodore P. *Primary care optometry*. 5th ed. St. Louis, Mo.: Butterworth-Heinemann/Elsevier, c2007. ISBN 978-075-0675-758.
- [81] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-701-3301-5.
- [82] HILL, Thomas a Paweł LEWICKI. *Statistics: methods and applications : a comprehensive reference for science, industry, and data mining*. Tulsa, OK: StatSoft, c2006. ISBN 18-842-3359-7.
- [83] BENESTY, Jacob, Jingdong CHEN, Yiteng HUANG a Israel COHEN. Pearson Correlation Coefficient. *Noise Reduction in Speech Processing*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, 2009-3-5, , 1-4. Springer Topics in Signal Processing. DOI: 10.1007/978-3-642-00296-0_5. ISBN 978-3-642-00295-3. Dostupné také z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-00296-0_5
- [84] PACKER, Mark, I. Howard FINE a Richard S. HOFFMAN. Functional Vision, Contrast Sensitivity, and Optical Aberrations. *International Ophthalmology Clinics*. 2003, 43(2), 1-3. DOI: 10.1097/00004397-200343020-00003. ISSN 0020-8167. Dostupné také z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00004397-200343020-00003>

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
Φ	lm	Světelný tok
Φ_e	W	Zářivý tok
λ	nm	Vlnová délka
$K(\lambda)$	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$	Světelná účinnost monochromatického záření
K_m	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$	Maximální světelná účinnost
$V(\lambda)$	-	Poměrná světelná účinnost
I	cd	Svítivost
L	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Jas
E	lx	Osvětlení
r	-	Pearsonův korelační koeficient
R^2	-	Koeficient spolehlivosti
α	%	Hladina významnosti
$P(I)$	-	P hodnota

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
BAT	Brightness Acuity Tester
UGR	Index oslnění
CS	Kontrastní citlivost
PSF	Rozptylová funkce bodu
MTF	Funkce přenosu kontrastu
ESD	Parametr spolehlivosti
OSI	Index objektivního rozptylu
dpt	Dioptrie

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Průběh absolutních hodnot světelné účinnosti záření normálního fotometrického pozorovatele pro vidění fotopické, mezopické a skotopické [3].....	13
Obrázek 2.2: Svítivost bodového zdroje C [7].....	13
Obrázek 2.3: Definice jasu [7].....	14
Obrázek 3.1: Kumulativní spektrální propustnost jednotlivých optických vrstev oka.....	17
Obrázek 3.2: Spektrální citlivost fotoreceptorů při fotopickém $V(\lambda)$ a skotopickém vidění $V'\lambda$ [13].	19
Obrázek 3.3: Poměrná spektrální citlivost na záření různých vlnových délek pro různé adaptační jasy [3].....	21
Obrázek 5.1: Závislost sledovaných parametrů na oslnění u vybraného vzorku lidí [21].....	26
Obrázek 5.2: Přístroj BAT od firmy Marco [29].....	28
Obrázek 5.3: Miller-Nadlerův tester [31].....	29
Obrázek 5.4: Vlevo přístroj Vistech MCT8000 [32], vpravo Vistech tabule kontrastní citlivosti [33]	30
Obrázek 5.5: Pelliho-Robsonova tabule [34].....	30
Obrázek 5.6: Zařízení CSV-1000HGT vlevo [36] a zařízení FACT vpravo [35].....	31
Obrázek 5.7: Přístroj CGT-2000 od firmy Takagi [38].....	31
Obrázek 5.8: Nyktometr vlevo a Mesotest firmy Oculus vpravo [39,40].....	32
Obrázek 5.9: Odhadovaná a reálná intenzita oslnění v porovnání s velikostí podnětu a kontrastem podnětu [44].....	34
Obrázek 5.10: Porovnání zraková ostrost s oslněním a bez oslnění před a po operaci katarakty [49]..	35
Obrázek 5.11: Kontrastní citlivost dle věkové skupiny s oslněním a bez oslnění na prostorové frekvenci 12 cyklů/stupeň [50].....	36
Obrázek 5.12: Funkce kontrastní citlivosti za mezopických podmínek [60].....	38
Obrázek 5.13: Porovnání kontrastní citlivosti za fotopických (vlevo) a mezopických (vpravo) podmínek [61].....	39
Obrázek 5.14: Monokulární zorné pole pravého oka při reakci na různě světelně barevné podněty [3].....	41
Obrázek 5.15: Porovnání detekovaného kontrastu v závislosti na pozici vnějšího zdroje záření s oslněním a bez oslnění [64].....	42
Obrázek 5.16: Hodnocení oslnění dle de Boerovy klasifikační stupnice v závislosti na různém osvětlení [65].....	43
Obrázek 6.1: Intraokulární rozptyl na jednotlivých strukturách oka normálního zdravého jedince.....	44
Obrázek 6.2: Znázornění vlivu intraokulárního rozptylu a aberací na normální oko.....	46
Obrázek 6.3: Schéma PSF [43].....	47
Obrázek 6.4: Průběh vyšetření při zapnutém periferním stimulu.....	48
Obrázek 6.5: Průběh vyšetření při vypnutém periferním stimulu.....	48
Obrázek 6.6: C-Quant přístroj firmy Oculus [73].....	49
Obrázek 6.7: Schéma dvojitého průchodu (angl. double-pass).....	50
Obrázek 6.8: HD Analyzer [74].....	50
Obrázek 7.1: LCD optotyp CS Pola600.....	53
Obrázek 7.2: Graf rozložení věku ve vzorku.....	55
Obrázek 7.3: Porovnání zrakové ostrosti bez oslnění a s oslněním.....	56
Obrázek 7.4: Porovnání hodnoty kontrastu bez oslnění a s oslněním.....	58
Obrázek 7.5: Průměrné hodnoty zrakové ostrosti bez a s oslněním v závislosti na věku.....	60
Obrázek 7.6: Průměrné hodnoty minimálního kontrastu pro rozpoznání znaků bez a s oslněním v závislosti na věku.....	61

Seznam tabulek

Tabulka 7.1: Přehled průměrných hodnot zrakové ostrosti bez a s oslněním dle věku.....	59
Tabulka 7.2: Přehled průměrných hodnot naměřeného kontrastu bez a s oslněním	60
Tabulka 7.3: Přehled výsledků statistické analýzy hypotéz	62

Příloha A: Protokol o vyšetření korekce

Příjmení:	Jméno:	Ročník:
Důvod návštěvy:		
Oční anamnéza:		
Celková anamnéza:		
Rodinná anamnéza:		
Pracovní anamnéza:	Léky:	
Řidič: ANO / NE	PC: ANO / NE	

Objektivní refrakce				PD
OP	sf	cyl	osa	
OL	sf	cyl	osa	

Naturální vizus - dálka	OP:	OL:	bino:
--------------------------------	------------	------------	--------------

Sférocylindrická refrakce				Vis mono	Vis bino
OP	sf	cyl	osa		
OL	sf	cyl	osa		

Akomodační vyvážení – bino				Vis mono	Vis bino
OP	sf	cyl	osa		
OL	sf	cyl	osa		

Bino vyšetření HTF				Vis mono	Vis bino	PRIZMA	BÁZE
OP	sf	cyl	osa				
OL	sf	cyl	osa				

Test na pravé nekonečno				Vis mono	Vis bino
OP	sf	cyl	osa		
OL	sf	cyl	osa		

Kontrola visu s oslněním				Vis mono	Vis bino
OP	sf	cyl	osa		
OL	sf	cyl	osa		

Kontrast BEZ oslnění (%):
Kontrast S oslněním (%):

Příloha B: Naměřená data

Počet	Věk	Pohlaví		Subjektivní refrakce			Vizus bez oslnění	VA _{int} s oslněním	Kontrast bez oslnění (%)	Kontrast s oslněním (%)
				sféra (dpt)	cylindr (dpt)	osa (°)				
1	26	Ž	OP	-0,75	-0,50	110	1,2	1,16	20	30
			OL	-0,50	-0,50	65				
2	31	Ž	OP	±0,00	-	-	1,5	1,37	30	40
			OL	±0,00	-	-				
3	25	Ž	OP	+0,25	-1,00	165	1,5	1,37	20	30
			OL	±0,00	-0,50	20				
4	25	Ž	OP	-0,25	-	-	1,5	1,43	20	20
			OL	-0,25	-0,25	30				
5	25	M	OP	+0,50	-0,50	155	1,5	1,43	30	40
			OL	+0,50	-0,50	30				
6	53	M	OP	+1,75	-	-	1,2	1,12	10	20
			OL	+1,00	-	-				
7	28	Ž	OP	-5,50	-1,25	180	1,2	1,12	7,50	10
			OL	-9,25	-1,50	175				
8	45	Ž	OP	-0,75	-0,25	170	1,2	1,12	40	50
			OL	-0,75	-1,00	10				
9	31	Ž	OP	-2,25	-0,50	138	1,2	1,16	20	30
			OL	-2,25	-0,25	73				
10	49	Ž	OP	-0,25	-	-	1,0	0,98	30	30
			OL	±0,00	-0,75	180				
11	21	M	OP	-3,00	-0,50	150	1,5	1,43	20	30
			OL	-2,25	-0,50	30				
12	23	Ž	OP	-2,25	-	-	1,2	1,2	30	30
			OL	-2,25	-	-				
13	40	Ž	OP	-0,50	-	-	1,0	1,0	5	7,5
			OL	-0,50	-	-				
14	65	Ž	OP	+1,50	-0,75	73	1,2	1,0	20	30
			OL	+1,50	-0,50	100				
15	22	Ž	OP	-0,50	-	-	1,5	1,37	20	50
			OL	-0,50	-	-				
16	23	Ž	OP	-1,25	-0,25	30	1,5	1,43	20	40
			OL	-1,50	-	-				
17	23	M	OP	+0,25	-0,25	150	1,5	1,43	30	40
			OL	+0,25	-0,25	5				
18	30	Ž	OP	±0,00	-0,25	85	1,2	1,08	30	40
			OL	±0,00	-0,50	105				
19	63	M	OP	+1,50	-0,50	93	1,2	1,12	20	30
			OL	+1,25	-0,50	90				
20	64	Ž	OP	+1,25	-	-	1,2	1,12	20	30
			OL	+1,25	-0,25	5				
21	72	M	OP	+2,50	-0,50	100	1,2	1,16	30	30
			OL	+1,75	-0,75	90				
22	27	Ž	OP	-3,50	-	-	1,2	1,16	20	30
			OL	-3,25	-	-				
23	81	Ž	OP	+3,50	-0,25	80	1,0	0,96	40	50
			OL	+3,75	-	-				
24	22	Ž	OP	-0,25	-	-	1,5	1,5	30	40
			OL	-0,25	-	-				

25	25	Ž	OP	-0,25	-	-	1,2	1,0	40	75
			OL	-0,25	-	-				
26	25	Ž	OP	-0,75	-	-	1,2	1,2	5	7,5
			OL	-0,75	-	-				
27	24	M	OP	-2,00	-0,25	175	1,5	1,37	20	30
			OL	-2,00	-	-				
28	23	Ž	OP	-4,50	-0,25	65	1,5	1,37	40	50
			OL	-4,00	-	-				
29	22	M	OP	-3,00	-0,50	150	1,5	1,43	20	30
			OL	-2,25	-0,50	30				
30	40	Ž	OP	±0,00	-	-	1,5	1,43	10	10
			OL	-0,25	-	-				
31	49	Ž	OP	-0,50	-0,50	105	1,5	1,43	20	30
			OL	-0,50	-0,25	105				
32	25	Ž	OP	-4,00	-0,75	180	1,2	1,08	40	50
			OL	-4,25	-0,75	180				
33	25	Ž	OP	-0,50	-0,50	145	1,2	1,12	20	30
			OL	-0,50	-0,50	100				
34	47	Ž	OP	±0,00	-	-	1,2	1,12	10	20
			OL	±0,00	-	-				
35	60	Ž	OP	+0,25	-	-	1,2	1,12	30	40
			OL	±0,00	-	-				
36	23	M	OP	-0,50	-	-	1,2	1,16	7,5	10
			OL	-0,75	-0,25	65				
37	76	M	OP	+0,50	-0,25	110	1,0	0,98	40	40
			OL	+0,50	-	-				
38	42	Ž	OP	-0,75	-	-	1,2	1,2	20	30
			OL	-1,00	-	-				
39	24	Ž	OP	-2,50	-0,25	100	1,2	1,2	20	20
			OL	-2,75	-0,75	5				
40	73	Ž	OP	+2,25	-	-	1,2	1,2	50	75
			OL	+2,00	-	-				
41	50	M	OP	-0,75	-1,00	160	1,5	1,43	20	30
			OL	-1,00	-	-				
42	73	M	OP	+1,50	-0,25	120	1,0	0,98	30	40
			OL	+1,25	-	-				
43	53	Ž	OP	-1,00	-1,25	90	1,0	0,96	20	40
			OL	-1,25	-0,75	102				
44	51	Ž	OP	+0,75	-	-	1,2	1,12	20	30
			OL	+0,75	-	-				
45	28	Ž	OP	-1,50	-	-	1,5	1,37	10	20
			OL	-1,50	-	-				
46	41	M	OP	-1,50	-	-	1,2	1,08	30	40
			OL	-0,50	-	-				
47	74	Ž	OP	+2,75	-0,50	65	1,0	0,96	30	40
			OL	+2,25	-0,50	120				
48	38	M	OP	-1,50	-0,50	90	1,2	1,12	10	20
			OL	-2,00	-0,50	90				
49	49	Ž	OP	±0,00	-0,25	140	1,2	1,12	20	30
			OL	±0,00	-	-				
50	50	Ž	OP	-0,25	-1,00	10	1,5	1,37	20	30
			OL	-0,25	-1,00	170				