

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2023**

**ADÉLA  
KOLBABOVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů**

**Kontrastní citlivost za snížené sférocyklindrické korekce**

**Contrast sensitivity with reduced spherocylindrical correction**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Adéla Kolbabová**

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

---

**Kladno 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kolbabová** Jméno: **Adéla** Osobní číslo: **499981**  
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:

**Kontrastní citlivost za snížené sférocylindrické korekce**

Název bakalářské práce anglicky:

**Contrast sensitivity with reduced spherocylindrical correction**

Pokyny pro vypracování:

Studentka formou rešerše zpracuje problematiku kontrastní citlivosti. Na základě dostupné literatury popíše jednotlivé faktory, které mají vliv na její snížení. Dohledá způsoby, jak kontrastní citlivost lze měřit a stručně popíše nejdůležitější testy jako podklad pro praktickou část práce. V praktické části provede výběr skupiny respondentů bez obtíží, které by mohly znehodnotit výsledky měření, u vybrané skupiny provede měření kontrastní citlivosti s plnou korekcí a následně se sníženou korekcí. Bude porovnávat, jaký má vliv snížená sférocylindrická korekce na vnímání kontrastní citlivosti. Na základě měření vybraných respondentů posoudí vliv snížené sférocylindrické korekce na vnímání kontrastní citlivosti.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [2] ELLIOTT, D., Clinical Procedures in Primary Eye Care, ed. 5th, Philadelphia: Elsevier, 2020, ISBN 9780702077890
- [3] VENTRUBA, J., Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení, Česká oční optika, ročník 49, číslo 1, 2008, s. 70-71

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Mgr. Jana Urzová, Ph.D.**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

doc. Ing. Petr Kudrna, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
děkan

## **Název bakalářské práce:** Kontrastní citlivost za snížené sférocyklindrické korekce

### **Abstrakt:**

Práce je zaměřena na popsání základní problematiky kontrastní citlivosti. Věnuje se vysvětlením průběhu světelného vzruchu v anatomické části oka, faktorům ovlivňující snížení kontrastní citlivosti a testovacím možnostem při měření kontrastní citlivosti. Praktická část se zabývá porovnáním kontrastní citlivosti za plné sférocyklindrické korekce a za snížené korekce. Nejprve je měřená kontrastní citlivost s plnou korekcí dané refrakční vady a pak se zraková ostrost zhorší na vidění, které je průchozí pro získání řidičského průkazu u neprofesionálních řidičů. V závěru práce jsou porovnávány průměrné naměřené hodnoty všech 30 subjektů, kde byla zjišťována i podobnost průměrných výsledků mezi jednotlivými refrakčními vadami. Ve výsledku nejhůře snášející prostorová frekvence je ta nejvyšší, která v reálném životě zobrazuje menší detaily objektů.

### **Klíčová slova:**

Kontrastní citlivost, prostorová frekvence, vízus, sinusové pruh

**Bachelor's Thesis title:** Contrast sensitivity with reduced spherocylindrical correction

**Abstract:**

The work is aimed at describing the basic issues of contrast sensitivity. It is devoted to the explanation of the process of light excitation in the anatomical part of the eye, factors influencing the reduction of contrast sensitivity and test possibilities in the measurement of contrast sensitivity. The practical part deals with the comparison of contrast sensitivity under full spherocylindrical correction and under reduced correction. First, contrast sensitivity is measured with full correction of a given refractive error and then visual acuity is reduced to a vision that is passable for obtaining a driver's license for non-professional drivers. The paper concludes with a comparison of the mean measurements of all 30 subjects, where the similarity of mean results between refractive errors was also investigated. In the result, the worst spatial frequency is the highest one, which shows smaller details of objects in real life.

**Key words:**

Contrast sensitivity, space frequency, visus, sine-wave gratings

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Mgr. Janě Urzové, Ph.D. za cenné rady, připomínky a poznámky, které mi poskytla při zpracování této práce.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Kontrastní citlivost za snížené sférocyklindrické korekce“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne .....

.....

Podpis

## Obsah

Úvod.....	1
1 Zrakové ústrojí.....	3
1.1 Oční koule .....	3
1.2 Zraková dráha.....	3
1.2.1 Sítnice .....	4
2 Fotometrické veličiny .....	8
2.1 Světelný tok.....	8
2.2 Svítivost.....	8
2.3 Jas .....	8
2.4 Osvětlení.....	9
3 Kontrastní citlivost.....	10
3.1 Kontrast .....	10
3.1.1 Simultánní kontrast .....	11
3.1.2 Sukcesivní kontrast .....	11
3.2 Jednotka kontrastní citlivosti.....	12
3.2.1 Prostorová frekvence .....	12
3.3 Křivka kontrastní citlivosti .....	13
4 Příčiny snížení kontrastní citlivosti.....	15
4.1 Starší věk .....	15
4.2 Optické příčiny .....	16
4.2.1 Refrakční vady .....	16
4.2.2 Keratokonus .....	16
4.2.3 Katarakta.....	17
4.2.4 Kontaktní čočky .....	17
4.3 Poruchy sítnice .....	18
4.3.1 VPMD.....	18



---

4.3.2	Diabetická retinopatie .....	18
4.3.3	Cystoidní makulární edém .....	19
4.4	Postižení zrakového nervu .....	19
4.4.1	Glaukom .....	19
4.4.2	Neuritida zrakového nervu .....	20
4.5	Amblyopie .....	20
4.6	Další vlivy .....	21
5	Vyšetření kontrastní citlivosti .....	22
5.1	Písmenkové testy .....	22
5.1.1	Pelli-Robsonův test .....	22
5.1.2	Reganovy tabule .....	23
5.2	Testy využívající sinusovou mřížku .....	23
5.2.1	Cambridge Low Contrast Chart .....	24
5.2.2	Vision Contrast Test System .....	24
5.3	Digitální systémy .....	26
6	Praktická část .....	27
6.1	Metodika měření .....	27
6.1.1	Charakteristika měřených subjektů .....	27
6.1.2	Popis měření .....	27
6.1.3	Statistická analýza .....	29
6.2	Výsledky měření .....	30
6.2.1	Vyhodnocení kontrastní citlivosti za plné a snížené korekce .....	32
6.2.2	Vyhodnocení výsledků měření myopů a hypermetropů .....	34
7	Diskuze .....	39
8	Závěr .....	41
	Seznam použité literatury .....	42
	Seznam symbolů a zkratk .....	46

---

Seznam obrázků .....	47
Seznam tabulek .....	48
Příloha A: Data pro plnou korekci .....	49
Příloha B: Data pro sníženou korekci .....	50

## Úvod

Vnímat kvalitu a rozlišení předmětů okolo nás a mít dobrou orientaci v prostoru, k tomu nestačí pouze vysoký visus a ostré vidění, ale právě správné vnímání kontrastu. Kontrastní citlivost (KC) nám zajišťuje rozpoznání tvaru, hloubky a objektů v prostoru. Díky ní se nám snadněji rozlišují drobné detaily. S přibývajícím věkem se nám tato schopnost zhoršuje, jelikož nám ubývají smyslové buňky epitelu sítnice, vlákna očního nervu a mění se pružnost oční čočky.

Kontrastní citlivost je součástí vyšetření zrakové ostrosti (ZO). Díky testům na KC lze zjistit sníženou kvalitu zraku za normálních podmínek a detekovat počátky určitých očních onemocnění. Můžeme se pak snadněji pohybovat v situacích s nízkým světlem, v mlze nebo v záři. Vyšetření je důležitější u profesí, které mají povolání v těžších světelných podmínkách jako je například strojvedoucí, letci či řidiči. I u samotných neprofesionálních řidičů je tato schopnost velmi důležitá. Během zhoršených světelných podmínkách může dotyčný řidič špatně odhadnout vzdálenost vozidla a brzdová vzdálenost je kratší a může dojít k autonehodě. [19]

Toto téma mě zaujalo, jelikož jsem se s ním zatím v běžné praxi nesetkala. Optometristé tyto testy nepovažují ve své vyšetřovací rutině mezi zásadní, proto si myslím, že se často opomíjejí. Přitom dokáže dát vyšetřujícímu lepší přehled o kvalitě zrakového vjemu pacienta.

V jednotlivých kapitolách se budu věnovat popisu očního pozadí a průběhu světelného vzruchu s reakcí na smyslové buňky sítnice. Dále popíšu základní fotometrické veličiny spojené, které jsou důležité například při vyšetření kontrastní citlivosti. Z dostupné literatury zpracuji kontrast, kontrastní citlivost a prvky s nimi spojené. Dohledám si jaké jsou nejčastější příčiny snížení kontrastní citlivosti a jednotlivé poruchy popíši. Na závěr teoretické části si rozdělím vyšetřovací testy do skupin podle typu vyšetřování a jednotlivé nejdůležitější testy shrnu.

V praktické části se budu zezáčátku zabývat vyšetřením subjektivní refrakce, která bude důležitá pro první test kontrastní citlivosti v plné sférocylické korekci. Na měření kontrastní citlivosti budu využívat test se sinusovou mřížkou, u které se budou postupně zvyšovat prostorové frekvence. Před druhým měření kontrastní citlivosti se naměřená korekce sníží na zrakovou ostrost, která je průchozí na vydání řidičského průkazu pro neprofesionální

řidiče, aby si testovaní probandi mohli vyzkoušet, jak daný člověk vnímá kontrast v těchto podmínkách. V poslední části porovnáím výsledky měření a zhodnotím v jakých prostorových frekvencích se kontrastní citlivost nejvíce zhoršila.

# 1 Zrakové ústrojí

Následující podkapitoly popisují anatomickou i fyziologickou funkci oka. Oko se skládá z několika struktur, vrstev a objektů, které zajišťují ostré vidění a citlivost na kontrast. Pro kontrastní citlivost je velmi důležitá reakce fotoreceptorů sítnice a jejich následný světelný vzruch.

## 1.1 Oční koule

Oční koule neboli *bulbus oculi* má tři oční obaly. Zevní obal (*tunica fibrosa*) je tvořen ze dvou segmentů koule o různém průměru. Menší přední část má poloměr zakřivení 7-8 mm a nazýváme ji rohovka, která je viditelná mezi otevřenými víčky. Rohovka je průhledná, avaskulární a má největší optickou mohutnost (asi 44 dioptrií) ze všech částí oka. Zadní větší oddíl neboli bělima má poloměr zakřivení 11-12 mm a jeho větší část je uložena v očníci. Bělma je pevný obal oka, který je složen převážně z kolagenu a tvoří 5/6 celého zevního obalu.

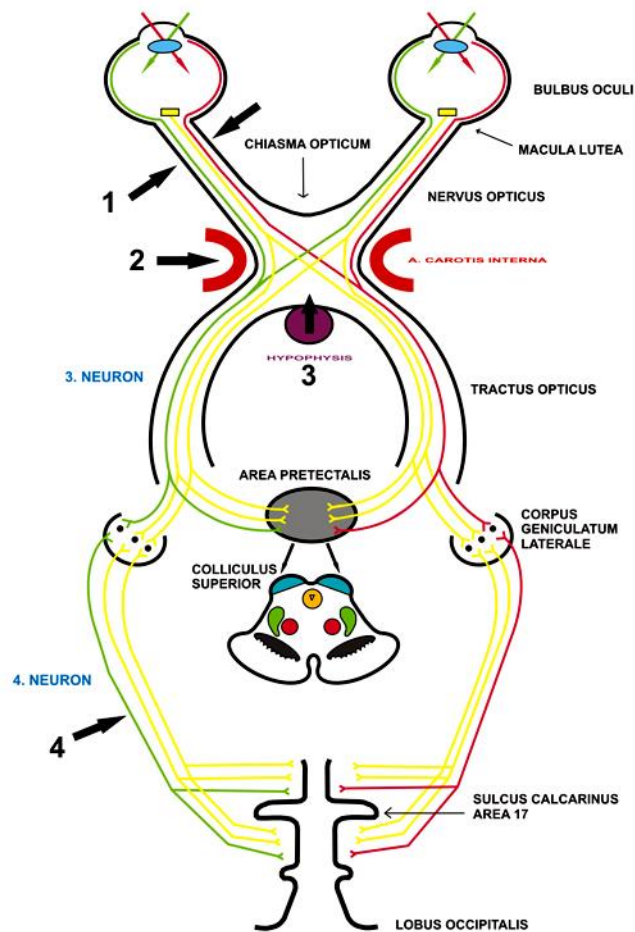
Střední, cévnatý obal živnatka (*tunica vasculosa, uvea*) je pigmentovaná, bohatě cévně a kapilárně zásobená. Skládá se ze tří částí: duhovka, řasnaté tělísko a cévnatka. Tato vrstva díky řasnatému tělesu reguluje světlo při vstupu do oka zúžením či rozšířením zornice, zajišťuje tvorbu komorové vody a umožňuje akomodaci. Živnatky další důležitou funkcí je vyživování pigmentového epitelu, tyčinek a čípků v nejnvnitřnější vrstvě bulbu.

Vnitřní, nervový obal bulbu (*tunica nervea*) se skládá z pigmentové části a vlastní sítnice. Na sítnici dopadají paprsky světla, které procházejí přes rohovku, přední komoru do čočky a z čočky přes sklivec. [19, 22]

## 1.2 Zraková dráha

Obrázek 1: Zraková dráha [30] začíná na sítnici u smyslových buněk, kde přes bipolární buňky vede ke gangliovým buňkám. Z dendritů gangliových buněk se tvoří nervová vlákna, která se sbíhají na papile zrakového nervu. Zrakový nerv prochází sklérou, opouští bulbus a vstoupí tak do očníci. Kanálem zrakového nervu vystoupí ven z očníci do nitrolební dutiny, kde se dostává do oblasti *chiasma opticum*. V této oblasti se zkříží axony pocházející z mediální části sítnice a některé axony z makuly. Z *chiasma opticum* pokračují dva optické

trakty do *corpus geniculatum laterale*, odtud vedou přímo do zrakového centra v okcipitálním laloku. [13, 14, 15]



Obrázek 1: Zraková dráha [30]

### 1.2.1 Sítnice

Sítnice je nejcitlivější část očního aparátu. Vznikla odštěpením z mozkového základu a s mozkem je spojena přes zrakovou dráhu. Dělíme ji na dvě části. První část zvaná *pars optica retinae* neboli optická část sítnice, která je silnější, se nachází v zadní části bulbu. Optickou část dělíme na desetObrázek 2: Vrstvy sítnice [31]. Druhá část se nazývá *pars coeca retinae* neboli slepá část sítnice najdeme v přední části bulbu až k řasnatému tělísku a zadní ploše duhovky. Obě tyto části rozděluje zubatá linie zvaná *ora serrata*. Sítnice je pevně spojena k cévnatce pouze ve dvou místech, a to u zrakového nervu a u linie *ora serrata*.

Hlavním úkolem sítnice je přeměnit světelné impulzy chemickými procesy na nervové vzruchy, které dále vedou přes optický nerv zrakové dráhy do mozkové kůry. Obsahuje tři typy vertikálních neuronů, které jsou na sebe napojeny v nejnižších vrstvách sítnice. První neurony jsou přeměněné na světločivné buňky dvojího typu, tyčinky a čípky. Jejich

podrážděním začíná celý proces vidění. Světlo musí prosvítit přes jednotlivé vrstvy optické části. Na světločivné buňky se napojují bipolární buňky, které navazují na třetí neurony, a to jsou gangliové buňky. [14, 19, 20]

### **Fotoreceptory**

Mezi fotoreceptory řadíme světločivné elementy sítnice, které se nazývají tyčinky a čípky. Rozložení fotoreceptorů není rovnoměrné, tyčinek je okolo 120 milionů tyčinek a 6-7 milionů čípků. Světločivné elementy naléhají na pigmentový epitel sítnice, který jim zajišťuje výživu a transport kyslíku. Obsahuje četné melanosomy, které vstupují mezi tyčinky a čípky.

Tyčinky najdeme hlavně v periferiích sítnice. Reagují již na malé množství světla, proto jsou citlivější než čípky. Jsou zastoupené v zevním segmentu sítnice, kde mají na starost světločivný úsek. Jsou vyskládané jako mince ve sloupečcích do 600-1000 plochých vesikul. Ty jsou oddělené jemnými membránami. Vesikuly obsahují zrakové barvivo jménem rhodopsin. Rhodopsin podle dopadu světelných paprsků mění barvu a vyvolává nervové vzruchy. Vzruchy přecházejí neuritem tyčinky na synapse s dendrity bipolárních buněk.

Čípky jsou nejvíce zastoupené v místě nejostřejšího vidění, tedy v makule. Čím jsou dál od makuly, tím se jejich počet snižuje. Reagují pouze na vyšší intenzitu světla, tudíž zajišťují ostřejší vidění než tyčinky. Zevní segment čípků má membránové duplikatury, které se podobají tyčinkovým vesikulám. Ty tvoří samostatné jednotky jako vesikuly u tyčinek, ale vybíhají hřebenovitě z povrchové membrány zevního segmentu čípků. Membrány obsahují barvivo iodopsin, které je velmi citlivé na červené světlo. Přeměna iodopsinu při dopadu světla vyvolává nervové vzruchy stejně jako tyčinky. Čípky obsahují tři odlišné typy iodopsinu. Každý z nich je jinak citlivý ke světlu o různé vlnové délce. Vzniká tak diferencovaná citlivost ke třem barvám, z jejichž kombinací složíme barevný obraz. [13, 19]

### **Bipolární buňky**

Bipolární buňky se nachází mezi fotoreceptory a gangliovými buňkami sítnice a označují se také jako druhý neuron. Jejich úkolem je přenést signál světelného stimulu z fotoreceptorů na gangliové buňky. Dělí se na dva typy podle počtu synapsí. Monosynaptické bipolární buňky mají synapse pouze s jedním fotoreceptorem a s jednou gangliovou buňkou. Difusní

bipolární buňky mají synapse se dvěma nebo více fotoreceptory, nikdy však s tyčinkami a čípky najednou.

Jejich další významnou částí jsou receptivní pole. Když je tma, nedopadá na sítnici žádné světlo a fotoreceptory produkují neurotransmitter glutamát, který hyperpolarizuje nebo depolarizuje bipolární buňky.

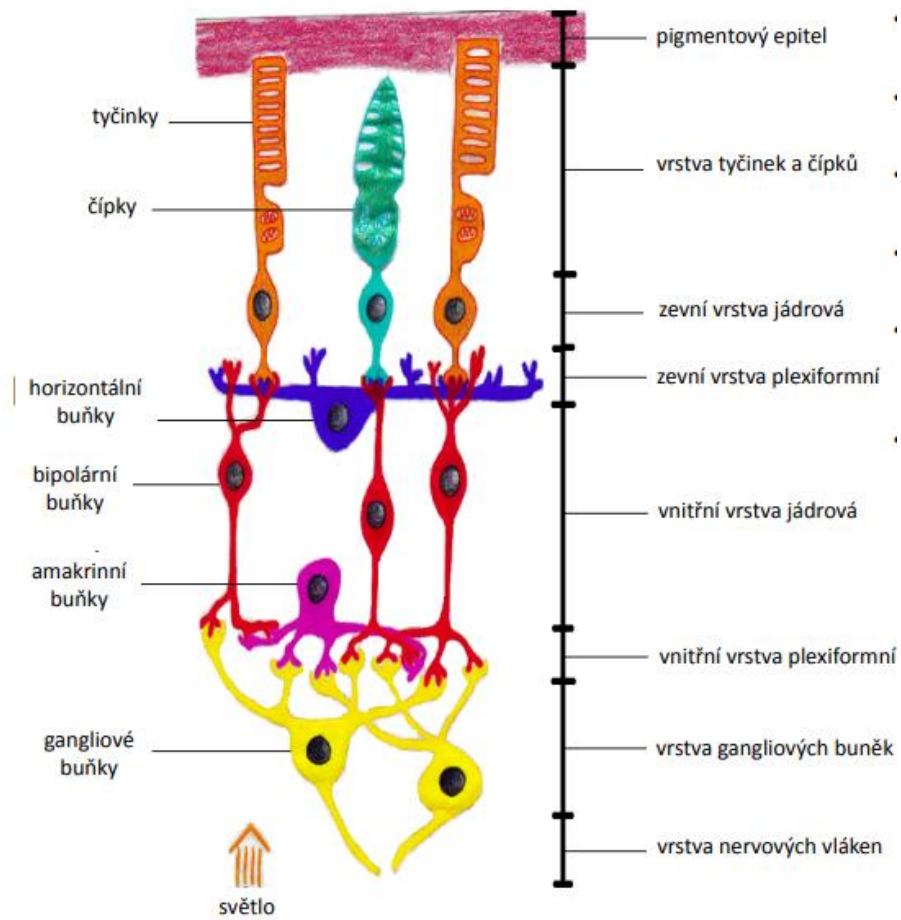
Ve vrstvě bipolárních buněk jsou dále buňky, které lze označit jako asociační aparát sítnice. Mezi ně patří horizontální a amakrinní buňky. Horizontální buňky propojují větší počet synapsí mezi prvními a druhými neurony sítnice a amakrinní buňky mezi druhými a třetími neurony sítnice. [2, 13]

### **Gangliové buňky**

Gangliové buňky tvoří třetí neuron zrakové dráhy. Jejich neurity se sbíhají v nervové vlákno na pupile optického nervu, prostupují chiasmatem až do primárního zrakového nervu. Dostávají vstupní signál z fotoreceptorů, přes bipolární.

Gangliové buňky se liší vzhledem podle toho, kde se v sítnici nachází. Buňky typu Y se vyskytují převážně v periferiích a mají velké tělo i axon. Mají nejrychlejší vedení impulsů, absenci barevného vidění a nízkou kontrastní citlivost. Buňky systému X tvoří asi polovinu všech gangliových buněk. Nacházejí se v centru sítnice a oproti typu Y mají menší tělo i axon. Jejich vedení impulsů je o polovinu pomalejší, ale vyznačují se vysokou kontrastní citlivostí a prostorovou rozlišitelností. Posledním typem jsou buňky W, které mají malé tělo s malým axonem. Vzruchy vedou nejpomaleji a reagují na pohyb a na směr pohybu v receptivním poli. [2, 4, 37]





Obrázek 2: Vrstvy sítnice [31]

## 2 Fotometrické veličiny

Fotometrie se zabývá viditelným spektrem elektromagnetického záření, tudíž jsou její jednotky a veličiny definovány podle světločivných buněk v lidském oku – podle toho, co dělají nebo nedělají, jde o odezvu, které se nacházejí na sítnici. Světločivné buňky jsou velmi citlivé na spektrum vlnových délek v rozmezí 380–760 nm, kde působí záření. [1]

### 2.1 Světelný tok

Světelný tok lze definovat jako množství světelné energie, které vytváří zrakový vjem v lidském oku. Vyzářením zdrojového světla, vzniká světelné záření o určité energii. Lze vyjádřit jako podíl energie, které projde určitou plochou v okolí daného zdroje za určitou jednotkou času. Značí se  $\Phi$  a jeho jednotkou je lumen [lm]. [1, 2, 5]

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta \tau} \quad (1)$$

Kde  $E$  [cd] je energie, která prochází určitou plochou a  $\tau$  [sr] je jednotka času.

### 2.2 Svítivost

Svítivost je část světelné energie, která je určena podílem světelného toku ku prostorovému úhlu, do kterého je zdroj světla vyzařován. Byla zavedena kvůli tomu, že světelná energie není vyzařována do prostoru ve všech směrech stejně. Proto ji stanovujeme pouze pro bodový zdroj. Udává intenzitu světelného toku v daném směru. Množství světla směřované do úzkého kuželu má za následek vysokou svítivost, a tím pádem se zvyšuje vzdálenost osvětlení. Značí se písmenem  $I$  a její jednotkou je kandela [cd], která je řazena mezi základní jednotky soustavy SI. [3, 4, 5]

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega} \quad (2)$$

Kde  $\Phi$  [lm] je světelný tok a  $\Omega$  [sr] je prostorový úhel.

### 2.3 Jas

Tato veličina je definována podílem svítivosti  $I$  elementární plošky zdroje ve zvoleném směru a obsahu průmětu této plošky do roviny kolmé ke zvolenému směru. Značí se

písmenem  $L$ . Dříve se označoval jako nit. Jednotka jasů je 1 kandela na metr čtverečný [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]. Jas je definován jako podíl svítivosti k jednotce plochy. [1, 3, 4]

$$L = \frac{dI}{dS} \quad (3)$$

Kde  $I$  [ $\text{cd}$ ] je svítivost a  $S$  [ $\text{m}^2$ ] je obsah plochy.

## 2.4 Osvětlení

Je definováno jako podíl světelného toku v daném bodě dopadající kolmo na jednotku její plochy. Při osvětlení závisí na vzdálenosti plochy od zdroje světla. Značí se písmenem  $E$  a jeho jednotkou je lux [ $\text{lx}$ ]. [1, 6, 7]

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \quad (4)$$

Kde  $\Phi$  [ $\text{lm}$ ] je světelný tok a  $S$  [ $\text{m}^2$ ] obsah plochy.

### 3 Kontrastní citlivost

Kontrastní citlivost zajišťuje správné ostré vidění v optimálních světelných podmínkách. Díky ní se umíme pohybovat v prostoru, předcházíme pádům, dokážeme řídit, číst a provozovat běžné aktivity, které jsou součástí každodenního života. V běžných životních situacích není možné zrakové funkce vyjádřit pouze zrakovou ostrostití. Jestliže na Snellových optotypech vyšetříme vnímání černobílých prvků za dobrých světelných podmínek, kontrastní citlivost rozlišuje, jak dobře oko dokáže rozeznat různé odstíny šedé.

Kontrastní citlivost patří mezi vyšetřovací metody zrakové ostrostiti. Použití kontrastní citlivosti v kombinaci se zrakovou ostrostití, a v případě potřeby i s hodnocením zorného pole, poskytuje lepší představu o tom, jak dobře pacient skutečně zrakově funguje. Kontrastní citlivost může napomoci vysvětlit zrakové potíže při počínajícím šedém zákalu, přestože je zraková ostrost normální. Měření KC je daleko jemnější než měření zrakové ostrostiti, proto častěji detekuje i nejjemnější poruchy. Zraková ostrost se měří za umělých podmínek, kdy chceme docílit, aby pacient byl schopný vidět malé předměty o vysokém kontrastu. V praxi vidění neodpovídá vysokému kontrastu podle tabulek, avšak většinou jde o předměty se středním či nízkým kontrastem. Kontrastní citlivost definujeme jako vergenci kontrastního prahu.

$$KC = \frac{1}{KP} \quad (5)$$

Kde  $KP$  je kontrastní práh.

Kontrastní práh je nejmenší viditelný kontrast neboli minimální kontrast potřebný k rozlišení dvou různě světelných částí objektu. Kontrastní práh při denním světle u zdravého člověka je přibližně 1 %. [12, 19, 25, 28]

#### 3.1 Kontrast

Kontrast definujeme jako zrakový vjem, kdy závisí na jasu světlých a tmavých předmětů. Kontrast podle definice můžeme rozdělit na dva způsoby vyjádření. První je Weberův kontrast, který určuje rozdíl jasu mezi objektem a pozadím. Používáme ho při hodnocení kontrastní citlivosti za použití písmenkových testů. [24]

$$K = \frac{L_p - L_o}{L_p} \quad (6)$$

Kde  $L_p$  je jas pozadí a  $L_o$  je jas objektu.

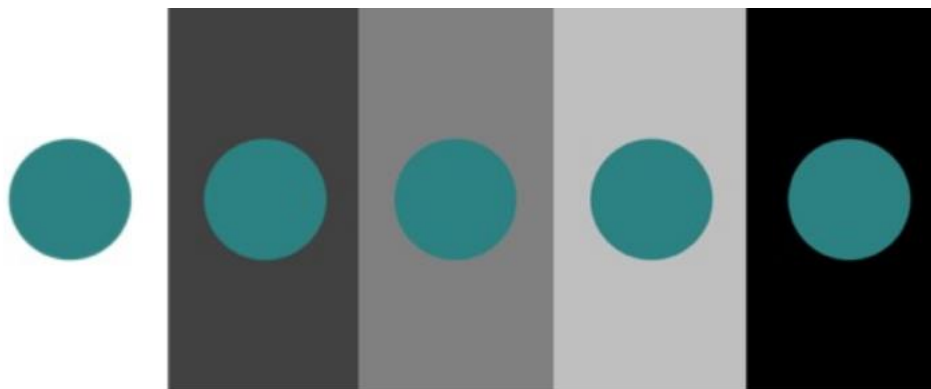
Druhý způsob je Michelsonův kontrast, který se definuje jako rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším jasem dělený jejich součtem. Tento typ kontrastu se využívá u testů s použitím sinusové mřížky. [19, 24]

$$K = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad (7)$$

Kde  $L_{max}$  je nejvyšší jas a  $L_{min}$  je nejnižší jas.

### 3.1.1 Simultánní kontrast

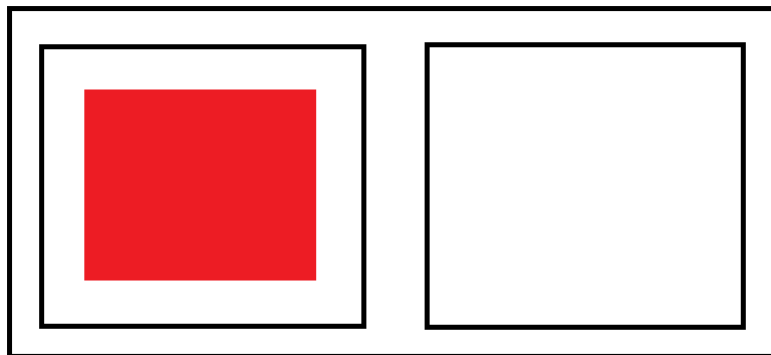
Simultánní kontrast [32] neboli současný kontrast označuje způsob, jak navzájem vnímáme sousední barvy. Barva v pozadí může vizuálně dodat druhé barvě sytost či zvýraznit její tón. Sytá barva bude vypadat ještě sytější, pokud ji umístíme na pozadí s méně sytou barvou a naopak. Tudiž pokud barvu umístíme například na černé pozadí, barva bude vypadat intenzivnější ale světlejší, než kdybychom ji umístili na bílé pozadí. Rozlišujeme i barevný simultánní kontrast, který subjektivně mění barvu předmětu. Například šedý obrazec na žlutém poli se bude jevit více namodralý, než kdyby byl na bílém poli. [8, 9]



Obrázek 3: Simultánní kontrast [32]

### 3.1.2 Sukcesivní kontrast

Sukcesivní neboli následný kontrast se nazývá proto, že jeho projev působí i po skončení předchozího světelného podráždění fotoreceptorů sítnice. Čím větší je světelné působení, tím zřetelněji se kontrast projeví. Ideální příklad je, když se podíváte do slunce a potom odvrátíte zrak jinam, uvidíte před očima tmavou skvrnu, které po chvíli zmizí. Zrakový vjem nevzniká ihned po ukončení světelného podnětu, ale dozrívá postupně při skončení vnějšího podnětu. Doba odeznění závisí na síle daného světelného podnětu. [10]

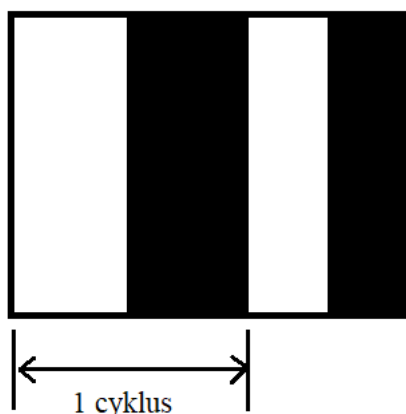


**Obrázek 4: Sukcesivní kontrast [vlastní tvorba]**

(10 sekund pozorujte červený obdélník a poté se podívejte na bílé pole)

## 3.2 Jednotka kontrastní citlivosti

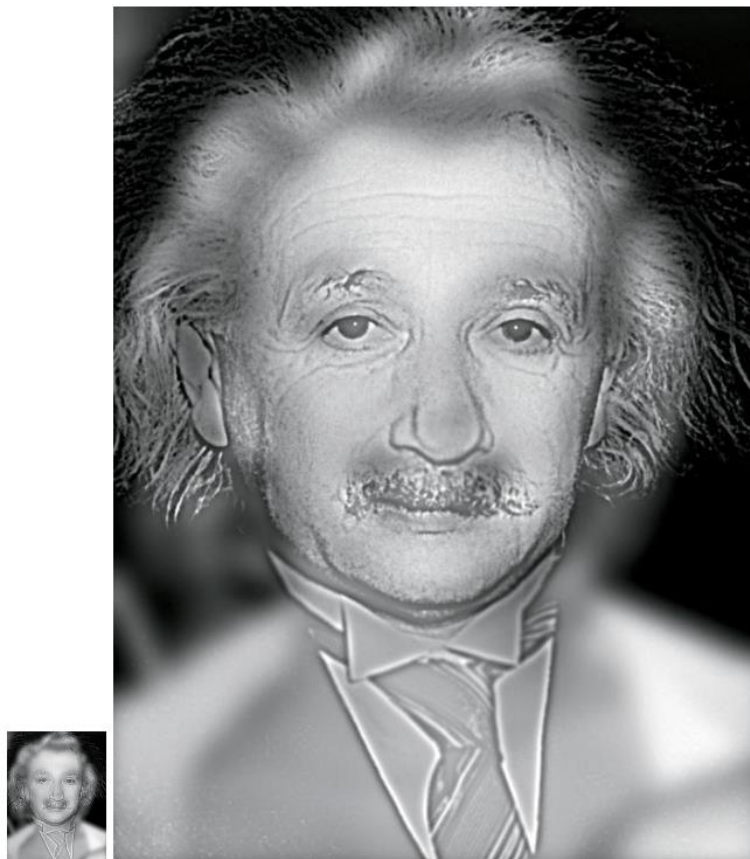
Jednotka kontrastní citlivosti je jeden cyklus na stupeň (c/st). Cyklus je úhlová šířka jednoho tmavého pruhu a jednoho sousedního světlého pruhu, které jsou součástí sinusové mřížky. [19]



**Obrázek 5: Znázornění 1 cyklu [vlastní tvorba]**

### 3.2.1 Prostorová frekvence

Prostorová frekvence umožňuje charakterizovat jemnost detailů sledovaného objektu. To udává počet cyklů, které rozlišují hodnoty zrkového stimulu. Zjednodušeně kolik přechodů z černé do bílé se vejde na jeden centimetr. To, jakou frekvenci dokážeme rozlišit, umožňuje hustota čípků umístěné na sítnici. Lidské oko dokáže rozpoznat 50 černých a 50 bílých proužků na jeden centimetr na vzdálenost natažené ruky. Tudiž pokud hustota čar přesáhne hustotu čípků, obraz se začne slívat a člověk nerozpozná výraznější linie. Z blízka tedy poznáme lépe detaily a výrazné linie, zatímco z dálky rozpoznáme spíše plochy s mírnějšími přechody. [11]



**Obrázek 6: Zobrazení vyšších (A. Einstein) a nižších (M. Monroe) prostorových frekvencí v praxi [11]**

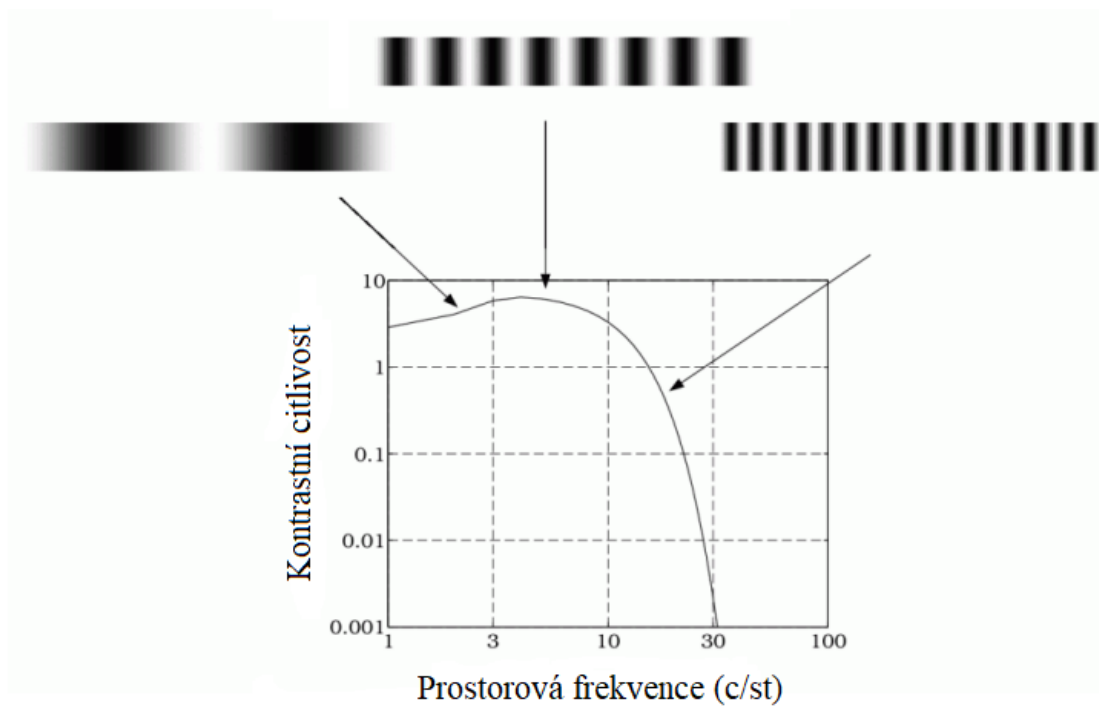
### 3.3 Křivka kontrastní citlivosti

Křivka kontrastní citlivost popisuje závislost kontrastního prahu na různých prostorových frekvencích. Zobrazuje nejnižší možný kontrast, při kterém je rozeznatelná sinusová mřížka neboli světlé a tmavé pruhy. Plocha pod křivkou znázorňuje oblast, kterou lze rozeznat a oblast nad křivkou už to, co oko nerozezná. Lidské oko je nejcitlivější pro prostorové frekvence 3-6 c/st. U vyšších nebo nižších prostorových frekvencí kontrastní citlivost klesá. Vysoké hodnoty prostorové frekvence odpovídají ostrým liniím či obrysům, kdežto nízké prostorové frekvence spíše rozlišují méně detailnější objekty a tvary. U středních prostorových frekvencí vidíme lépe menší části jednoho celku jako například ohyby v trojrozměrném objektu.

Křivka se mění s přibývajícím věkem. U vyššího věku na oko působí více faktorů, kdy oko ztrácí svou pružnost a čirost. Tím pádem přestávají vidět ostré hrany a některé detaily jim splývají. Největší snížení je tedy ve vyšších a středních prostorových frekvencích.

U menších dětí se oko a zrakové centrum neustále vyvíjí, proto v raném věku jsou schopny rozlišovat pouze nižší prostorové frekvence. Jejich křivka kontrastní citlivosti by byla v ploše pod křivkou průměrné oblasti, které oko vidí. Ve školním věku dosáhnou ostrosti jako dospělý člověk a rozpozná všechny hodnoty prostorové frekvence.

U testování zaznamenejme pacientovu poslední správnou odpověď u každé prostorové frekvence a spojením označených puntíků vytvoříme křivku KC. Křivka za normálních podmínek se vykreslí do průměrných hodnot kontrastní citlivosti, avšak pokud budou hodnoty mimo normální rozmezí, může se jednat o rozdílnosti pravého a levého oka o více než 2 kontrastní hodnoty v jedné z frekvencí nebo se pravé a levé oko liší o více než 1 kontrastní hodnotu ve 2 či více frekvencích. [1, 2, 19, 26]

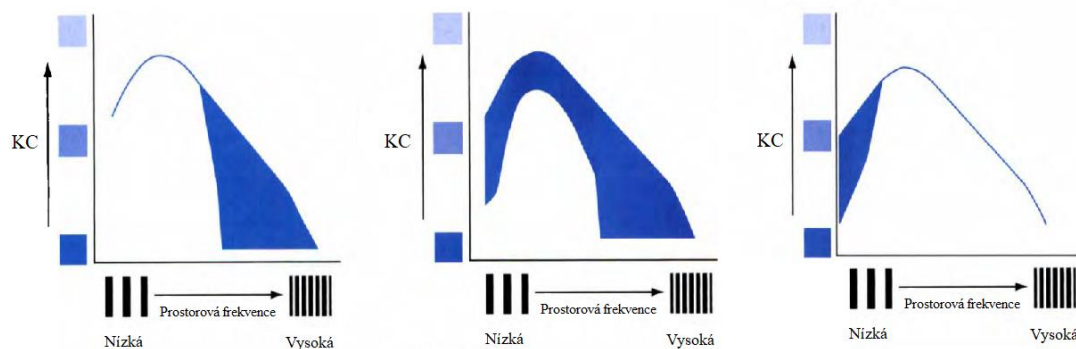


**Obrázek 7: Křivka kontrastní citlivosti [33]**



## 4 Příčiny snížení kontrastní citlivosti

V této kapitole jsou popsány faktory, které mají vliv na snížení funkce kontrastní citlivosti.



**Obrázek 8: Typy ztráty kontrastní citlivosti [23]**

Graf nalevo: ztráta KC ve vyšších prostorových frekvencích

Graf uprostřed: ztráta KC ve všech prostorových frekvencích

Graf napravo: ztráta KC v nižších prostorových frekvencích

### 4.1 Starší věk

U starších lidí ve věku 60 let a výš se snižuje vnímání jasu na sítnici, a to zhruba o dvě třetiny oproti člověku ve 20 letech. Pokles KC nastává ve všech prostorových frekvencích. Na zhoršeném vnímání se podílí nejčastěji užší zornice, ptóza víček a ztráta průhlednosti oční čočky. V těchto případech se na sítnici nedostane dostatek světla, tudíž zrakový vjem je málo kontrastní. Užší zornice je způsobená ztrátou elasticity a senilní miózou, kdy svěrač zornice je silnější než rozvěrač. Senilní ptóza víček, ochablost kůže horních víček a zvětšení očnice v důsledku ztráty kostní hmoty způsobuje zmenšení horní části zorného pole. Zorné pole se tak snižuje přibližně o 50 %. U neprůhlednosti oční čočky jsou lidé spíše náchylnější na oslnění.

Při nedostatečném osvětlení při práci je vnímání kontrastu ještě horší, proto přibližně 70 % lidí starších 60 let potřebuje třikrát vyšší kontrast k dosažení podobného vidění 20 let starého člověka.

Dalším faktorem snížení KC u starších lidí mohou být změny ve smyslových buňkách či v pigmentovém epitelu sítnice. U smyslových buněk sítnice se rovnoměrně snižuje schopnost

rozlišovat nejjemnější rozdíly v intenzitě světla. Při snížení fotoreceptorů v perifériích vede ke zhoršení prostorové orientaci.

Při zvyšování věku se snižuje počet mozkových buněk, což způsobuje snížené vnímání jasů sítnice, čím tmavší je obraz, tím déle trvá jeho vyhodnocení. Vyhodnocení je přibližně o půlku pomalejší než u mladého člověka. [16]

## 4.2 Optické příčiny

Optické faktory určují kvalitu sítnicového obrazu. Obecně závisí na difrakci světla, aberacích oka a intraokulárním rozptylu uvnitř očních částí. Vliv difrakce a aberací závisí na vlnové délce, průměru pupily, poloze pozorovaného objektu a typu záření. Vlastnosti optické soustavy oka lze s určitými změnami zlepšit. Díky korekčním pomůckám či chirurgickým zákrokům můžeme cíleně měnit kvalitu sítnicového obrazu. [17, 18]

### 4.2.1 Refrakční vady

Refrakční vady závisí na refrakci oka, která vyjadřuje poměr mezi délkou oka v optické ose a optickou mohutností lomivých prostředí jako jsou rohovka, přední komora, čočka a sklivce. Mezi refrakční vady patří hypermetropie, myopie a astigmatismus. Tyto vady znemožňují paprskům sbíhat se na sítnici přímo do oblasti fovey, tudíž snižují zrakovou ostrost, a zároveň kontrastní citlivost. Nízké refrakční vady mají vliv na pokles ve vyšších prostorových frekvencích a vyšší refrakční vady na pokles ve středních až nižších prostorových frekvencích. Špatná korekce posune paprsky opět mimo sítnici, proto má také vliv na ZO a KC. [19]

### 4.2.2 Keratokonus

Keratokonus je oční onemocnění rohovky, při kterém se vyklenuje do kuželovitého tvaru. Může zasahovat do centrální až paracentrální oblasti. Centrální zraková ostrost se mění kvůli nepravidelného astigmatismu, který má za následek ztenčení a vyklenutí rohovky. Obvykle postihuje obě oči, avšak vývoj jednotlivých očí se může lišit. Progrese onemocnění závisí na věku a délce trvání. Čím dříve propukne, tím rychleji se vyvíjí. Lze ho léčit včasnými brýlemi a později tvrdými kontaktními čočkami, pokud už brýle nestačí.

U počínajícího keratokonu před zhoršením zrakové ostrosti je snížení kontrastní citlivosti zejména v nižších prostorových frekvencích a později i ve vyšších. [19]

### 4.2.3 Katarakta

Katarakta neboli šedý zákal je označení pro zkalení oční čočky. Zakalení čočky můžeme rozdělit podle příčiny, místa zkalení, stupně a věku, kdy vzniklo. Nejčastější zkalení je senilní katarakta, která se objevuje u lidí okolo 75-85 let. Jejich čočka se zvětšuje, nabývá na hmotnosti a ztrácí svou pružnost. Čočka mění svou chemickou strukturu z nízkomolekulárních proteinů na vysokomolekulární. Změní se tak pigmentace jádra z jemně žluté až na hnědou barvu. Přes zákal neprochází světlo, tudíž dojde k rozptylu paprsků vstupujících do oka a postupně se zraková ostrost i kontrastní citlivost zhoršuje. Kontrastní citlivost u počáteční katarakty klesá nejvíce ve vysokých prostorových frekvencích, u zadní subkapsulární katarakty je největší pokles ve středních až nižších prostorových frekvencích a u pokročilé katarakty je snížení ve všech prostorových frekvencích. Podařilo se zjistit a prokázat určité faktory, které mohou vést k tvorbě katarakty. Mezi ně patří UV-B záření, kouření a oxidativní poruchy.

Katarakta je nejčastější příčinou slepoty v celém světě. Odstranit ji lze pouze chirurgickým zákrokem, který však není možný ve všech oblastech světa, a právě tam je katarakta nejčastější příčinou slepoty. Během operace je zakalená čočka rozpolcena a odstraněna pomocí ultrazvukovým fakoemulzifikátorem. Do prázdného pouzdra se vloží implantovaná nitrooční čočka. Pouzdro se u někoho může znovu zakalit, označuje se to jako sekundární katarakta, kvůli usazujícím se bílkovinným depozitům, to má také za následek snížení kontrastní citlivosti ve středních až vyšších prostorových frekvencích. Mírný pokles přetrvává i po kapsulotomii. Snížením KC dojde při decentraci implantované nitrooční čočky a při vsazení multifokální nitrooční čočky místo monofokálních. Kontrastní citlivost klesne u multifokálních nitroočních čočkách hlavně v nízkých prostorových frekvencích. [19, 20]

### 4.2.4 Kontaktní čočky

Kontrastní citlivost se snižuje při nošení kontaktních čoček ve dvou případech. Při dlouhodobém nošení kontaktních čoček, kdy křivka KC má největší pokles ve středních a vyšších prostorových frekvencích. Může to být způsobeno usazováním depozit na povrchu kontaktních čoček nebo poškozením materiálu v důsledku delšího používání oproti novým čočkám.

Pacient s astigmatismem po vyzkoušení tórických čoček a čoček se sférickým ekvivalentem dosahuje stejných hodnot zrakové ostrosti a pocítuje u obou čoček stejné pohodlí. Avšak výzkumné studie zjistily, že kontaktní čočky se sférickým ekvivalentem

snižují kontrastní citlivost, konkrétně ve vyšších prostorových frekvencích, oproti čočkám tórickým.[21]

## 4.3 Poruchy sítnice

### 4.3.1 VPMD

Věkem podmíněná makulární degenerace je progresivní onemocnění centrální oblasti sítnice. Dnes ve vyspělých státech je nejčastější postižení centrální zrakové ostrosti u osob nad 60 let věku.

Mezi nejrizikovější oční faktory se řadí hypermetropie, v některých studiích i tmavá barva duhovky a operace katarakty, kdy nová čirá čočka neblokuje tolik škodlivý vliv ultrafialového záření. Z faktorů způsobené životním stylem bylo prokázáno zvýšené riziko u kuřáků a u lidí s vyšší hladinou cholesterolu v krvi.

Pacient pociťuje zhoršené vidění do blízka, kdy vidí deformaci obrazů a vypadávání písmen. Tyto mikroskotomy přejdou do centrálního skotomu a pacient dosáhne až úplné neschopnosti číst a psát v centrální zóně. Zraková ostrost se zhoršuje i na dálku a pro rozeznávání obličejů musí pohybovat hlavou. U atrofické (suché) formy k těmto problémům dochází postupně, kdežto u exsudativní (vlhké) formy je to náhlé.

Kontrastní citlivost u VPMD klesá ve všech prostorových frekvencích. U pacientů s počínající formou, kteří mají drúzy a alespoň visus 1,0 klesá kontrastní citlivost pouze ve vyšších prostorových frekvencích a snižuje se vrchol kontrastní křivky. Při gradaci drúz dochází k dalšímu poklesu křivky kontrastní citlivosti. [19, 20]

### 4.3.2 Diabetická retinopatie

Diabetická retinopatie je nezánettivá změna sítnice a jejích cév u lidí s diabetem. Preventivní komplexní postup léčby zahrnuje léčení rizikových faktorů (hyperglykemie, hypertenze apod.), aktivní screeniny onemocnění a oftalmologickou léčbu.

Onemocnění se dělí podle dynamiky sítnicových změn. Rozlišuje se na neproliferativní (NPDR) a proliferativní (PDR). U neproliferativní formy hrozí ztráta zraku v důsledku makulopatie, která se projevuje makulárním edémem, tvrdými exsudáty (zánettivé výpotky) a krvácením mimo krevní řečiště. Proliferativní forma je charakterizována mimo makulopatii

i neovaskularizací. Ztráta zraku vzniká v důsledku krvácení do sklivce nebo trakčním odchlípením sítnice.

U obou forem diabetické retinopatie je pokles kontrastní citlivosti ve všech prostorových frekvencích. [19]

### 4.3.3 Cystoidní makulární edém

Onemocnění cystoidní makulární edém vzniká při nahromadění tekutiny v centrálním místě sítnice. Tekutina v makule se tvoří v zevní plexiformní vrstvě sítnice a ve vnitřní vrstvě jader. Důsledkem těchto změn se poruší hematoretinální stěna a umožňuje průnik tekutin s následkem ztlustění makulární oblasti. Hematoretinální bariéra zajišťuje těsné spojení mezi endotelovými buňkami sítnicových cév a mezi buňkami pigmentového epitelu.

Udává se, že cystoidní makulární edém je poměrně častou komplikací po operaci katarakty, při poruše zadního pouzdra a ztrátou sklivce. Přesná příčina ovlivňující vznik cystoidního makulárního edému není známa.

Pacient při onemocnění vidí předměty jako pod vodou. Kontrastní citlivost klesá pouze ve vyšších prostorových frekvencích. [19, 20]

## 4.4 Postižení zrakového nervu

### 4.4.1 Glaukom

Glaukom je multifaktoriální onemocnění, které je charakterizované progresí neuropatií optiku. Pojmem glaukom označujeme řadu chorob, proto není klasifikace jednotná.

Glaukom můžeme rozdělit do mnoha kategorií. Rozdělení pro klinickou praxi, které vychází z příčiny vzniku, je primární, sekundární a glaukomy dětského věku. Další rozdělení je častější a rozlišuje se podle šíře komorového úhlu, a to na glaukom s otevřeným úhlem a glaukom se zavřeným úhlem. K včasné diagnostice glaukomu předchází několik rizikových faktorů, které můžeme během vyšetření odhalit. Mezi nejčastější rizikové faktory patří vysoký nitrooční tlak, nízký krevní tlak, pozitivní rodinná anamnéza, věk, pohlaví a refrakční vady.

Počáteční fáze onemocnění je pomalá a nenápadná. Přibližně 3% populace jsou poškozena glaukomem, ale polovina o tom vůbec neví. Proto včasné odhalení a léčba je velmi důležitá k zabránění případných úbytků gangliových buněk, sítnice a vláken zrakového nervu.

Pokud u pacienta není nitrooční tlak pod kontrolou, může dojít k nezvratným změnám v zorném poli a v horším případě až ke slepotě. Centrální zraková ostrost je zachovaná do doby, kdy dochází k rozšiřování exkavace zrakového terče. Kontrastní citlivost klesá ve středních až ve všech prostorových frekvencích i před výpadky zorného pole. S následnou progresí na perimetru a progresí exkavace terče zrakového nervu kontrastní citlivost nadále klesá. [19, 20]

#### **4.4.2 Neuritida zrakového nervu**

Zánět zrakového nervu může poškodit retrobulbární nebo intraokulární část nervu. Při poškození retrobulbární části nebývá na začátku žádný oftalmologický nález, jelikož se nachází za bulbem. Často je však prvním příznakem roztroušené sklerózy mozkomíšní. Typ intraokulárního poškození nalezneme spíše u dětí a u oftalmologa je zřetelný nález na papile. Mezi příčiny tohoto typu zařazujeme také roztroušenou sklerózu, ale kromě toho i parainfekční a postinfekční neuritidy. Další příčiny nejsou objasněny.

Pacient při zánětu optiku pociťuje bolest při pohybu oka. Dochází ke ztrátě zrakových funkcí na jednom oku. U 60 % se vyskytuje centrální skotom a u zbytku jiné poruchy zorného pole. Kontrastní citlivost se snižuje v různých prostorových frekvencích podle závažnosti zánětu. [19]

#### **4.5 Amblyopie**

Amblyopie neboli tupozrakost je snížení zrakové ostrosti v období vývoje vidění, způsobené nedostatečnou zrakovou stimulací. Nejčastěji vzniká v důsledku strabismu, refrakčních vad, anisometrií nebo jiných očních onemocnění. Amblyopické oko nelze vykorigovat, tak aby mělo stejnou zrakovou ostrost jako oko zdravé. Po ukončení vývoje zraku dítěte se stává tupozrakost trvalá. Kontrastní citlivost tím pádem má pokles ve všech prostorových frekvencích. [19]

## 4.6 Další vlivy

### **Toxické látky**

U toxických látek jako například u alkoholu se kontrastní citlivost snižuje ve všech prostorových frekvencích. Pracovníci, kteří pracují s mikroelektronikou mají sníženou kontrastní citlivost ve středních prostorových frekvencích. [19]

### **Neurologické choroby**

Onemocnění nervové soustavy (Alzheimerova demence, Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza, kortikální zrakové postižení) způsobují pokles kontrastní citlivost, ale záleží, v jakém stadiu nemoc je. [19]

### **Metabolické choroby**

Diabetes mellitus patří mezi metabolické choroby, při kterých kontrastní citlivost klesá ve středních a vyšších prostorových frekvencích. Bohužel klesá i u pacientů s diabetes mellitus bez známek diabetické retinopatie a chronické retinální insuficience. [19]

## 5 Vyšetření kontrastní citlivosti

Testování kontrastní citlivosti nám umožňuje zhodnocení vidění pacienta za podmínek vyskytují se v běžném životě. Měření kontrastní citlivosti se stala standartní pro většinu klinických studií oftalmologických zákroků. Široce se využívá při hodnocení refrakčních operací, nových nitroočních implantátů, zkoušek léků proti kataraktě a potenciální léčbě VPMD a zánětu optiku.

Kontrastní citlivost můžeme měřit na testech ve formě tabulí, projekci na monitoru nebo LCD panelu. Existují pouze dva základní typy vyšetřovacích tabulí, a to písmenkové testy a testy s využitím sinusové mřížky. Oba tyto testy jsou využity na jiném principu a měří různé velikosti a různé kontrasty, proto je měření kontrastní citlivosti složitější než měření zrakové ostrosti. [26, 29]

### 5.1 Písmenkové testy

Písmenkové testy mají velkou výhodu snadného pochopení fungování jak pro lékaře, tak pro pacienty. Fungují na dvou principech. Jedna forma testů je založena na snížení kontrastu různých velikostí písmen pro měření zrakové ostrosti. Tyto tabule se používají k měření nízkého kontrastu. Druhá forma používá stejně velké písmo a mění se pouze kontrast písmen, proto se jí také říká různokontrastní tabule. Obě možnosti byly vytvořeny na základě Weberova kontrastu. Nevýhodou těchto testů může být pro děti nebo pro dospělé, které neznají latinskou abecedu. [27, 29]

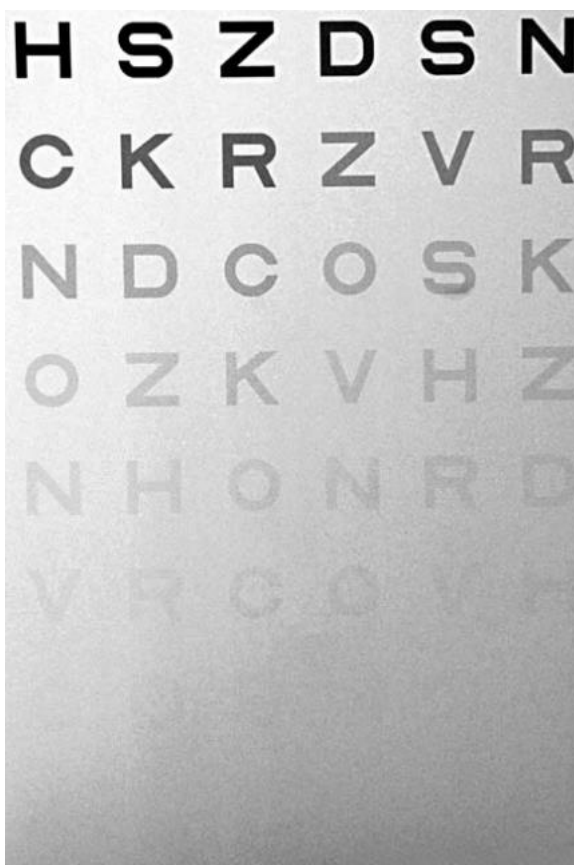
#### 5.1.1 Pelli-Robsonův test

Měření podle Pelli-Robsonova testu je rychlé, jednoduché, pro pacienta snadno pochopitelné a poskytuje měření kontrastní citlivosti s nízkou prostorovou frekvencí (0,5-1 c/st) při měření na jeden metr se středem v úrovni očí s případnou korekcí na dálku. Lze ho použít i na delší pracovní vzdálenosti jako například tři metry, avšak pacient posuzuje vyšší prostorové frekvence a je citlivější na stavy, jako je časná katarakta.

Na optotypu jsou písmena (velikost 4,9x4,9 cm) seřazena do řádku po dvou trojicích. Kontrast se snižuje po každé trojici o 0,15 logKC směrem dolů. Uznaná trojice je, pokud jsou rozeznány dvě písmena ze tří stejného kontrastu. Rozsah vyšetření je od 100 do 0,9 %.



Jednou z nevýhod tohoto testu je, že lze získat proměnlivý koncový bod v závislosti na tom, jak se pacient dlouho dívá na písmena v blízkosti prahu. Pacienta měříme pouze na citlivost v nízkých prostorových frekvencích, takže onemocnění, při kterém se ztrácí či snižuje vyšší prostorové frekvence neodhalí. Je navržen tak, aby doplňoval měření zrakové ostrosti s vysokým kontrastem. [25, 23, 22]



Obrázek 9: Pelli-Robsonův test [26]

### 5.1.2 Reganovy tabule

Reganovy tabule jsou 4 tabule dostupné v rozsahu 4 kontrastních úrovní. Původně byly konstruované jako tabule k určování zrakové ostrosti. V každé tabuli je jeden kontrast a nemění se. Testuje pouze vysoké prostorové frekvence. Velmi se podobá návrhu Bailey-Lovieho tabulím, avšak liší se konfigurací a počtem písmen. [19, 23]

## 5.2 Testy využívající sinusovou mřížku

U tabulí tohoto typu lze kontrast definovat jako tzv. Michaelsonův kontrast. Nejstarší test na principu sinusové mřížky byly Ardenovy tabule, které se dnes už nepoužívají. Každé

okýnko obsahovalo svislé pruhy o jedné prostorové frekvenci, kontrast těchto okének se snižoval směrem dolů, kdy už pacient nepoznal rozdíl a pruhy mu splynuly do šedi. [25, 26]

### 5.2.1 Cambridge Low Contrast Chart

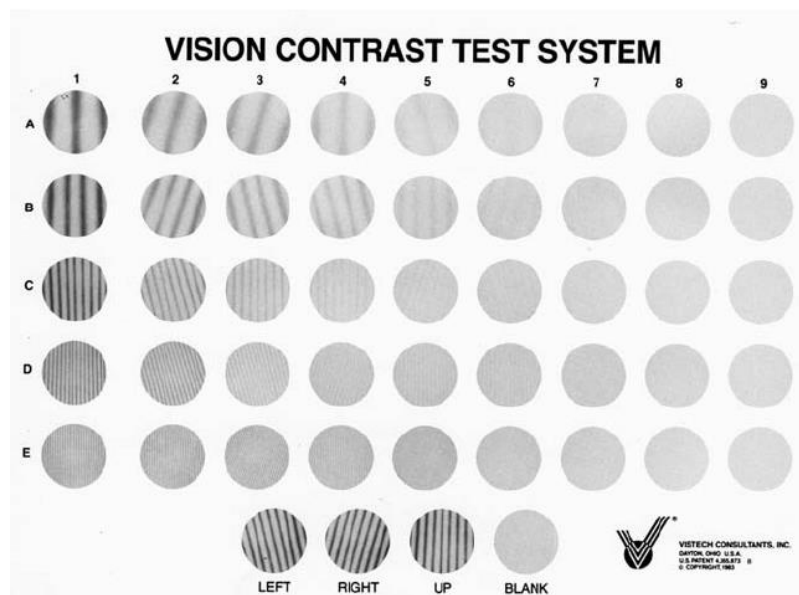
Cambridge nízkokontrastní test probíhá v jedné prostorové frekvenci 4 c/st. Test je vytvořen jako tabulka o 11 kalendářově uspořádaných plastových archů. Tabulky jsou uspořádané v párech, kdy na jedné z tabulek je natištěna monotónní mřížka a na druhé je mřížka s černobílými pruhy. První, úvodní dvojice je vysoce kontrastní a kontrast u zbývajících se postupně snižuje až na nejnižší. [26]

### 5.2.2 Vision Contrast Test System

Tabulkový systém navržený dr. Ginsburgem v roce 1984. Testování probíhá v pěti řadách, jelikož dokážeme měřit pět prostorových frekvencí (1,5, 3, 6, 12, 18 c/st), což může být výhodou oproti písmenkovým testům. U vyšetření zaznamenáváme poslední správnou odpověď, kdy spojení jejich bodů vytvoříme křivku kontrastní citlivosti. Dnes se tomuto testování říká The Sine Wave Contrast Test. Testovat můžeme jak do blízka na 40 cm (VCTS 6000), tak do dálky na 3 m (VCTS 6500), avšak obě tyto tabulky mají jiné rozměry podle toho, na jakou vzdálenost vyšetřujeme. Bylo vytvořeno více testů na podobném principu s malými odlišnostmi. [18, 19, 23, 27, 28]

#### VCTS 6500

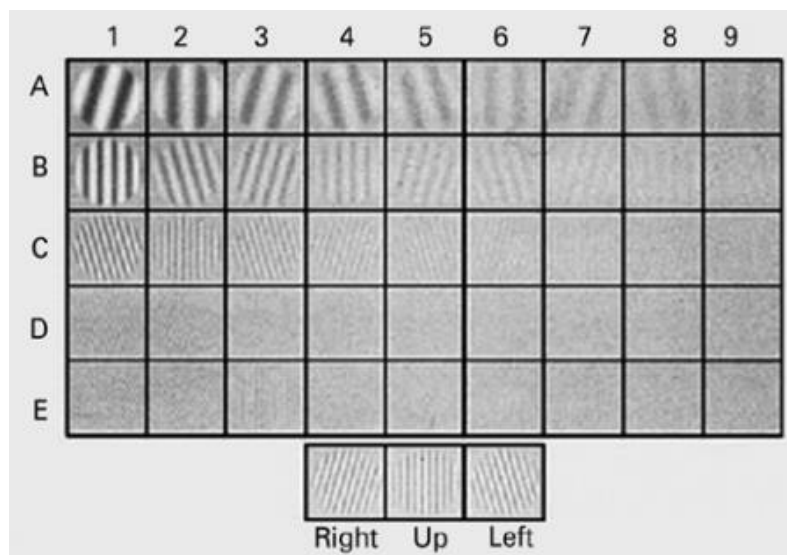
Tabule je tvořena 5 řádky a 9 sloupci, kdy uprostřed každého okna je disk se sinusovou mřížkou. V každém řádku je jiná prostorová frekvence a kontrast v každém z nich se snižuje o 0,25 logKC zleva doprava. Pruhy v terčích jsou orientovány buď vertikálně nebo šikmo v úhlu 15° doleva či doprava, takže pacient určuje orientaci každého pruhu v terči. Pacient má možnost zvolit ze 4 možností, neboť jedna z nich může být prázdný disk. [18, 19, 23, 27, 28]



Obrázek 10: VCTS- 6500 [34]

**FACT**

The Functional Acuity Contrast Test je tabulka, která se považuje za druhou generaci testů VCTS. Tyto tabulky mají stejný počet řádků i sloupců, avšak rozdíl mezi sousedními terči je menší a kontrast se snižuje o  $0,15\log KC$ . FACT má menší testovací rozsah, větší spolehlivost a větší možnost opakovatelnosti výsledků oproti testům VCTS. [19, 23]

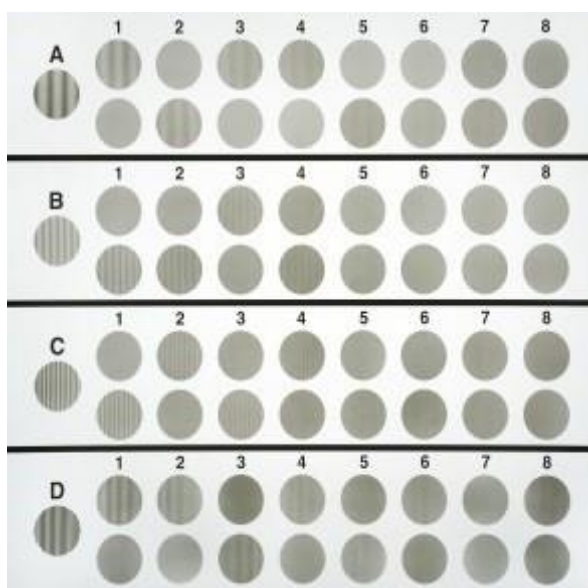


Obrázek 11: FACT [35]

**CSV-1000**

Test od společnosti Vector Vision. Jejich nejpůlárnějši verze se jmenuje CSV-1000E. Tabule je zasazena do světelného boxu, který zajišťuje rovnoměrné osvětlení na celé ploše

tabulky. Testování probíhá ve 4 prostorových frekvencích (3, 6, 12, 18 c/st). Každá prostorová frekvence se zobrazuje ve dvou řádcích a každý z osmi sloupců má dvě možnosti, jeden disk obsahuje sinusovou mřížkou a druhý disk je prázdný. Pacient pouze poznává, který disk je se sinusovou mřížkou a už nemusí určovat orientaci pruhů, protože jsou všechny orientovány stejně. Kontrast mřížky se snižuje nepravidelně zleva doprava o přibližně  $0,16 \log KC$ . [19, 23]



Obrázek 12: CSV-1000E [36]

### 5.3 Digitální systémy

Digitální systémy obsahují sady jednotlivých testů, které si můžeme zvolit podle reakce pacienta. Můžeme vyzkoušet různé prostorové frekvence, a tak lehce předejít možnému očnímu onemocnění. Zaznamenáváme pacientovi odpovědi a výslednou křivku kontrastní citlivosti si systém zakreslí sám. Proto je tento typ testování nejvhodnější pro naše měření v praktické části. Mezi tento systém řadíme LCD SmarChart, LCD TCP-2000 (Tomey), LCD CC-100XP (Topcon) a Vision Monitor (Metrovision). Dostupné jsou i samostatné software pro Windows.

LCD systém SmarChart od výrobce Opto Global zahrnuje i testování zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti v 5 (1,5, 3, 6, 12, 18 c/st) prostorových frekvencích. Jedná se o LCD panel, který nevyžaduje externí počítač. [24, 26]

## 6 Praktická část

### 6.1 Metodika měření

Měření všech subjektů probíhalo na půdě Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT na Kladně v optometrické vyšetřovně č.233. Analýza probíhala od března do dubna 2023. K testování byl použit LCD optotyp ve výši očí od značky Topcon typu CC-100XP. Optotyp využívá testy kontrastní citlivosti na principu The Sine Wave Contrast Test. Pro všechna měření byly stanoveny totožné podmínky osvětlení (430-830 luxů), kdy byla snaha eliminovat rušivé odlesky od oken. Taktéž stejné podmínky při testovací vzdálenosti tj. 5,5 m od optotypu.

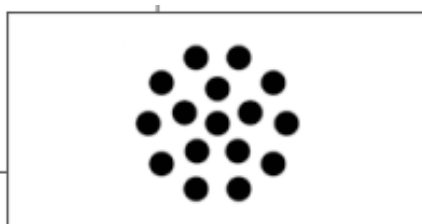
#### 6.1.1 Charakteristika měřených subjektů

Změřeno bylo celkem 30 studentů (23 žen a 7 mužů) ve věku 20–25let. Počet subjektů byl stanoven tak, aby bylo dostatečné množství dat na vyhodnocení problematiky. U každého ze subjektů byla zpracována krátká anamnéza, zda vůbec zapadá do skupiny vhodných kandidátů bez závažnějších onemocnění (viz kapitola Příčiny snížení kontrastní citlivosti). Dále bylo zjišťováno, zda je dotyčný aktivní řidič, protože snížená kontrastní citlivost může ovlivňovat řidiče při řízení automobilu. Z 30 subjektů pouze 3 odpověděli, že nejsou aktivními řidiči, což znamená, že většinu subjektů by mohla snížená kontrastní citlivost ovlivňovat při řízení. Analýza probíhala anonymně, tudíž každý subjekt dostal pořadové číslo 1-30, podle kterého byly jeho výsledky zpracovány.

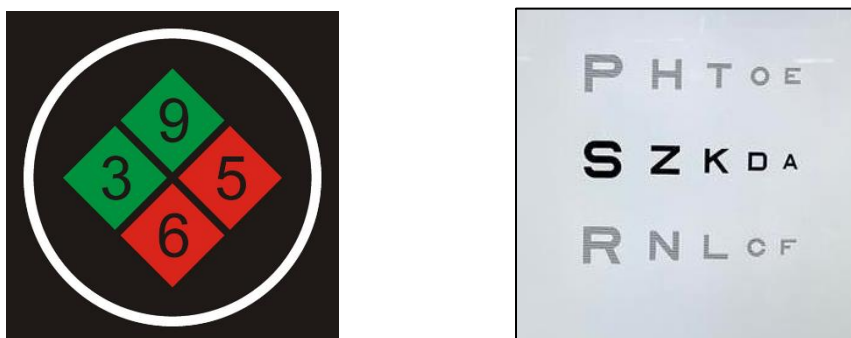
#### 6.1.2 Popis měření

Na úvod měření byla stanovena objektivní refrakce na automatickém kerato-refraktometru od značky Topcon typu TRK-2P, pro přibližné hodnoty defokusace, které nám pomůžou lépe se orientovat při subjektivní refrakci. Po správném usazení obruby pomocí centračních skel bylo zahájeno subjektivní měření. Subjektivní refrakce byla stanovena metodou předsazování zkušebních skel za použití nejslabší rozptylky a nejsilnější spojky. Za pomoci Jacksonova zkříženého cylindru a bodového testu byly změřeny cylindrické hodnoty. Na binokulární vyvážení byl použit Osternbergův a třířádkový test, při kterých byly využity polarizační filtry. Tyto testy byly zvoleny z důvodu jejich snadného pochopení a přehlednosti. U každého jedince byla výsledná zrková ostrost uznána po přečtení alespoň 3 písmen na Snellenově

optotypu daného řádku. U všech respondentů bylo dosaženo binokulárního visu minimálně 1,5 s plnou korekcí.



Obrázek 14: Bodový test [38]



Obrázek 13: Osterbergův test [39] a třířádkový test [vlastní tvorba]

Po dosažení nejlepší zrakové ostrosti proběhla dvě měření kontrastní citlivosti. Subjekty byli předem seznámeni s cílem studie a zároveň poučeni s pravidly testování. Cílem bylo označit pouze jednu ze tří možností a rozlišit buď vertikální pruhy, anebo pootočené o 15 stupňů doprava či doleva. Pokud už nebyli schopni rozlišit žádnou orientaci, byli vyzváni k odhadu.

Test zobrazuje 9 úrovní kontrastu a 9 prostorových frekvencí (1,50; 2,12; 3,00; 4,24; 6,00; 8,49; 12,00; 16,97 a 24,00 c/st), kdy dochází k postupnému snižování jasů a zvyšování prostorových frekvencí. Při dvakrát po sobě jdoucí špatné odpovědi se prostorová frekvence automaticky zvýší. Subjektům bylo zakázáno jakkoliv naklánět hlavu, přivírat oči, či se přibližovat k optotypu za účelem lepšího vidění sinusové mřížky.

První testování probíhalo za binokulárních podmínek s plnou korekcí přibližně 2-5 min. Před druhým měřením byla zraková ostrost snížena na visus 0,5, který je podle vyhlášky č. 277/2004 Sb průchozí pro skupinu 1 tj. neprofesionální řidiči. [40] Snížení probíhalo binokulárně za pomoci opakních skel spolu se zamlžením plusovými čočkami. Zamlžovací folie s hodnotou 0,4, která vytvořila opakní sklo pár jedincům snížila visus na řádek 0,5.

Tento jev nebyl pozorován u všech, proto byly použity plusové čočky v rozmezí 0 až +1,5 dpt pro dosažení požadovaného snížení. Příčinou může být akomodace. Například u mladších subjektů by měla být akomodace lepší, tím pádem by potřebovali více zamlžit. Na zamlžení má také vliv citlivost na změny anebo nedokorigování daného člověka. Na zamlžení má tedy vliv spousta faktorů, které v tomto případě nelze rozpoznat. Po zhoršení visu byl zahájen druhý test na kontrastní citlivost, který trval okolo 5-10 min. Po dokončení jednotlivých testů byla z výsledků vytvořena křivka kontrastní citlivosti.



**Obrázek 15: Orientace sinusové mřížky při testování [38]**

Veškerá naměřená data byla zaznamenána v příloze. (viz Přílohy A, B)

### 6.1.3 Statistická analýza

Statistické zpracování dat bylo provedeno v Microsoft Excel a Wilcoxon Signed-Rank Test Calculator.

Pomocí deskriptivní statistiky byl u všech hodnot zjištěn průměr, rozdíl a směrodatná odchylka. Induktivní statistikou byl zjišťován statisticky signifikantní rozdíl s 95 % hladinou významnosti, tj. signifikantní do 5 %.

K zobrazení jednotlivých měřených dat byl použit bublinový graf, který vyjadřuje četnost dat pomocí velikosti bodů. K porovnávání průměrných hodnot kontrastní citlivosti za plné korekce a za snížené korekce či porovnání průměrných hodnot u myopů a hypermetropů byl použit spojnicový graf se značkami. U obou typů grafů je zobrazována závislost kontrastní citlivosti na prostorových frekvencích. Na ose  $x$  jsou vyznačené jednotlivé prostorové frekvence od nejnižších až po nejvyšší a na ose  $y$  je zobrazena kontrastní citlivost v logaritmickém zápisu.

Pro následné vyhodnocení dat byly stanoveny hypotézy.

Hypotéza 1: Kontrastní citlivost s plnou korekcí a se sníženou korekcí je rozdílná

Hypotéza 2: Nejnížší hodnota kontrastní citlivosti je v nejvyšších prostorových frekvencích

Hypotéza 3: Mezi naměřenými hodnotami kontrastní citlivosti u myopů a u hypermetropů je zanedbatelný rozdíl

## 6.2 Výsledky měření

Pro analýzu bylo změřeno 30 účastníků se sférickou korekcí od -5,75 dpt až +3,0 dpt a s cylindrickou korekcí od 0 až do -2,50 dpt. Celkově bylo naměřeno 19 lidí s myopií, 9 lidí s hypermetropií, 1 člověk s kombinací, kdy jedno oko bylo myopické, druhé hypermetropické a poslední člověk byl emetrop.

Z naměřených dat při subjektivní refrakci je vytvořena Tabulka 1: Korekce měřená subjektivní refrakce všech respondentů a potřebné zamlžení plusovými čočkami k snížení kontrastní citlivosti. Pro každého probanda jsou uvedené tři hodnoty na každé oko: sférická dioptrie (Sph), cylindrická dioptrie (cyl) a osa cylindru (ax), která je uvedena ve stupních. Tabulka je rozčleněna podle měřených subjektů od nejvyššího člověka s naměřenou myopií až po člověka s nejvyšší hypermetropií, která je změřena na pravém oku. Slovo „plan“ vyskytující se u některých subjektů, znamená, že nebyly naměřené žádné sférické dioptrie. V posledním sloupci tabulky jsou uvedené hodnoty binokulárního zamlžení, které bylo provedeno před začátkem měření kontrastní citlivosti za snížené korekce. Na hodnotu zamlžení má velký vliv akomodace a s ní je spojený věk, refrakční vada a mnoho dalších faktorů.

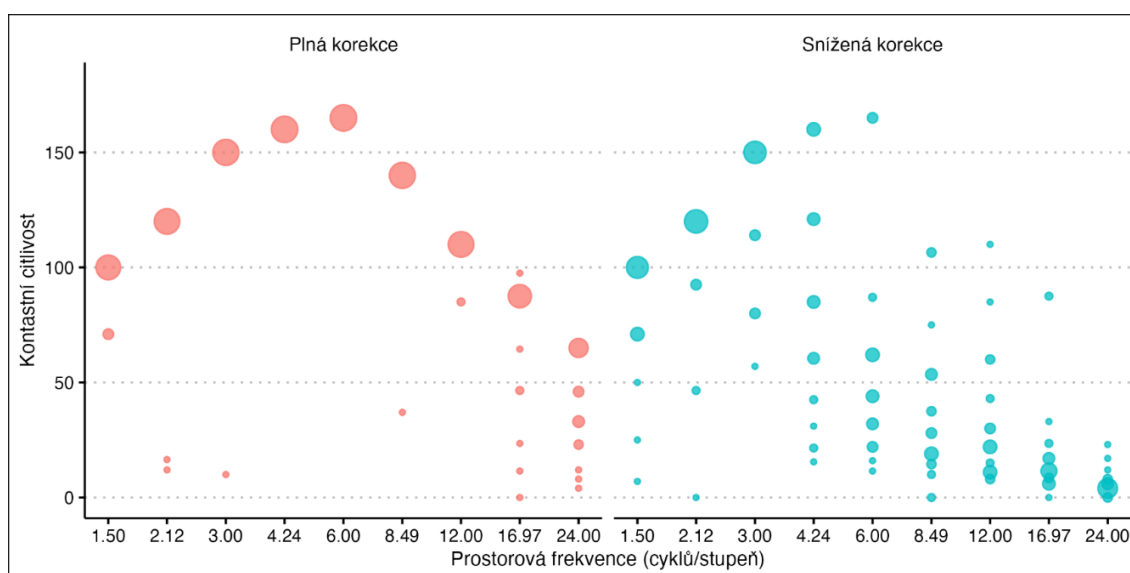


**Tabulka 1: Korekce měřená subjektivní refrakce všech respondentu a potřebné zamlžení plusovými čočkami k snížení kontrastní citlivosti**

	OP			OL			zamlžení
	Sph	cyl	ax	Sph	cyl	ax	
1	-5,75	-0,25	170	-5,25	-0,75	5	/
2	-4,25	-0,50	55	-4,25	-0,50	30	+0,25
3	-3,25	-1,00	175	-3,75	-0,25	30	/
4	-2,50	-2,00	180	-1,75	-2,50	10	+0,75
5	-2,75	-0,75	180	-2,25	-0,75	160	/
6	-2,25	-0,25	175	-1,50	-0,75	180	+1,00
7	-2,25			-1,75			/
8	-2,00	-0,50	135	-1,50	-0,75	25	+0,75
9	-1,75	-0,75	170	-1,50	-0,75	10	/
10	-1,50			-2,00			+0,25
11	-1,25	-0,25	155	-0,75	-0,75	10	+0,25
12	-0,50	-1,00	175	-1,00	-0,50	5	+1,50
13	-0,50	-0,75	135	-0,75			+0,75
14	-0,50			-0,50	-0,25	90	+0,25
15	-0,25	-1,00	175	-0,50	-0,75	180	+0,50
16	-0,25	-0,50	115	-0,25	-0,50	45	+1,00
17	-0,25	-0,50	180	plan	-0,50	160	+0,75
18	-0,25	-0,25	160	-0,25			+0,50
19	-0,25			-0,50			/
20	plan			plan			+0,75
21	+0,25	-0,75	5	-1,25	-0,75	170	+0,25
22	+0,25	-0,50	80	+0,25	-0,50	75	/
23	+0,25	-1,25	170	+0,25	-1,75	180	+1,00
24	+0,50	-0,25	175	+1,00	-0,25	165	/
25	+0,50	-0,75	40	+0,25	-0,75	180	+0,50
26	+0,75	-1,50	28	+1,00	-2,25	160	/
27	+0,75	-1,00	175	+0,50	-0,75	2	+1,25
28	+0,75			+0,50			/
29	+0,75			+0,50			+0,75
30	+3,00	-0,50	175	+2,50	-0,50	180	/

### 6.2.1 Vyhodnocení kontrastní citlivosti za plné a snížené korekce

Výsledná data kontrastní citlivosti jsou znázorněna na obrázku č. 16 v grafu. Četnost výskytu dané hodnoty u respondentů je zobrazena velikostí bodů. Na ose  $x$  jsou zastoupené měřené prostorové frekvence od nejnižších, po střední až po nejvyšší PF. Hodnoty na ose  $y$  jsou v logaritmickém zápisu pro lepší přehlednost dat. V případě plné korekce, která je v grafu znázorněna červenou barvou, lze vidět, že odpovědi při testování jsou téměř identické. Rozdíl lze pozorovat pouze u poslední nejvyšší testované prostorové frekvence, kde byly výsledky rozdílné. Kdežto u měření se sníženou korekcí, která je zobrazena v grafu modrou barvou, byly odpovědi respondentů na kontrastní citlivost odlišné ve všech prostorových frekvencích a hodnoty byly nižší.



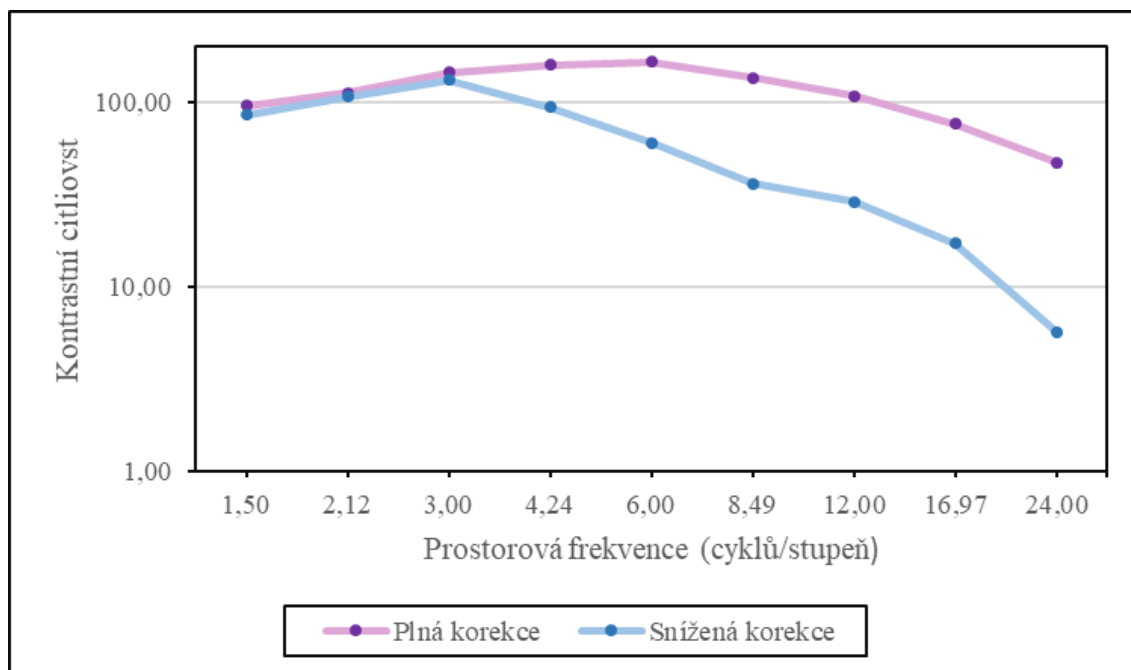
**Obrázek 16: Měřené hodnoty kontrastní citlivosti za PK a SK**

V tabulce č. 2 jsou vyjádřeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro testované prostorové frekvence kontrastní citlivosti v plné korekci a ve snížené korekci.

**Tabulka 2: Průměrné hodnoty, směrodatné odchylky při plné korekci (PK) a při snížené korekci (SK)**

	prostorové frekvence [c/st]								
	1,50	2,12	3,00	4,24	6,00	8,49	12,00	16,97	24,00
<b>průměr a směrodatná odchylka PK</b>	96,13 ±9,86	112,95 ±26,39	145,33 ±25,13	160,00 ±0,00	165,00 ±0,00	136,57 ±18,49	108,33 ±6,24	76,75 ±24,53	47,23 ±20,14
<b>průměr a směrodatná odchylka SK</b>	85,97 ±23,63	107,43 ±27,98	132,77 ±28,59	94,43 ±47,22	60,25 ±45,13	36,10 ±29,20	28,87 ±24,01	17,22 ±19,84	5,67 ±4,57
<b>rozdíl průměrů [%]</b>	10,58	4,88	8,65	40,98	63,48	73,57	73,35	77,57	88,00

Pro lepší představu na obrázku č. 17 jsou na grafu zobrazeny průměrné hodnoty plné i snížené korekce každé prostorové frekvence. Je zde možné si povšimnout, že obě křivky kontrastní citlivost při nižších prostorových frekvencích stoupají do 3 c/st. Při středních prostorových frekvencích, které byly měřené od 4,24–8,49 c/st se křivky rozbíhají, kdy křivka se SK jasně klesá, ale ta s PK stále mírně stoupá. Avšak jak už bylo popsáno (viz kapitola Křivka kontrastní citlivosti) člověk je nejcitlivější pro prostorové frekvence 3-6 c/st, tudíž bychom předpokládali, že obě křivky by mírně stoupaly, ale zhoršené vidění tuto schopnost znemožnilo. V poslední fázi měření, kdy byly postupně zvyšovány prostorové frekvence až do 24 c/st křivka se SK ještě více klesla, kdežto u křivky PK je klesání mírnější. Když porovnáme výchozí body, kde obě křivky začínaly v téměř podobné pozici a dále výsledné body, které se významně liší, lze usoudit, že největší pokles (i podle tabulky č.1) a rozdíl mezi křivkami náleží nejvyšší měřené prostorové frekvenci 24 c/st.



Obrázek 17: Průměrné hodnoty plné a snížené korekce

### Statisticky významné výsledky prostorových frekvencí

U jednotlivých prostorových frekvencí v plné a ve snížené korekci bylo zjišťováno, zda je výsledek statisticky významný tzn. že je velmi malá pravděpodobnost, že jde o náhodu. Byla stanovena hladina signifikance na 5 % kdy, pokud hodnota  $p$ , tedy konkrétní pravděpodobnost chybného zamítnutí, vyjde menší než stanovená hladina signifikance, výsledek je signifikantní neboli statisticky významný. Platí tedy, pokud bude hodnota

$p$  menší, tím pravděpodobněji nebude výsledek chybný. K výpočtu hodnoty  $p$  jsou potřeba další parametry jako například hodnota  $N$ , která musí být alespoň 20, aby bylo možné vytvořit normální rozložení. Prostorové frekvence byly porovnávány ve Wilcoxon Signed-Rank Test Calculator. V tomto testu, pokud byl u měřených hodnot rozdíl nulový, daný vzorek z analýzy byl vyřazen a zmenšila se tak velikost vzorků na měření. [41, 42]

První testovaná prostorová frekvence byla 1,5 c/st, kdy hodnota  $p=0,042$  ( $p < 0,05$ ), tudíž výsledek byl statisticky významný. Při vypočtení druhé prostorové frekvence 2,12 c/st byla hodnota  $N=8$  ( $N < 20$ ), proto nebyla možná vypočítat přesná hodnota  $p$  a výsledek nebyl významný. Pro další prostorovou frekvenci 3,0 c/st byla hodnota  $p=0,075$  ( $p > 0,05$ ), takže znovu výsledek nebyl statisticky významný. U ostatních zbývajících prostorových frekvencích byla hodnota  $p < 0,05$ , kdy u všech PF (4,24; 6,0; 8,49; 12,0; 16,97; 24,0 c/st) se hodnota  $p=0,00001$ .

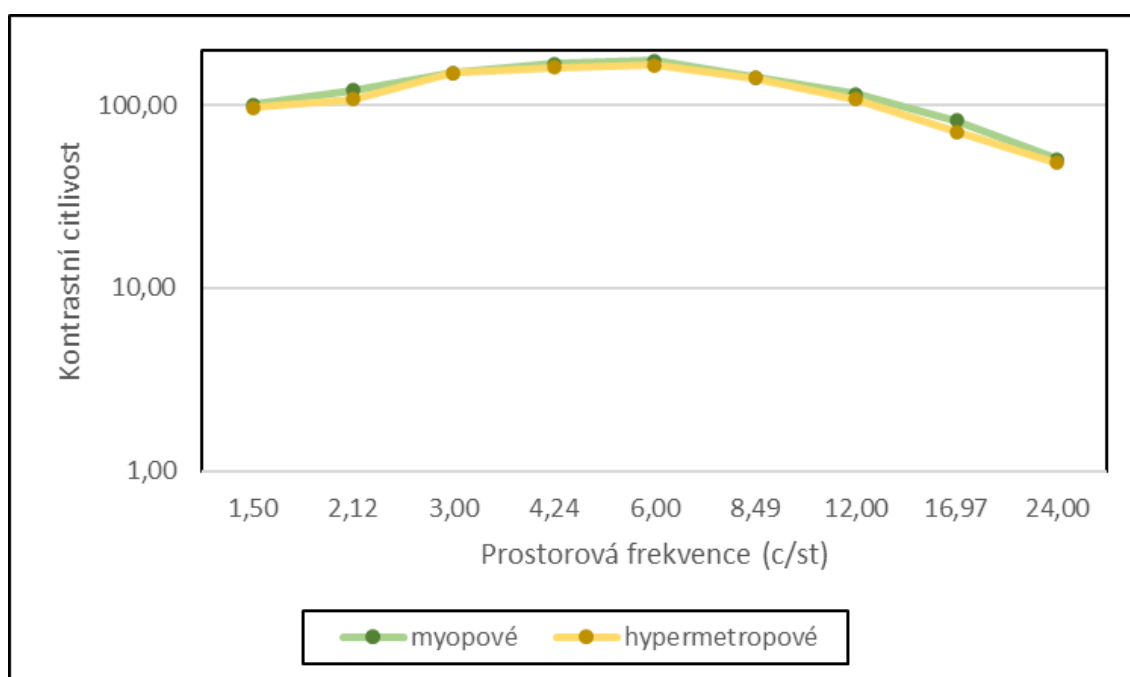
## 6.2.2 Vyhodnocení výsledků měření myopů a hypermetropů

Do tohoto vyhodnocení byli zařazeni pouze probandi s myopií a hypermetropií, tudíž 28 probandů z toho 19 lidí s myopií a 9 lidí s hypermetropií. I přes různý počet subjektů z každé skupiny byla snaha porovnat relevantnost výsledků. K přesnému vyhodnocení dat by byl vhodnější stejný počet respondentů od každé skupiny. V tabulce č. 3 jsou shrnuté informace o měření těchto subjektů. Tabulka je rozdělena pro měření s plnou korekcí a se sníženou korekcí. Je zde zobrazen průměr každé PF a k němu vypočítaná směrodatná odchylka. Pro přehlednost byl vypočítán rozdíl průměrů lidí s myopií a s hypermetropií, který je v %.

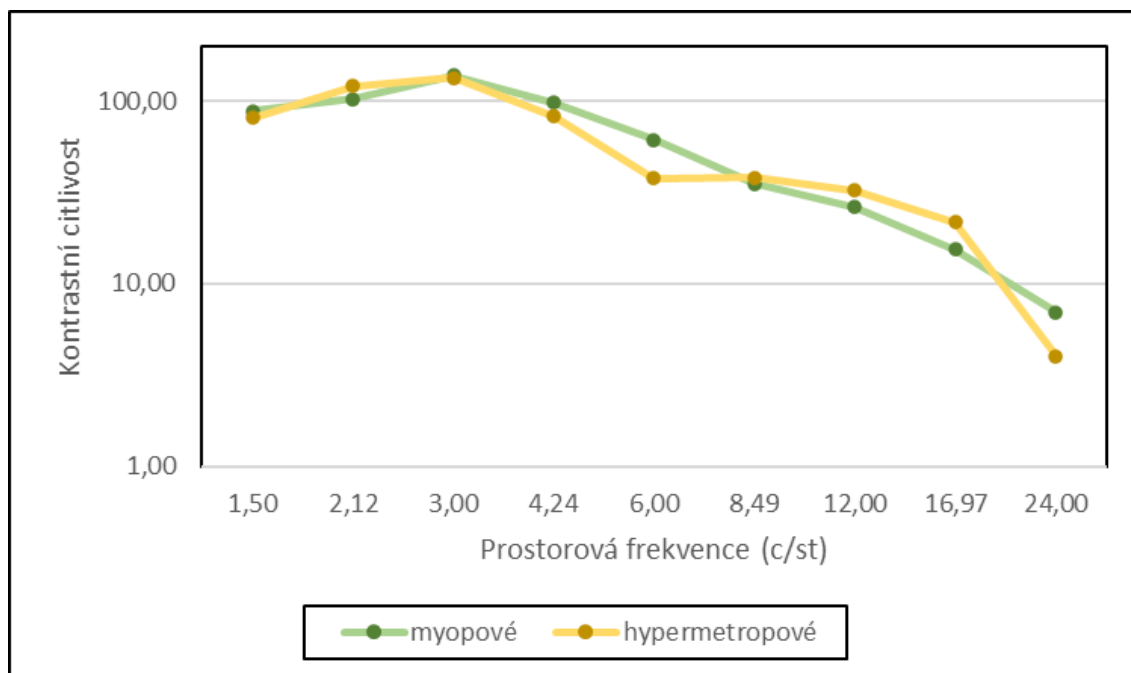
**Tabulka 3: Průměrné hodnoty, směrodatná odchylka a rozdíl probandů s myopií a s hypermetropií za PK a SK**

		Prostorové frekvence [c/st]								
		1,5	2,12	3	4,24	6	8,49	12	16,97	24
PK	průměr myopů	100,72 ±10,57	120,92 ±23,11	150,56 ±31,26	168,89 ±0,00	174,17 ±0,00	142,06 ±23,00	114,72 ±5,58	82,56 ±25,57	50,89 ±20,30
	průměr hypermetropů	96,78 ±9,11	108,00 ±33,94	150,00 ±0,00	160,00 ±0,00	165,00 ±0,00	140,00 ±0,00	107,22 ±7,86	71,28 ±23,78	48,33 ±20,81
	rozdíl [%]	3,91	10,68	0,37	5,26	5,26	1,45	6,54	13,66	5,03
SK	průměr myopů	87,78 ±19,58	102,11 ±33,28	138,22 ±22,97	98,14 ±45,56	61,39 ±45,42	35,28 ±24,94	26,17 ±24,29	15,42 ±17,76	7,00 ±5,05
	průměr hypermetropů	80,89 ±31,10	120,00 ±0,00	134,22 ±24,16	82,17 ±52,55	37,83 ±23,05	37,89 ±37,99	32,33 ±15,52	21,72 ±24,61	4,00 ±2,49
	rozdíl [%]	7,85	17,52	2,89	16,27	38,38	7,4	23,54	40,86	42,86

Grafy ukazují závislost kontrastní citlivosti na jednotlivých prostorových frekvencích a data jsou zobrazeny ve spojnicovém grafu. V případě prvního grafu na Obrázek 18, který ukazuje měření obou skupin za plné korekce, jsou křivky téměř totožné a rozdíl průměrných hodnot v rozmezí 0,37- 13,66 % je skoro nepatrný. Obrázek č. 19 zobrazuje graf se dvěma křivkami, které popisují data za snížené korekce. Zelená křivka neboli křivka myopů je oproti žluté křivce spíše stálá. Svého maxima dosáhne v PF 3,0 c/st a poté mírně klesá. Křivka znázorňující průměrné hodnoty hypermetropů za SK je zbarvená do žluta a ta se naopak se zvyšující se PF mění. Nejvyššího bodu dosáhne také v PF 3,0 c/st, kde pak klesne až do 6,0 c/st, kde se ustálí a v posledním úseku rapidně klesne k nejnižšímu bodu. Oproti myopům lidé s hypermetropií v naší analýze mají nižší citlivost na PF v 6,0 c/st, ale zase lepší KC ve dvou vyšších PF (12,0; 16,97 c/st). Obě křivky mají společně nejvyšší bod, tudíž nejlepší kontrastní citlivost v nízké PF 3,0 c/st a nejnižší neboli nejhorší citlivost na kontrast v PF 24,0 c/s.



**Obrázek 18: Porovnání průměrných hodnot subjektů s myopií a s hypermetropií za PK**



**Obrázek 19: Porovnání průměrných hodnot subjektů s myopií a s hypermetropií za SK**

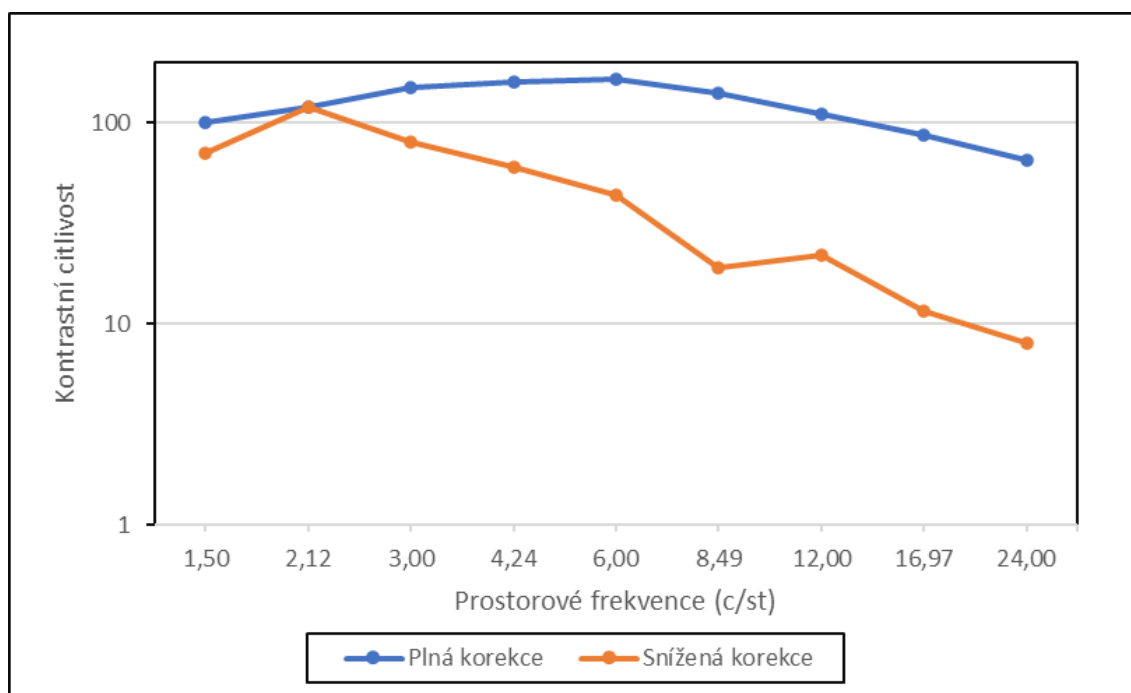
Další tři obrázky zobrazují grafy tří vybraných subjektů. Tyto grafy srovnávají u každého ze subjektů jejich kontrastní citlivost s plnou korekcí a poté se sníženou korekcí. Porovnáváme, zda výsledky jednotlivých zástupců myopie, hypermetropie a emetropie jsou zcela odlišné či se v nějakém ohledu ztotožňují. Obrázek č. 20 vykresluje graf subjektu s nejvýše naměřenou korekcí myopie našeho měření. Na obrázku č. 21 lze vidět graf závislosti získaných hodnot pro měřeného probanda, který je emetrop. Tomu nebyly naměřené žádné sférocylindrické hodnoty. Obrázek č. 22 znázorňuje křivky nejvýše naměřeného probanda s hypermetropií z této analýzy. V tabulce č. 4 jsou shrnuté výsledky subjektivní korekce pro tyto tři probandy.

Všichni tři měření probandi podle výsledků křivek neměli zásadní problém s měřenou kontrastní citlivostí za plné korekce. Až na jeden výkyv u probanda s hypermetropií, kdy při nízké PF 2,12 c/st KC klesla významněji než ostatní body. Při snížené korekci už byla KC znatelně horší u všech. U měřeného člověka s myopií se křivka snížené korekce od 2,12 c/st postupně snižuje, kdy v jednom bodě se opět trochu zvýší, ale pak znovu klesá až k nejnižšímu bodu ve vysokých PF. Křivka snížené korekce druhého subjektu, který je bez refrakční vady, je velmi kolísavá. Z počátečního bodu křivka mírně stoupá, kdežto poté hned klesá a tento úsek se ještě dvakrát opakuje. U třetího subjektu s hypermetropií křivka snížené korekce neobvykle začíná nízkou KC, poté stoupá až tam, kde se vyrovná KC s plnou

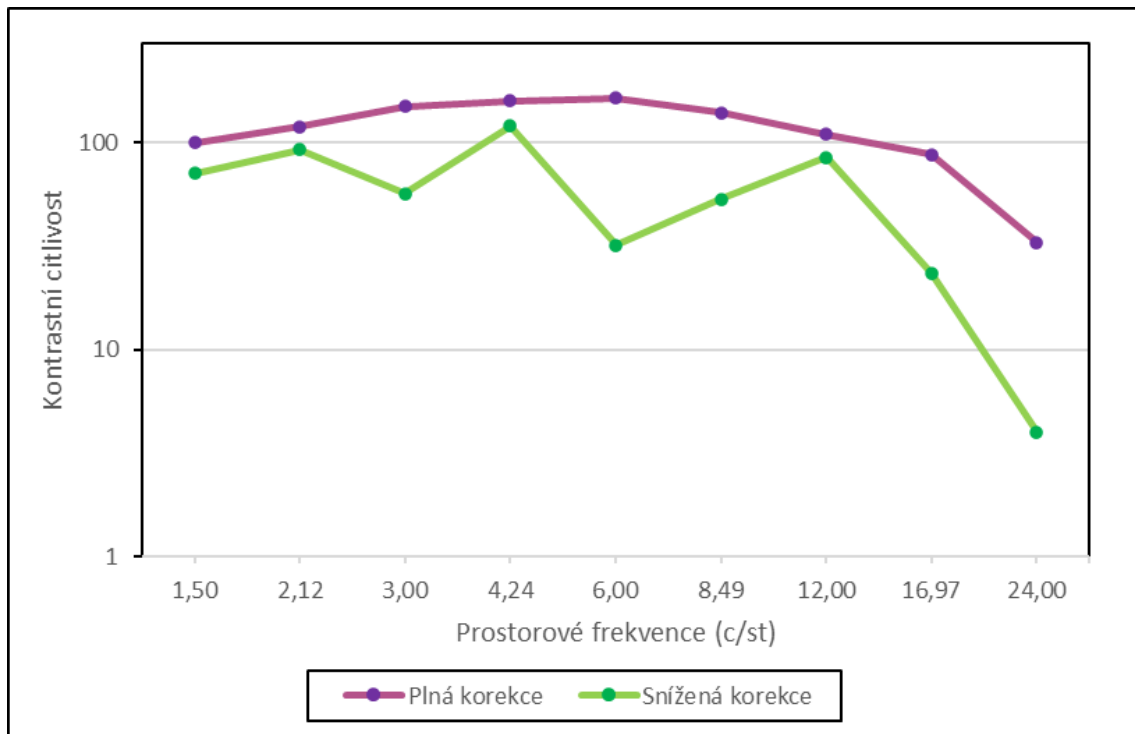
korekcí. Následuje sestup, mírný vzrůst, ale končí opět nejnižším bodem ve vysokých PF. Všechny tři křivky snížené KC mají společný konečný bod, který nejnižším bodem ve vysokých PF.

**Tabulka 4: Korekce pro pravé (OP) a pro levé (OL) vybraných subjektů k následujícím grafům**

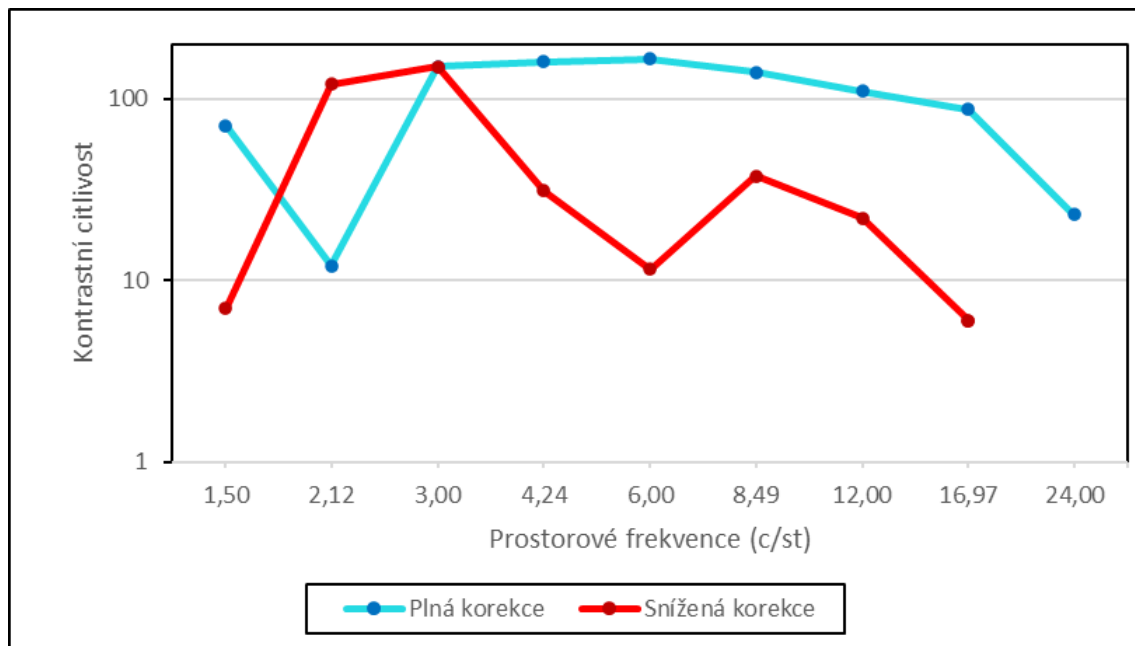
	OP	OL
1	-5,75/-0,25 ax 170	-5,25/-0,75 ax 5
2	plan	plan
3	+3,0/-0,5 ax 175	+2,5/-0,5 ax 180



**Obrázek 20: Graf KC subjektu s myopií za PK a za SK**



Obrázek 21: Graf KC subjektu s emetropií za PK a za SK



Obrázek 22: Graf KC subjektu s hypermetropií za PK a za SK



## 7 Diskuze

Cílem praktické části bylo porovnat měření kontrastní citlivosti s plnou sférocylindrickou korekcí se sníženou korekcí a zjistit, v jakých prostorových frekvencích, se kontrastní citlivost nejvíce zhoršila. Jelikož byli měření probandi s refrakčními vadami, bylo zkoumáno, jak velký vliv má korekce na měření kontrastní citlivost. Proto byli mezi sebou porovnáváni i probandi dvou skupin s myopií a s hypermetropií.

Před testováním kontrastní citlivosti se sníženou korekcí musela být plná korekce snížena. Zraková ostrost byla snižována kombinací opakních skel s plusovými čočkami. Výše hodnot plusových skel záležela na akomodační schopnosti očí, citlivosti na změny, refrakční vadě nebo věku probanda. Tyto aspekty však nebyly předmětem zkoumání.

Měření kontrastní citlivosti s plnou korekcí bylo pro většinu mnohem snadnější než za snížené korekce. Podle obrázku č. 17, na kterém je graf znázorňující křivky průměrných hodnot obou měření, lze říci, že v nízkých prostorových frekvencích za obou podmínek je kontrastní citlivost u měřených subjektů velmi dobrá. U dalších prostorových frekvencí se křivky liší. Při zvyšujících se prostorových frekvencích se kontrastní citlivost se sníženou korekcí rapidně zhoršuje, kdežto druhá křivka znázorňující plnou korekci se snižuje až od 6 c/st. I tak může být přijata hypotéza 1, že kontrastní citlivost s plnou korekcí a se sníženou korekcí je rozdílná.

Poslední, nejnižší bod křivky u snížené korekce je o 88 % nižší než poslední bod plné korekce. I u tak velkého rozdílu bodů je nejnižší kontrastní citlivost u plné korekce také v poslední testované prostorové frekvenci. Díky tomu je možné přijmout hypotézu 2, že nejnižší hodnota kontrastní citlivosti je v nejvyšších prostorových frekvencích.

U jednotlivých 9 prostorových frekvencí v plné a ve snížené korekci bylo zjišťováno, zda je jejich rozdíl statisticky významný ( $p < 0,05$ ). Ve všech měřených prostorových frekvencích, vyjma dvou (2,12; 3,0 c/st), byla tato podmínka splněna, proto jejich rozdíl je statisticky významný.

Z 30 subjektů bylo 28 (9 hypermetropů, 19 myopů) použito při porovnání měřených výsledků podle refrakční vady. Zbylí dva probandi nezapadali ani do jedné skupiny refrakčních vad. U výsledných hodnot při plné korekci byl největší rozdíl mezi myopy a hypermetropy 13,7 % u prostorové frekvence 16,97 c/st. Při snížené korekci už jsou rozdíly hodnot o něco větší, avšak největší je 42,9 % v nejvyšší prostorové frekvenci 24,0 c/st.

To znamená, že při snížené korekci je rozdíl hodnot 3,14krát větší než u hodnot za plné korekce. Proto hypotézu 3, a to že, mezi naměřenými hodnotami kontrastní citlivosti u myopů a u hypermetropů je zanedbatelný rozdíl, lze přijmout pouze u hodnot za plné korekce. Pro přesnější data by bylo vhodné mít stejný počet probandů a měřit na větším množství subjektů.

## 8 Závěr

Kontrastní citlivost lze využít jako doplněk při běžném vyšetření zrakové ostrosti, neboť dokáže odhalit zrakové obtíže, které při normálních vyšetření neodhalíme. Může tak pomáhat jako prevence některých očních onemocnění.

Práce se zabývá především vlivy působící na kontrastní citlivost. Byly zmíněné příčiny způsobené starším věkem, optické, neurologické a mnoho očními onemocněními, které ovlivňují kontrastní citlivost. Dále se zaměřuje na vytvoření přehledu nejčastěji používaných testů k měření kontrastní citlivosti. Jednotlivé testy byly rozděleny podle principu fungování, popsány a porovnány mezi sebou.

V praktické části byla měřena kontrastní citlivost za plné sférocylické korekce a poté se sníženou korekcí. Snížená korekce byla zhoršena na visus, při kterém je neprofesionálním řidičům automobilu dovoleno řídit. Ukázalo se, že při takovýchto podmínkách se kontrastní citlivost ve středních a vyšších zhorší. Největší zhoršení bylo naměřeno v nejvyšších prostorových frekvencích 24 c/st, při kterých dotýčný vnímá detaily a obrysy objektů. U jednotlivých prostorových frekvencí byl zjišťován, zda je rozdíl plné a snížené korekce statisticky významný. Z 9 prostorových frekvencí pouze 2 vyšly jako statisticky nevýznamné. Při analýze byla zkoumána podobnost průměrných hodnot v plné a ve snížené korekci u refrakčních vad. V plné korekci je rozdíl mezi myopy a hypermetropy zanedbatelný, avšak u snížené korekce se rozdíl průměrných hodnot dostal až na 42,9 %, což znamená, že u plné korekce je rozdíl významný.

Závěrem je, že kontrastní citlivost i za výborných světelných podmínek za snížené korekce je zhoršená ve středních a vysokých prostorových frekvencích. Proto řízení automobilu za snížené korekce a třeba i při zhoršených světelných podmínkách, musí být velmi stěžejní a může docházet k více dopravním nehodám.

## Seznam použité literatury

- [1] OLBRECHT, Jan. *Kontrastní citlivost a řízení motorových vozidel*. Olomouc, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.
- [2] JANOUŠKOVÁ, Petra. *Kontrastní citlivost-Methodika vyšetření, hodnocení získaných dat*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce MUDr. Veronika Pandoščáková.
- [3] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prométheus, 2002
- [4] HÝBLOVÁ, Anna. *Metody měření kontrastní citlivosti*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Ondřej Vlasák, Ph.D.
- [5] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013.
- [6] HABEL, Jiří. *Osvětlování*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998.
- [7] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2022 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>
- [8] DANKOVÁ, Hana. *Malujeme s úsměvem* [online]. 2019 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <http://malujemesusmevem.cz/2019/10/29/simultanni-kontrast/>
- [9] MRÁZIKOVÁ, Eva. *Citlivost na kontrast – principy a způsoby měření* [online]. Brno, 2009 [cit. 2022-11-03]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně.
- [10] DANNHOFEROVÁ, Jana. *Velká kniha barev: Kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry* [online]. Brno: Computer Press, 2012 [cit. 2022-11-03]. ISBN 978-80-251-3785-7. Dostupné z: <https://static.artforum.sk/media/products-files/3b/b3/129793-DB65121.pdf>
- [11] VLČKOVÁ, Eva. Klimes.mysteria: *Obrazy, které se mění před očima* [online]. Lidové noviny, 2007 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <http://klimes.mysteria.cz/clanky/psychologie/hybrid.htm>

- [12] BARTEN, Peter G. J. Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality. Bellingham, WA: SPIE Optical Engineering Press, 1999. ISBN 0-8194-3496-5.
- [13] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Praha: Grana Publishing, spol., 1997. ISBN 80-7169-140-2.
- [14] VÁVROVÁ, Lucie. *Vliv cyklického kolísání jasu optotypu na kontrastní citlivost u zdravých dospělých* [online]. Olomouc, 2016 [cit. 2022-11-22]. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Mgr. František Pluháček, PhD.
- [15] AMBLER, Zdeněk. *Klinická neurologie*. 2. vydání. Praha: Triton, 2008. 976 s. ISBN 978-80-7387-157-4.
- [16] Česká oční optika: Stáří a vidění [online]. srpen 2009, 50(3/2009) [cit. 2022-12-03]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: [https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci\\_2009\\_03.pdf](https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2009_03.pdf)
- [17] NOVÁK, Jiří. *Trendy v oční optice: Intraokulární rozptyl světla* [online]. 2018 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: [http://www.s-presspublishing.cz/archiv/201802\\_trendy.pdf](http://www.s-presspublishing.cz/archiv/201802_trendy.pdf)
- [18] SAMUELOVÁ, Radka. *Kontrastní citlivost při neoptimálních sférocylindrické korekci* [online]. Kladno, 2014 [cit. 2022-12-04]. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Novák Ph.D.
- [19] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. 1. vydání. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [20] KUCHYNKA, Pavel., *Oční lékařství*, ed. 2, Praha: Grada Publishing, 2007, ISBN 978-80-247-1163-8
- [21] CSV-1000 and contact lenses. In: Vectorvision [online]. [cit. 2022-12-21]. Dostupné z: <http://www.vectorvision.com/clinical-use-contact-lenses/>
- [22] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [23] BENJAMIN, William J. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006, xviii, 1694 p. ISBN 07-506-7524-1.

- [24] BENEŠ, Pavel. Přístroje pro optometrii a oftalmologii. Brno: NCO NZO, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [25] ELLIOTT, David. B., Clinical Procedures in Primary Eye Care, ed. 4, Elsevier saunders, 2014, ISBN 978-0-7020-5194-4
- [26] VENTRUBA, J. Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení. Česká oční optika, 1/2008, Společenstvo českých optiků a optometristů. ISSN 1211 233X
- [27] WOODS, Russell L.; WOOD, Joanne M. The role of contrast sensitivity charts and contrast letter charts in clinical practice. Clinical and Experimental Optometry, 1995, 78.2: 43-57.
- [28] Kontrastní citlivost, glare a kvalita vidění. Česká oční optika. 2006, roč. 47, č. 3.  
Dostupné z: <http://www.4oci.cz/>
- [29] DIETZE, H., Die optometrische Untersuchung. ed.2. Thieme, 2015, ISBN 978-3-13-142232-3.
- [30] Wikiskripta [online]. 2010 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z:  
[https://www.wikiskripta.eu/w/Zrakov%C3%A1\\_dr%C3%A1ha#/media/Soubor:Zrakovadraha.png](https://www.wikiskripta.eu/w/Zrakov%C3%A1_dr%C3%A1ha#/media/Soubor:Zrakovadraha.png)
- [31] Projekt IVA VFU Brno: Zrak [online]. 2017 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z:  
[https://www.vfu.cz/files/1200\\_04\\_postery.pdf](https://www.vfu.cz/files/1200_04_postery.pdf)
- [32] Limex-Technik [online]. 2018 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <http://limex-technik.cz/blog/148-proc-se-neumime-shodnout-na-odstinu-barvy>
- [33] ŘEHOUNEK, Ondřej. Design and testing of algorithms for evaluation of contrast sensitivity. Kladno, 2017 [cit. 2023-01-07]. Master thesis. Czech Technical University in Prague. Vedoucí práce Doc. Ing. Marie Pospíšilová, CSc.
- [34] Researchgate [online]. 2005 [cit. 2023-01-05]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/figure/Sample-VCTS-6500-contrast-sensitivity-chart-Source-Vistech-Consultants-1988\\_fig4\\_267839011](https://www.researchgate.net/figure/Sample-VCTS-6500-contrast-sensitivity-chart-Source-Vistech-Consultants-1988_fig4_267839011)

- [35] Arq Bras Oftalmol: Repeatability of contrast sensitivity testing in patients with age-related macular degeneration, glaucoma, and cataract. In: Scielo.br [online]. 2016 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://www.scielo.br/j/abo/a/X3C6WRwjK7GzrK4YfYM8Str/?lang=en&format=pdf>
- [36] Vector Vision: Standardized Contrast Sensitivity Tests [online]. [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://vectorvision.com/csv1000-contrast-sensitivity/>
- [37] BĚHOUNKOVÁ, Michaela. Vyšetření kontrastní citlivosti. Brno, 2017 [cit. 2023-01-08]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Petr Veselý, DiS., Ph.D.
- [38] TOPCON. Instruction manual LCD Computerized Chart: CC-100XP. Nederland, 2009.
- [39] Osterbergův test: Bichrom-Balance-Test. In: Ohi.at [online]. Vídeň, 2022 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.ohi.at/topic/binokularer-abgleich-und-refraktionsgleichgewicht/bichrom-balance-test-1024x1024/>
- [40] Zákony pro lidi: Vyhláška č. 277/2004 Sb. [online]. 2004 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: [https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-277?fbclid=IwAR1avQN43em7JGAz\\_R3Os2x0IaRAqr18l0LCB42u9lQ7IELKj16zmVkMnpQ](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-277?fbclid=IwAR1avQN43em7JGAz_R3Os2x0IaRAqr18l0LCB42u9lQ7IELKj16zmVkMnpQ)
- [41] NOVÁKOVÁ, Julie. Student.finance.cz: Naučte se používat statistiku: Začínáme testovat hypotézy. Studentskefinance.cz [online]. 21.05.2012 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://student.finance.cz/zpravy/finance/353021-naucte-se-pouzivat-statistiku-zaciname-testovat-hypotezy/>
- [42] Social Science Statistics: Wilcoxon Signed-Rank Test Calculator [online]. 2023 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.socscistatistics.com/tests/signedranks/default2.aspx>

## Seznam symbolů a zkratk

### Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
$\Phi$	lm	Světelný tok
$I$	cd	Svítivost
$L$	cd·m <sup>-2</sup>	Jas
$E$	lx	Osvětlení
$f$	c/st	Prostorová frekvence

### Seznam zkratk

Zkratka	Význam
KC	Kontrastní citlivost
ZO	Zraková ostrost
PK	Plná korekce
SK	Snížená korekce
OP	Pravé oko
OL	Levé oko



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Zraková dráha [30] .....	4
Obrázek 2: Vrstvy sítnice [31] .....	7
Obrázek 3: Simultánní kontrast [32] .....	11
Obrázek 4: Sukcesivní kontrast [vlastní tvorba] .....	12
Obrázek 5: Znázornění 1 cyklu [vlastní tvorba] .....	12
Obrázek 6: Zobrazení vyšších a nižších prostorových frekvencí v praxi [11] .....	13
Obrázek 7: Křivka kontrastní citlivosti [33] .....	14
Obrázek 8: Typy ztráty kontrastní citlivosti [23] .....	15
Obrázek 9: Pelli-Robsonův test [26] .....	23
Obrázek 10: VCTS- 6500 [34] .....	25
Obrázek 11: FACT [35] .....	25
Obrázek 12: CSV-1000E [36] .....	26
Obrázek 13: Osterbergův test [39] a třířádkový test [vlastní tvorba] .....	28
Obrázek 14: Bodový test [38] .....	28
Obrázek 15: Orientace sinusové mřížky při testování [38] .....	29
Obrázek 16: Měřené hodnoty kontrastní citlivosti za PK a SK .....	32
Obrázek 17: Průměrné hodnoty plné a snížené korekce .....	33
Obrázek 18: Porovnání průměrných hodnot subjektů s myopií a s hypermetropií za PK ..	35
Obrázek 19: Porovnání průměrných hodnot subjektů s myopií a s hypermetropií za SK ..	36
Obrázek 20: Graf KC subjektu s myopií za PK a za SK .....	37
Obrázek 21: Graf KC subjektu s hypermetropií za PK a za SK .....	38
Obrázek 22: Graf KC subjektu s emetropií za PK a za SK .....	38

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Korekce měřená subjektivní refrakce všech respondentu a potřebné zamlžení plusovými čočkami k snížení kontrastní citlivosti .....	31
Tabulka 2: Průměrné hodnoty, směrodatné odchylky při plné korekci (PK) a při snížené korekci (SK) .....	32
Tabulka 3: Průměrné hodnoty, směrodatná odchylka a rozdíl probandů s myopií a s hypermetropií za PK a SK .....	34
Tabulka 4: Korekce pro pravé (OP) a pro levé (OL) vybraných subjektů k následujícím grafům.....	37

## Příloha A: Data pro plnou korekci

Zaznamenaná data kontrastní citlivosti pro plnou korekci.

Plná korekce	Prostorová frekvence									
	1,50	2,12	3,00	4,24	6,00	8,49	12,00	16,97	24,00	
1	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	K o n t r a s t n í  c i t l i v o s t
2	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
3	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
4	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
5	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	23,5	65,0	
6	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
7	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
8	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	37,0	110,0	11,5	4,0	
9	71,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
10	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
11	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	46,0	
12	100,0	16,5	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	64,5	46,0	
13	71,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
14	71,0	12,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	23,0	
15	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	46,0	
16	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	85,0	46,5	8,0	
17	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	46,5	33,0	
18	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
19	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	85,0	97,5	23,0	
20	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	33,0	
21	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
22	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	0,0	12,0	
23	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
24	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
25	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	65,0	
26	71,0	120,0	10,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	23,0	
27	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	33,0	
28	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	33,0	
29	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	33,0	
30	100,0	120,0	150,0	160,0	165,0	140,0	110,0	87,5	46,0	

## Příloha B: Data pro sníženou korekci

Zaznamenaná data kontrastní citlivosti pro sníženou korekci.

snížená korekce	Prostorová frekvence									
	1,50	2,12	3,00	4,24	6,00	8,49	12,00	16,97	24,00	
1	100,0	120,0	150,0	160,0	22,0	19,0	60,0	11,5	8,0	K o n t r a s t n í  c i t l i v o s t
2	100,0	120,0	114,0	42,5	165,0	53,5	22,0	11,5	4,0	
3	100,0	120,0	114,0	160,0	32,0	14,5	30,0	17,0	4,0	
4	25,0	120,0	150,0	121,0	62,0	75,0	11,0	6,0	12,0	
5	100,0	120,0	114,0	85,0	44,0	28,0	30,0	87,5	4,0	
6	100,0	120,0	150,0	85,0	32,0	53,5	110,0	11,5	17,0	
7	71,0	120,0	80,0	60,5	44,0	19,0	22,0	11,5	8,0	
8	100,0	0,0	150,0	21,5	87,0	14,5	8,0	8,5	4,0	
9	100,0	120,0	150,0	160,0	44,0	28,0	43,0	87,5	4,0	
10	100,0	120,0	150,0	160,0	62,0	106,5	11,0	23,5	4,0	
11	71,0	46,5	80,0	121,0	44,0	19,0	11,0	11,5	4,0	
12	71,0	92,5	150,0	85,0	22,0	19,0	8,0	11,5	23,0	
13	100,0	120,0	150,0	42,5	44,0	28,0	43,0	8,5	6,0	
14	7,0	120,0	150,0	31,0	11,5	37,5	22,0	6,0	0,0	
15	100,0	92,5	150,0	121,0	165,0	0,0	11,0	11,5	4,0	
16	50,0	120,0	150,0	60,5	22,0	0,0	15,0	6,0	6,0	
17	71,0	120,0	80,0	21,5	16,0	10,0	22,0	6,0	0,0	
18	100,0	120,0	150,0	15,5	62,0	106,5	30,0	11,5	4,0	
19	100,0	120,0	150,0	160,0	32,0	10,0	22,0	17,0	4,0	
20	100,0	120,0	150,0	60,5	22,0	14,5	15,0	11,5	8,0	
21	71,0	120,0	114,0	60,5	62,0	19,0	11,0	17,0	6,0	
22	100,0	120,0	150,0	121,0	32,0	19,0	22,0	6,0	4,0	
23	71,0	46,5	150,0	160,0	165,0	37,5	60,0	17,0	4,0	
24	100,0	120,0	150,0	85,0	44,0	106,5	60,0	17,0	4,0	
25	100,0	120,0	150,0	160,0	62,0	53,5	11,0	11,5	6,0	
26	100,0	120,0	150,0	60,5	62,0	37,5	11,0	0,0	4,0	
27	100,0	92,5	150,0	85,0	62,0	28,0	30,0	6,0	4,0	
28	100,0	120,0	80,0	85,0	165,0	53,5	8,0	8,5	0,0	
29	71,0	92,5	57,0	121,0	32,0	53,5	85,0	23,5	4,0	
30	100,0	120,0	150,0	121,0	87,0	19,0	22,0	33,0	6,0	