

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

# **CROWDING FENOMÉN**

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Jitka Ošťádalová

Obor 5345R008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2013/2014

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. František Pluháček, Ph.D.

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 24. 4. 2014

.....

Jitka Ošťádalová

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mi pomohli při psaní této bakalářské práce, zejména RNDr. Františku Pluháčkovi, Ph. D., vedoucímu mé práce, za cenné rady a připomínky, které mi v průběhu psaní poskytl, a za čas strávený při konzultacích.

Tento text vznikl za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA\_PrF\_2014015.

# Obsah

Úvod.....	6
1 Zraková ostrost .....	8
1.1 Definice .....	8
1.1.1 Detekční zraková ostrost.....	8
1.1.2 Lokalizační zraková ostrost .....	9
1.1.3 Rozlišovací zraková ostrost .....	10
1.2 Zápis zrakové ostrosti .....	11
1.2.1 Snellenův zlomek a zápis desetinným číslem.....	12
1.2.2 Logaritmická stupnice.....	12
1.3 Konstrukce optotypů .....	14
1.3.1 Snellenův optotyp .....	14
1.3.2 Optotypy s aritmetickou řadou .....	17
1.3.3 Logaritmické optotypy.....	17
1.3.4 Optotypy s VAR .....	19
1.4 Kontrast .....	19
2 Receptivní pole .....	22
2.1 Struktura sítnice .....	22
2.2 Receptivní pole.....	24
3 Crowding fenomén a konturová interakce .....	25
3.1 Konturová interakce .....	25
3.1.1 Mechanismy konturové interakce.....	27
3.2 Crowding fenomén.....	28
3.2.1 Vlastnosti crowdingu .....	29
3.2.2 Mechanismy crowding fenoménu.....	29
3.2.3 Fyzikální vlastnosti podnětu .....	30

3.2.4	Receptivní pole .....	30
3.2.5	Crowding za skotopických podmínek.....	31
3.2.6	Crowding fenomén u dětí .....	31
3.2.7	Vliv crowdingu a dyslexie na čtení.....	32
4	Amblyopie .....	33
4.1	Konturová interakce a crowding fenomén při amblyopii .....	33
4.2	Možné příčiny .....	34
	Závěr .....	36
	Seznam použité literatury .....	38

## Úvod

Zrak je bezesporu nejdůležitější lidský smysl a jeho zhoršení či dokonce ztráta znamená pro člověka vyšší či nižší míru určitého diskomfortu až handicapu. Proto by každý člověk měl docházet na pravidelné kontroly zraku ke speciálně vyškoleným odborníkům, aby mohla být včas stanovena správná korekce refrakčních vad či zahájena léčba očních onemocnění. Správné vyšetření zrakové ostrosti je základním předpokladem pro stanovení optimální korekce refrakční vady. Nemusí ovšem platit, že pokud vyšetřovaný přečte 100 % testových znaků na optotypu, bude stejně dobře vidět i v běžném životě, kdy se obvykle nesetkává s tak kontrastními a více či méně izolovanými písmeny jako tomu je při vyšetření.

Je známo, že nejlepší zrakové ostrosti je dosaženo při čtení izolovaných písmen, což platí jak pro zrakovou ostrost v oblasti fovey, tak i zrakovou ostrost v oblasti periferie, ale především to platí pro pacienty s amblyopií. Pokud k tomu není zvláštní důvod, při vyšetřování zrakové ostrosti se jen velmi zřídka používají zcela izolované znaky. Většinou se používají optotypy různých konstrukcí, kde jsou vyšetřovací znaky uspořádány v řádcích pod sebou. Ovšem kontury či jiné znaky v blízkosti pozorovaného znaku mají negativní vliv na rozlišitelnost takového znaku. Tyto jevy jsou označovány jako konturová interakce a crowding fenomén (z angl. crowding – zhušťování), které jsou při prostorovém vidění neustále přítomny. Z toho logicky plyne, že příliš malé rozestupy mezi znaky na optotypech budou ovlivňovat výslednou hodnotu měřené zrakové ostrosti. Právě z tohoto důvodu byl navržen takový design standardizovaného optotypu, jehož snahou je crowdingu co nejvíce zamezit.

I když je crowding fenoménu věnována značná pozornost již mnoho let, stále není zcela jasná přesná příčina. Vědci ovšem přichází s mnoha rozličnými teoriemi do určité míry vysvětlujícími jeho vznik. Tyto teorie pojednávají o modelech založených na fyziologii zrakového systému, které zahrnují i receptivní pole a nervový původ, přes modely fyzikálních vlastností stimulu až po míru vlivu pozornosti.

Cílem této práce je poskytnout ucelený pohled na problematiku konturové interakce a crowding fenoménu, definovat tyto jevy a charakterizovat je, objasnit jejich možné příčiny a vysvětlit jejich dopady v běžném životě. První část bakalářské práce se týká zrakové ostrosti, jejích typů a prostředků na její měření, zvláště způsobů

konstrukcí optotypů a to s ohledem na crowding fenomén. Druhá část se již plně věnuje problematice konturové interakce a crowding fenoménu. Jelikož crowding fenomén se výrazně projevuje zejména u amblyopie (tupožrakosti), je závěr práce zaměřený právě na tuto oční poruchu a na porovnání crowding fenoménu u amblyopů a u lidí bez této poruchy.

# 1 Zraková ostrost

## 1.1 Definice

Koncem 19. století nizozemský oftalmolog F. C. Donders definoval zrakovou ostrost jako „schopnost zrakového systému rozeznávat drobné detaily předmětů a zvláště číst co nejdrobnější, kontrastní písmena“ [1]. Zrakovou ostrost ovlivňuje několik faktorů. Jsou to faktory jak fyzikální, například vady optického systému, tak fyziologické, jako adaptace a rozložení smyslových elementů, a psychologické, především kontrast a pozornost. [1]

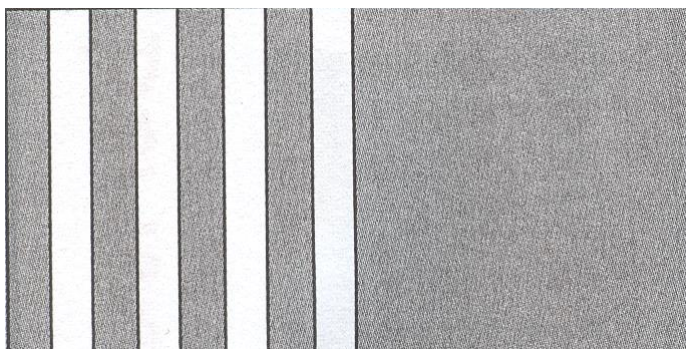
Prostorová zraková ostrost představuje nejmenší prostorový detail, který vyšetřovaná osoba zaznamená, rozliší nebo rozpozná. Míra zrakové ostrosti závisí na mnoha různých okolnostech. Její zhoršení je výrazné při optickém rozostření, snížené intenzitě jasu či kontrastu pozorovaného objektu a vzdálenosti od fovey. Dále mají na zhoršení zrakové ostrosti vliv pohybující se objekty a objekty prezentované krátkou dobu. Omezení zrakové ostrosti představuje také rozostření na nervové úrovni, které souvisí s neurony a velkými receptivními poli. Mezi tři hlavní typy prostorové zrakové ostrosti patří: detekční ostrost (také nazývána *minimum visibile*), lokalizační ostrost a rozlišovací ostrost (*minimum separabile*). Jako čtvrtý typ zrakové ostrosti se často uvádí i identifikační ostrost. [2]

### 1.1.1 Detekční zraková ostrost

Detekční ostrost je schopnost určit přítomnost či nepřítomnost nejmenšího možného pozorovaného bodu nebo úsečky. K tomuto účelu se využívají testy, kde na jedné straně pole je tečka, úsečka či mřížka a druhá polovina testu je prázdná plocha o stejném jasu, viz obr. 1. Úkolem vyšetřovaného je určit, na které polovině jsou zobrazeny symboly. Pokud se tento test provádí pomocí mřížky, dá se zároveň otestovat i kontrastní citlivost. To, zda vyšetřovaný dokáže správně určit polohu testové značky, záleží hlavně na jasu či kontrastu retinálního obrazu. Úhlová velikost testové značky tak důležitá není, protože kvůli optické stavbě oka je to právě osvětlení retinálního obrazu, nikoli jeho velikost, které klesá se zmenšující se testovou značkou. Viditelnost testové značky tedy závisí na schopnosti optického systému oka rozlišit oblast s odlišným



jasem. Z konstrukčních důvodů se jako testové značky v klinické praxi nevyužívají úsečky, protože jejich velikost ve vzdálenosti 6 m by byla pouze 15  $\mu\text{m}$  a ve vzdálenosti 40 cm méně než 1  $\mu\text{m}$ . [2, 3]



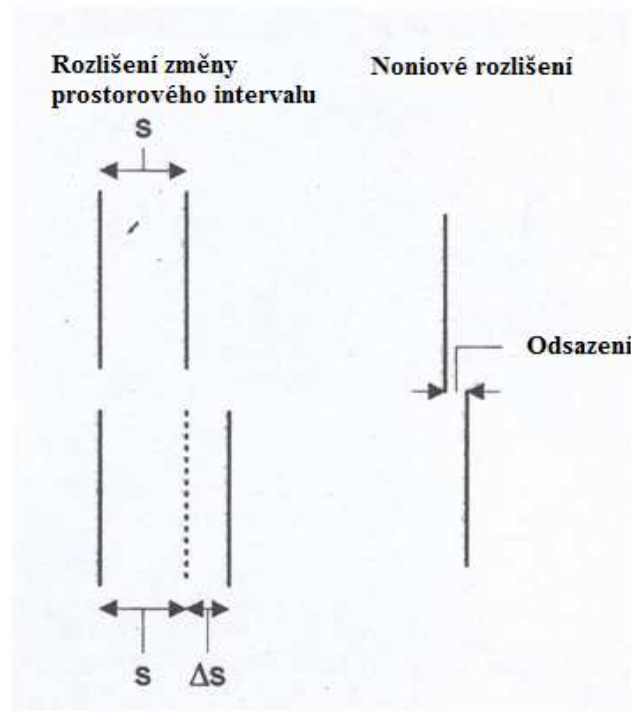
Obr. 1 Test detekční ostrosti [3]

### 1.1.2 Lokalizační zraková ostrost

Lokalizační ostrost zjišťuje nejmenší rozdíl v polohách dvou testových značek, který může být ještě rozlišen. K tomu slouží dva typy testů: rozlišení změny prostorového intervalu a noniové rozlišení (Vernier acuity), jejichž schémata jsou na obr. 2. Rozlišení změny prostorového intervalu se měří pomocí dvou rovnoběžných úseček a vyšetřovaný určuje nejmenší možnou změnu v poloze těchto dvou úseček, kterou je schopný označit jako větší nebo menší, než byl výchozí stav. Noniové rozlišení se zase určuje jako nejmenší možné viditelné odsazení mezi dvěma úsečkami, které vyšetřovaný vnímá jako odchylku doprava či doleva od stavu, kdy jsou úsečky přesně zarovnané tak, že splynou do jedné úsečky.

Mohou být použity i jiné testové značky, například dvě tečky nebo úsečky, z nichž jedna je nakloněná. Tyto metody jsou mnohem jemnější, protože dokážou rozlišit dvě testové značky i v rozmezí 2 – 6 '' (úhlových vteřin), což je méně než rozložení fotoreceptorů na sítnici. Z tohoto důvodu se také říká lokalizační ostrosti hyper - zraková ostrost (hyperacuity) a panuje všeobecné přesvědčení, že nervové mechanismy této ostrosti se nenachází v sítnici, ale dále ve zrakové kůře. V klinické

praxi se tyto testy také moc nepoužívají, protože velikosti odsazení na vzdálenost 6 m by byla 0,17 mm a na 40 cm pouze 0,01 mm. [2, 3]

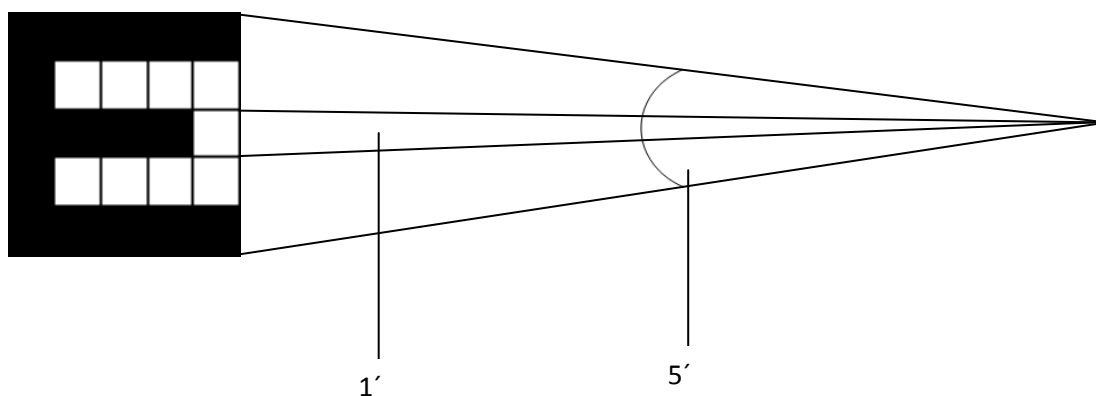


Obr. 2 Test rozlišení změny prostorového intervalu a noniového rozlišení (upraveno podle [2])

### 1.1.3 Rozlišovací zrková ostrost

Rozlišovací ostrost představuje schopnost odlišit dva testové body jako dva body. Číselně ji lze charakterizovat pomocí minimálního úhlového rozlišení (MÚR), které odpovídá nejmenší úhlové vzdálenosti dvou bodů, při které jsou ještě okem od sebe odlišeny. U testů na rozlišovací zrkovou ostrost pak MÚR odpovídá úhlové velikosti detailu, který musí být rozlišen, aby vyšetřovaný správně určil testový znak, viz obr. 3. Jako znaky se používají Landoltovy prstence nebo Pflügerovy háky či E háky. Detail znaku potom tvoří mezera u Landoltových prstenců nebo šířka čáry použitého znaku. Výhodou použití těchto testových znaků je, že každý symbol na řádce má stejnou obtížnost rozlišitelnosti. Jinak tomu je totiž u standardních Snellenových optotypů, kde ne všechna písmena jsou stejně dobře rozlišitelná. Podle Hartridge a Owense [3] se nejvíce pletou písmena C, B, O, R a S, zatímco nejlépe odlišitelná jsou

A, J a E. Písmena, která se běžně používají, jsou Sloanova písmena. Jsou ve formátu mřížky 5 x 5 a řadí se mezi ně C, D, H, K, N, O, R, S, V a Z [3]. S rozlišovací schopností velmi úzce souvisí i identifikační ostrost, což je přímé pojmenování testových značek, jako jsou písmena, čísla nebo symboly a obrázky. Použití obrázků pro vyšetřování dětí může být ale někdy problematické. Dítě totiž může skvěle rozlišit detaily obrázku, ale nemusí jej umět pojmenovat. Na některých starších optotypech jsou totiž obrázky, se kterými se dnešní děti vůbec nemusely setkat. [2, 3]



Obr. 3 Minimální úhlové rozlišení

## 1.2 Zápis zrakové ostrosti

Výslednou zrakovou ostrost je možné zapsat několika různými způsoby. Každý z nich má své výhody i nevýhody a je na vyšetřujícím, kterou z možností si zvolí, protože hodnota zrakové ostrosti je u všech způsobů zápisu stejná. Zrakovou ostrost lze charakterizovat jednak již zmíněným minimálním úhlovým rozlišením MÚR nebo pomocí tzv. visu. Visus je definován vztahem  $V = 1'/MÚR$ , kde  $1'$  je referenční hodnota MÚR a MÚR je skutečné minimální úhlové rozlišení vyšetřovaného oka. Minimální úhlové rozlišení je nejmenší úhlová vzdálenost dvou bodů, při které je oko ještě rozliší, což z fyziologického hlediska znamená, že dva body budou rozlišeny, pokud mezi jejich obrazy na sítnici bude ležet alespoň jeden čípek. A protože velikost jednoho čípku je asi  $5 \mu\text{m}$  a vzdálenost sítnice od obrazového uzlového bodu oka

16,67 mm, potom úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů je 0,0003 rad, což odpovídá zornému úhlu 1'. Visus lze zapsat pomocí desetinného čísla nebo pomocí Snellenova zlomku. Místo MÚR je možné užít jeho logaritmu. [4]

### 1.2.1 Snellenův zlomek a zápis desetinným číslem

Snellenův zlomek je takový zlomek, kde v čitateli je udána vyšetřovací vzdálenost a ve jmenovateli číslo řádku. Vyšetřovací vzdálenost je vzdálenost, ze které je pacient vyšetřován. Standardně je to 5 nebo 6 metrů, protože oko na tuto vzdálenost již neakomoduje. Číslo řádku je vzdálenost, ze které je řádek právě přečten osobou s visem 1, tj. obvykle je z této vzdálenosti vidět pod zorným úhlem 5'. Platí tedy, že pokud je visus 6/12, tak nejmenší znak, který pacient rozliší ze vzdálenosti 6 m, je pod úhlem 5' vidět ze vzdálenosti 12 m. Výhodou této metody je, že zápis obsahuje informaci o vzdálenosti, ze které se vyšetřovalo. Lze dokázat, že tento zápis odpovídá výše uvedené definici visu, tj. po naznačeném dělení získáme zápis visu v desetinném čísle. Tento způsob postrádá informaci o vzdálenosti, ze které se vedlo vyšetření, ale může usnadnit komunikaci s vyšetřovaným, který si hodnoty zrakové ostrosti snáze představí. [4]

Ze známého visu je pak možné zpětně dopočítat MÚR jako  $MÚR = 1'/V$ , takže například pro visus 6/12 bude hodnota MÚR 2 minuty. Další způsob výpočtu MÚR je převrácená hodnota Snellenova zlomku, tedy pokud Snellenův zlomek bude 6/12, MÚR bude  $12/6 = 2$  minuty. [3]

### 1.2.2 Logaritmická stupnice

Poslední možností je potom vyjádřit zrakovou ostrost jako logaritmus MÚR, takže například písmeno s hodnotou visu 6/60 má MÚR 10, z čehož plyne, že  $\log MÚR$  je 1,0. Záporné hodnoty  $\log MÚR$  značí písmena s hodnotou visu menší než 6/6, tedy například pokud je  $\log MÚR -0,1$ , potom MÚR odpovídá hodnotě 0,794 a ve vyšetřovací vzdálenosti 6 metrů je visus 6/4,8. [3]

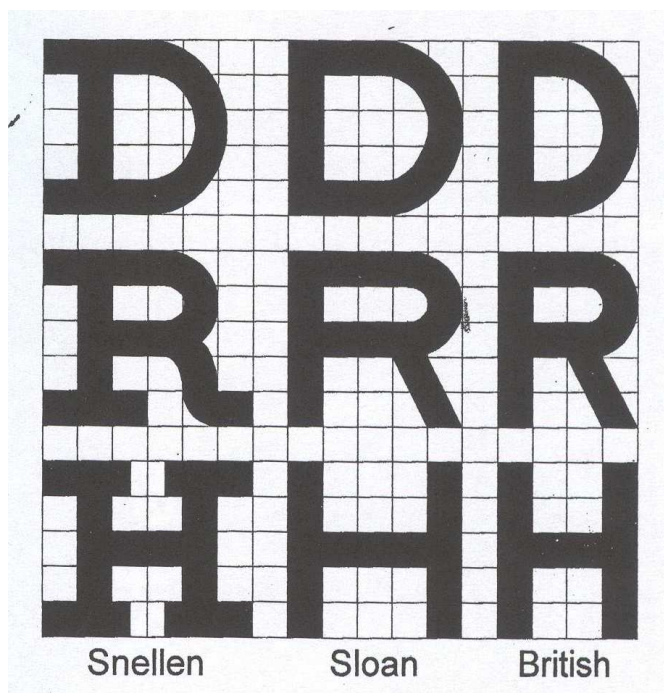
Pro srovnání jsou všechny možnosti zápisu zrakové ostrosti uvedeny v tabulce [5]. Tabulka uvádí hodnoty zrakové ostrosti ve vzdálenostech 20 stop, 6 m a 4 m a zraková ostrost je vyjádřena zlomkem, desetinným číslem a pomocí logaritmu.

Tab. 1 Srovnání možností zápisů zrakové ostrosti (upraveno podle [5])

Snellenův zlomek			Visus desetinným číslem	Log MAR
20 stop	6 m	4 m		
20 / 630	6 / 190	4 / 125	0.032	+1.5
20 / 500	6 / 150	4 / 100	0.04	+1.4
20 / 400	6 / 120	4 / 80	0.05	+1.3
20 / 320	6 / 95	4 / 63	0.06	+1.2
20 / 250	6 / 75	4 / 50	0.08	+1.1
20 / 200	6 / 60	4 / 40	0.1	+1.0
20 / 160	6 / 48	4 / 32	0.125	+0.9
20 / 125	6 / 38	4 / 25	0.16	+0.8
20 / 100	6 / 30	4 / 20	0.2	+0.7
20 / 80	6 / 24	4 / 16	0.25	+0.6
20 / 63	6 / 19	4 / 12.5	0.32	+0.5
20 / 50	6 / 15	4 / 10	0.4	+0.4
20 / 40	6 / 12	4 / 8	0.5	+0.3
20 / 32	6 / 9.5	4 / 6.3	0.63	+0.2
20 / 25	6 / 7.5	4 / 5	0.8	+0.1
20 / 20	6 / 6	4 / 4	1.0	0
20 / 16	6 / 4.8	4 / 3.2	1.25	-0.1
20 / 12.5	6 / 3.8	4 / 2.5	1.6	-0.2
20 / 10	6 / 3	4 / 2	2.0	-0.3

### 1.3 Konstrukce optotypů

Optotyp je soubor testových znaků (písmena, čísla, obrázky, E háky, Pflügerovy háky, Landoltovy prstence) seřazených podle velikosti, pomocí kterých se měří visus. Možné typy testových písmen jsou zobrazeny na obr. 4. Aby vyšetřovaný přečetl tyto znaky, které vidí pod zorným úhlem 5', musí rozlišit jejich jednotlivé linie pod úhlem 1', jelikož detail znaku je roven 1/5 výšky znaku. Visus je tedy dán úhlovou velikostí detailů znaků na právě rozlišeném řádku. Každý řádek je označen buď přímo hodnotou visu jako desetinným číslem nebo číslem řádku. Řádek je považován za přečtený, pokud vyšetřovaný správně rozliší alespoň 60 % znaků. Pro správné vyšetřování je nutné osvětlení optotypu nejméně 100 lx při kontrastu 85 % ± 5. [4, 6]



Obr. 4 Typy písmen na optotypech [2]

#### 1.3.1 Snellenův optotyp

I když snahy o měření visu pomocí písmen pochází již z počátku 19. století, byl to až holandský oftalmolog Herman Snellen z Utrechtu, kdo roku 1862 navrhl

a zkonstruoval optotypy, které se používají dodnes, viz obr. 5 [1, 3]. Podle jeho návrhu jsou písmena vepsána do čtverce 5 x 5, případně 5 x 4. Velikost čtverce je vždy taková, aby z dané vzdálenosti byl celý viděn pod úhlem 5' a jednotlivé menší čtverce, čili detaily znaku, pod úhlem 1'. Proto je detail znaku roven 1/5 výšky optotypu. Některé starší optotypy mohou mít ještě patkové písmo, i když se od něj v současnosti upouští. Přestože jsou Snellenovy optotypy stále používány, a to zvláště u oftalmologů, mají několik nedostatků [1]:

- 1) Jak již bylo zmíněno dříve, všechna písmena nejsou stejně dobře čitelná. Proto se používají Sloanova písmena, mezi která patří S, D, K, H, N, O, C, V, R a Z.
- 2) Počet písmen na jednotlivých řádcích není stejný, vzrůstá od jednoho až po osm písmen. Takže aby mohl být řádek o dvou písmenech považován za přečtený, vyšetřovaný musí přečíst jedno písmeno. Pokud je ovšem na řádku písmen šest, potom vyšetřovaný musí přečíst alespoň tři písmena. Navíc dle crowding fenoménu (viz níže) se lépe čtou jednotlivé znaky, než skupiny znaků na řádku.
- 3) Horizontální vzdálenost písmen v řádcích není úměrná šířce písmen a kolísá od 40 % do 120 %.
- 4) Ani vertikální vzdálenost řádků neodpovídá velikosti písmen v řádcích.
- 5) Velikosti písmen v řádcích se nemění pravidelně. Mezi řádky 6/5 a 6/6 je zvětšení písmen 120 %, ale mezi řádky 6/36 a 6/60 je zvětšení 167 %.
- 6) Původní Snellenovy optotypy mají nejmenší písmeno 6/4, ale většina mladých lidí má visus lepší než 6/4.
- 7) Problém nastává, pokud vyšetřovaný není schopen přečíst celý řádek. Standardně se jako hodnota visu považuje nejmenší řádek, kde vyšetřovaný přečetl alespoň 60 % znaků. V praxi se ale může stát, že vyšetřovaný přečte několik písmen na dalším řádku nebo naopak některá písmena na řádku nepřečte. V takových případech se pak visus označuje pomocí horních indexů. Takže visus  $6/12^{+1}$  znamená, že vyšetřovaný přečte řádek 6/12 a ještě navíc jeden znak z následujícího řádku 6/9, a podobně visus  $6/12^{-2}$  znamená, že vyšetřovaný dva znaky z řádku 6/12 nepřečte. Nepřesnosti v zápisu hodnoty visu mohou vznikat také v případě, že vyšetřovaný jedno písmeno řádku

např. 6/9 nepřečte, ale přečte všechna kromě jednoho z následujícího řádku 6/6. Potom je visus zaznamenán jako 6/6<sup>-1</sup> a chyba z řádku 6/9 je ignorována. [3]

Změny visu u Snellenových optotypů sledují empirickou řadu, čili hodnoty visu jsou stanovené na základě zkušeností. Největší písmeno je tak velké, že by jej bezvadné oko vidělo ze vzdálenosti 60 m a nejmenší písmeno by takové oko vidělo ze vzdálenosti 4 m. Celá řada pro vyšetřovací vzdálenost 6 m potom je 6/60, 6/30, 6/24, 6/18, 6/15, 6/12, 6/9, 6/6, 6/4 a pro vyšetřovací vzdálenost 5 m je 5/50, 5/30, 5/20, 5/15, 5/10, 5/7,5, 5/5 a 5/4. [4]



Obr. 5 Snellenův optotyp [7]



### 1.3.2 Optotypy s aritmetickou řadou

Další možností konstrukce optotypů jsou optotypy se změnou visu dle aritmetické řady. Tento způsob konstrukce se používá zejména v USA a rozdíl visu mezi jednotlivými řádky má konstantní hodnotu 0,1. Optotyp se skládá z řádků o visu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5 a 2,0. Ovšem podstatnou nevýhodou optotypů s aritmetickou řadou je fakt, že řádky pro horší visus jsou příliš řídké a tedy nedostatečné pro zjištění nízkého visu a naopak řádky pro lepší visus jsou příliš husté, což vede k jejich vynechávání. [4, 6]

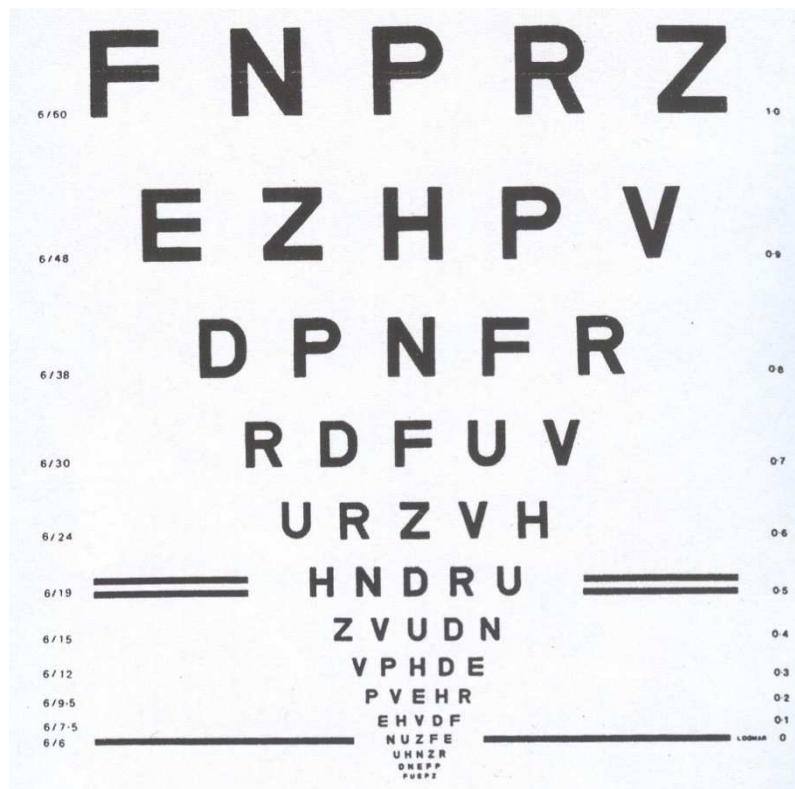
### 1.3.3 Logaritmické optotypy

Australští optometristé Ian Bailey a Jan Lovie-Kitchinová v roce 1976 navrhli nový design optotypu, který odstraňoval předchozí nedostatky [8]. U těchto optotypů, viz obr. 6, velikost znaků tvoří geometrickou posloupnost s kvocientem  $q = 10^{\sqrt{10}} = 1,2589$ . Takovéto dělení respektuje Weber – Fechnerův zákon a je zárukou pro dostatečně husté rozložení hodnot visu vzhledem k vlastnostem zrakového vnímání. Weber – Fechnerův psychofyzikální zákon je o logaritmické závislosti mezi velikostí podnětu (fyzikální příčiny) a velikostí fyziologického vjemu, což znamená, že jestliže se fyzikální podněty, které působí na smysly, mění řadou geometrickou, pak je jejich změna vnímána v řadě aritmetické [9]. V praxi to znamená, že nejsou přehuštěny hodnoty pro vyšší visus a není nedostatek hodnot pro visus nízký. Visus je u těchto optotypů udáván v logaritmických jednotkách logMAR jako logaritmus visu (MAR z anglického Minimum Angle of Resolution znamená minimální úhlové rozlišení MÚR). Řádky jsou označeny od 1,0 po -0,3 a liší se od sebe o 0,1 logMAR. Záporné hodnoty logMAR jsou pro písmena menší než 6/6. Tento optotyp se obvykle užívá ve spojení s dalšími zásadami, které poskytují řadu výhod:

- 1) Na každém řádku je stejný počet znaků a to pět.
- 2) Vzdálenost mezi znaky je stejná a rovná se šířce znaků a vzdálenost mezi řádky se rovná výšce menšího řádku. Optotypy mají potom typický trojúhelníkový tvar. Tato skutečnost zohledňuje vliv crowding fenoménu.

- 3) Rovnoměrný sled velikostí znaků o 0,1 logMAR zaručuje ekvidistantní rozložení hodnot, které je v souladu s Weber – Fechnerovým zákonem.
- 4) Jemnější stupnice klasifikace umožňuje větší přesnost a lepší spolehlivost a proveditelnost opakování měření. [10]
- 5) Konečný výsledek založený na přesném počtu přečtených znaků.

Jelikož na každém řádku je pět znaků, můžeme každému z nich přiřadit hodnotu  $1/5 \times 0,1 = 0,02$ . Takže pokud vyšetřovaný přečte celý řádek např. 0,8, potom je hodnota visu 0,8 logMAR. Pokud ale přečte celý řádek 0,8 a ještě další dvě písmena z následujícího řádku, potom je visus  $0,8 - 2 \times 0,02 = 0,76$  logMAR. Nepopíratelnou výhodou je tedy mnohem přesnější stanovování visu. [1, 4, 6]



Obr. 6 Logaritmický optotyp [2]

### 1.3.4 Optotypy s VAR

Přes všechny výhody logaritmických optotypů jsou i zde určitá úskalí. Za prvé je potřeba určitá schopnost výpočtů z hlavy, aby vyšetřující dokázal správně přičítat či odčítat správný počet 0,02. Taktéž fakt, že záporné hodnoty logMAR značí dobrou zrakovou ostrost, může být matoucí. Bailey proto navrhl alternativní metodu měření, nazvanou Visual Acuity Rating (VAR). Vzorec  $VAR = 100 - (50 \times \log MAR)$  sice působí příliš komplikovaně, ale ve skutečnosti jde o velmi přímočarou metodu. Pokud vyšetřovaný přečte celý řádek 6/6 ( $\log MAR = 0$ ), VAR je rovno 100. Pokud přečte jedno písmeno špatně, VAR odpovídá 99, pokud přečte dvě písmena špatně, je VAR 98 atd. Jestliže vyšetřovaný přečte jedno písmeno z následujícího řádku, VAR odpovídá 101, dvě písmena odpovídají 102 atd. Takže výhody logMAR zápisu jsou zachovány, ale není potřeba nic počítat z hlavy a jsou odstraněny matoucí záporné hodnoty. Varianta tohoto optotypu s použitými Sloanovými písmeny se vyvinula jako standardizovaný optotyp pro stanovení visu u osob léčených s diabetickou retinopatií a jsou známé pod názvem ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) optotypy. [11]

## 1.4 Kontrast

Důležitým faktorem, který výrazně ovlivňuje zrakovou ostrost, je kontrast. Se snižujícím se kontrastem testových znaků se snižuje i visus. Schopnost vyšetřovaného rozlišit malé kontrastní znaky během vyšetření na optotypu ještě nevyovídá o tom, jak si vyšetřovaný povede za běžných podmínek, protože v našem přirozeném prostředí se vyskytuje množství kontrastů a prostorových frekvencí.

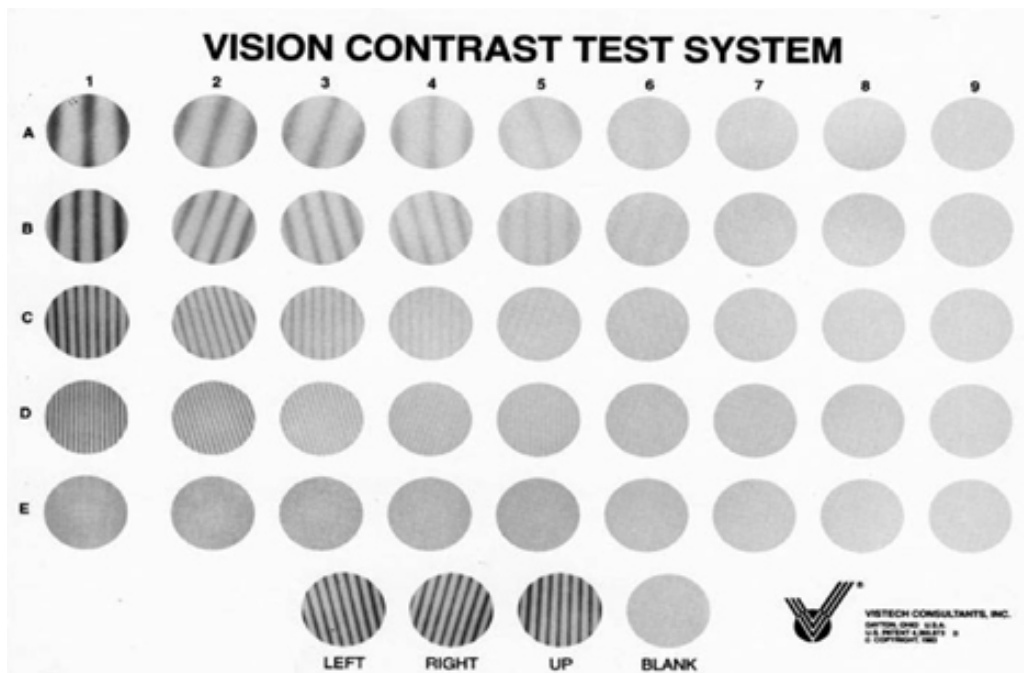
Právě rozlišitelný rozdíl jasů  $\Delta L$  se nazývá diferenciální jasový práh. Relativní diferenciální jasový práh, taktéž Fechnerův zlomek  $\Delta L/L$  ( $L$  odpovídá jasu pozadí), za fotopických podmínek dosahuje dle Weber-Fechnerova zákona konstantní hodnoty 0,03 a odpovídá tak kontrastnímu prahu. Hodnota  $\Delta L$  sama o sobě nemá velký význam, záleží právě na vztahu  $\Delta L$  a  $L$ . Schopnost rozeznat předměty tedy spíše závisí na kontrastu mezi nimi a pozadím, než na rozdílu v jasech.

Kontrast C je obvykle definován vztahem

$$C = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(L_{\max} + L_{\min})},$$

kde  $L_{\min}$  a  $L_{\max}$  je minimální a maximální jas pozorované plochy [6]. Minimální kontrast, při kterém právě rozlišíme rozdíl mezi  $L_{\min}$  a  $L_{\max}$ , se nazývá kontrastní práh. Někdy se za hodnotu kontrastu považuje přímo hodnota Fechnerova zlomku. Převrácená hodnota kontrastního prahu je kontrastní citlivost  $C_s = 1/C$ , která hodnotí vidění za zhoršených zrakových podmínek. Zvýšení jasu pozorovaného objektu má za následek snížení kontrastu.

K měření kontrastní citlivosti se používají sinusové mřížky či optotypy s proměnným kontrastem. Sinusové mřížky, které se používají častěji, jsou černobíle pruhované mřížky charakterizované amplitudou a prostorovou frekvencí, což je počet cyklů (proužků) na jeden stupeň. Se snižující se prostorovou frekvencí klesá i kontrast až do okamžiku, kdy vyšetřovaný už není schopen proužky rozlišit. Další testy na měření kontrastní citlivosti jsou například Pelli-Robsonův test, Melbourne Edge Test či Visitech chart, viz obr. 7.



Obr. 7 Visitech chart [3]

Měření kontrastní citlivosti je důležité, protože se tak dají odhalit některé oční nemoci, např. glaukom či katarakta. Regan rozdělil ztrátu kontrastní citlivosti do tří skupin. V první skupině je snížení citlivosti pouze u vysoké prostorové frekvence, zatímco nízká zůstává nezměněna. Tento typ se vyskytuje jako následek sítnicového rozostření u lidí s nekorigovanou refrakční vadou. Druhá skupina vykazuje sníženou citlivost u všech frekvencí, což může být způsobeno rozptylem světla u katarakty či jiných očních opacit, nebo i amblyopií. U třetí skupiny je snížení pouze při nízké frekvenci a tito lidé mají zrakovou ostrost normální. [3, 6, 12]

## 2 Receptivní pole

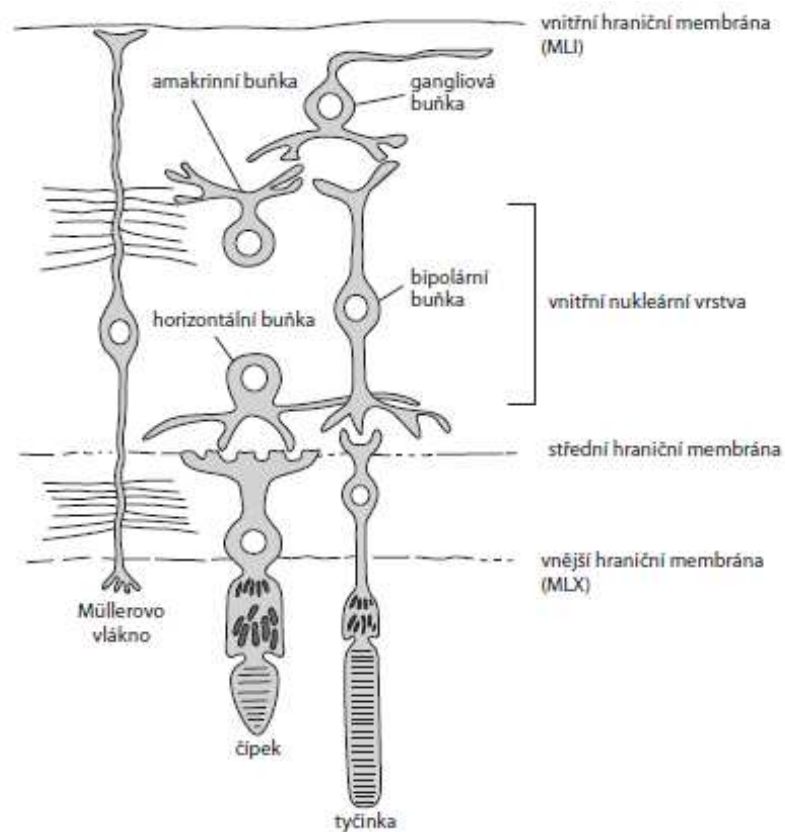
Receptivní pole se týkají aferentního zrakového systému a především souvisí se strukturou buněk v sítnici. Další částí aferentního systému je optický nerv, chiasma opticum, optický trakt, corpus geniculatum laterale a optická radiace vedoucí do primárního zrakového kortexu. S tématem receptivních polí souvisí i problematika crowding fenoménu, jelikož jej vědci vysvětlují právě i pomocí receptivních polí. [13]

### 2.1 Struktura sítnice

Na zrakové funkci sítnice se podílí jen optická část sítnice, která se skládá ze tří typů buněk. První z nich jsou fotoreceptory – tyčinky a čípky. Tyčinek je kolem 110 – 120 mil. a zajišťují noční (skotopické) vidění a nejsou schopny rozlišit barvy. Čípků je mnohem méně, pouze 6 – 7 mil., a jejich hlavní funkcí je rozlišování barev. Jsou aktivní při denním (fotopickém) vidění a nejvíc se jich nachází ve fovee, místě nejostřejšího vidění.

Dalším typem buněk jsou buňky bipolární, které následně předávají vzruchy gangliovým buňkám. Mezi jednotlivými vrstvami sítnice existuje vertikální propojení (mezi fotoreceptory, bipolárními a gangliovými buňkami) a horizontální propojení (v plexiformních vrstvách) pomocí horizontálních a amakrinních buněk. Schéma horizontálního propojení buněk je znázorněno na obr. 8. Vertikální propojení je zajištěno několika druhy bipolárních buněk. Jsou to čípkové bipolární buňky, kdy je jedna buňka napojena na jeden čípek. Takové uspořádání je ve fovee. Další jsou plošné bipolární buňky, které jsou napojeny na 6 – 7 čípků, a tyčinkové, kde je napojení až na 50 tyčinek. Svě typy mají i buňky gangliové. Jsou to buňky čípkové (ve fovee), kdy jedna gangliová buňka je napojena na jednu čípkovou, a buňky difuzní, které jsou napojeny na několik bipolárních buněk.

Gangliové buňky se dále rozdělují na buňky M a P. Buňky M vedou do magnocelulární vrstvy corpus geniculatum laterale, mají větší receptivní pole a jsou specializované na detekci silných podnětů a pohybů. Oproti tomu buňky P, vedoucí do parvocelulární vrstvy corpus geniculatum laterale, mají sice receptivní pole menší, ale je jich více a reagují na drobnější zrakové podněty a barvy. [12, 13]



Obr. 8 Horizontální spoje v sítnici [13]

## 2.2 Receptivní pole

Receptivní pole neuronů je oblast sítnice, která při stimulaci světlem působí odezvu daného neuronu. To znamená, že receptivní pole fotoreceptorů podrážděných světlem způsobí odezvu (a to buď excitaci, nebo inhibici) bipolárních buněk a ty následně přenesou vzruch na buňky gangliové. Podobné uspořádání panuje i mezi interneurony (horizontální a amakrinní buňky), které jsou spojeny s bipolárními i gangliovými buňkami. Takže světlo vyvolávající excitaci (či inhibici) bipolárních a gangliových buněk, které se nachází v osvětlené oblasti, způsobí inhibici (či excitaci) okolních bipolárních a gangliových buněk. Díky laterálním spojům horizontálních a amakrinních buněk mají receptivní pole bipolárních a gangliových buněk koncentrickou konfiguraci.

Nejmenší receptivní pole se nachází v centrální oblasti sítnice a směrem k periférii se zvětšují a mohou se dokonce i překrývat. U receptivních polí je znám fenomén prostorové sumace, kdy gangliové buňky sbírají signály z více tyčinek, což je výhodné za snížených světelných podmínek, například v noci, kdy i malé podráždění sítnice vyvolá odezvu gangliové buňky.

Existuje několik typů receptivních polí. Za prvé jsou to pole rozdílně reagující v centru a v periférii. V případě, kdy na světlo zareagují buňky excitací centra a inhibicí periferie receptivního pole, mluvíme o takovém poli jako o ON-centre. Naopak pokud se centrum inhibuje a periferie receptivního pole excituje, mluvíme o OFF-centre poli. A za druhé existují buňky X, Y a W. Receptivní pole X-buněk je nejmenší a reaguje na trvalý podnět. Buňky Y mají receptivní pole největší a reagují na pohyb. Buňky W potom mají receptivní pole střední velikosti a reagují na směr pohybu. [12, 13]

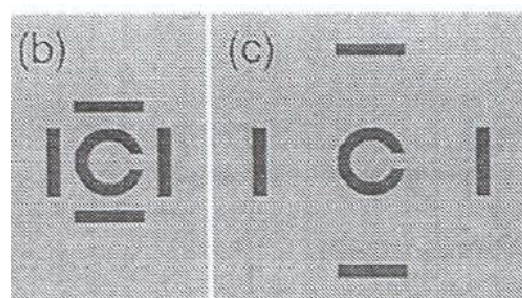


### 3 Crowding fenomén a konturová interakce

V průběhu posledních 80 let se vědci značně věnují studiu konturové interakce a crowding fenoménu, které se běžně vyskytují v normálním životě. V běžném životě se totiž člověk setkává se čtením více znaků blízko u sebe, ze kterých vytváří slova, zatímco čtení izolovaných písmen, což je podstata většiny klinických postupů při měření zrakové ostrosti, je úkol v praxi zcela výjimečný [14]. Jeden příklad z běžného života je dopravní značení s číslem silnice. Na těchto značkách je číslo silnice ohraničeno blízkou souvislou konturou, což vede k tomu, že v určité vzdálenosti od značky mohou řidiči vidět značku a konturu, ale ne číslo silnice. [15, 16]

#### 3.1 Konturová interakce

Blízká vzdálenost okrajů nebo kontur sousedních znaků má za následek zhoršení rozlišitelnosti pozorovaného znaku. Tento jev se nazývá konturová interakce a je to forma prostorového laterálního maskování (spatial lateral masking). Nejjednodušší pokus, jakým lze konturovou interakci demonstrovat, je Landoltův prstenec obklopený čtyřmi příčkami, jejichž délka odpovídá výšce prstence a šířka příček odpovídá šířce mezery prstence, viz obr. 9.



Obr. 9 Konturová interakce [18]

Flom ve svém výzkumu [17] dokládá, že konturová interakce je spojena s hodnotou minimálního úhlového rozlišení (MÚR) a nastává, když jsou kontury od znaku vzdáleny o 5násobek MÚR nebo o šířku jednoho Snellenova písmene. Pokud jsou příčky ve velké vzdálenosti od prstence, žádný pokles rozpoznatelnosti není zaznamenán. Pokles rozpoznatelnosti však nastane, když se příčky přiblíží k prstenci asi do vzdálenosti 2 – 4 úhlové minuty a pokles je maximální ve vzdálenosti asi 1 úhlové minuty od prstence. Je zajímavé, že když jsou příčky velmi blízko prstenci, rozpoznání se většinou zlepší a je tak dobré, jakoby žádné příčky nebyly přítomny. Bylo zjištěno, že k největšímu zhoršení dochází při kritické vzdálenosti kontur od pozorovaného znaku, která je většinou 1 – 2krát větší než minimální úhlové rozlišení znaku bez kontur. [15]

Ke stejnému závěru dospěla ve svém výzkumu Takahashi [15], tj. maximální zhoršení rozpoznání Landoltova prstence nastalo, když příčky byly vzdáleny o 40 % průměru prstence a při snížení vzdálenosti došlo ke zlepšení rozpoznání na úroveň stavu bez příček, což může být vysvětleno optickými vlastnostmi sítnicových obrazů.

Liu [21] dále poukázal na fakt, že dvě příčky v různých orientacích (horizontálně a vertikálně) způsobují konturovou interakci jinými mechanismy, než všechny čtyři příčky zároveň, protože konturová interakce v případě všech čtyř příček neodpovídá pouhému součtu interakcí v případech dvou horizontálních a dvou vertikálních příček.

Bylo též dokázáno, že konturová interakce je závislá na kontrastu. Zraková ostrost klesá, pokud jsou přítomny okolní kontury v odstupů necelé poloviny (0,4) průměru písmene, a to zejména u optotypů s vysokým kontrastem. Podle studie [22] u optotypů s nízkým kontrastem nedochází k tak výrazné interakci a odstup kontur nemá vliv. V této studii byl však odstup kontur vždy stanoven relativně vzhledem k velikosti použitého znaku, přičemž velikost znaku se při snížení kontrastu zvětšila. Oproti tomu studie [19] uvádí, že k výrazné konturové interakci dochází i v tomto případě. V provedeném experimentu však nebyla vzdálenosti kontur uvažována relativně vůči velikosti znaku, ale byla vždy konstantní (v úhlových minutách) a odpovídala vzdálenosti užitě při maximálním kontrastu, kde byl jev patrný. Poukázala tedy na konstantní prostorový rozsah konturové interakce. Obdobný jev byl pozorován ve studii [20], kdy byl sledován vliv jasu na změny v konturové interakci.

Bylo zjištěno, že laterální rozsah konturové interakce zůstává stejný, zatímco velikost konturové interakce klesá se snižujícím se jasem pozadí. Rozsah konturové interakce je dále nezávislý na velikosti testových znaků. Za sníženou velikost konturové interakce při nízkých jasech nemůže být zodpovědná pouze změna zrakové ostrosti, protože Siderov a kol. [20] prokázal, že podobné snížení foveální zrakové ostrosti při sníženém kontrastu nevede ke snížení velikosti konturové interakce.

### 3.1.1 Mechanismy konturové interakce

Vědci se již dlouhou dobu snaží zjistit příčiny konturové interakce. Zkoumalo se optické šíření obrazu v sítnici a také nestálé fixační pohyby očí, ale nic z toho nedokáže plně vysvětlit konturovou interakci. Další možností byl střet úkolů, kdy vyšetřovaní museli odlišovat příčky od Landoltova prstence a zároveň určovat pozici mezery Landoltova prstence. Bylo však zjištěno, že takovéto snížení ostrosti je spíše sekundární efekt konturové interakce. I když přesná příčina snižování ostrosti stále není známá, nyní se zdá, že hlavní důvod by mohl být nervového původu a týkat se vlastností receptivních polí. [15]

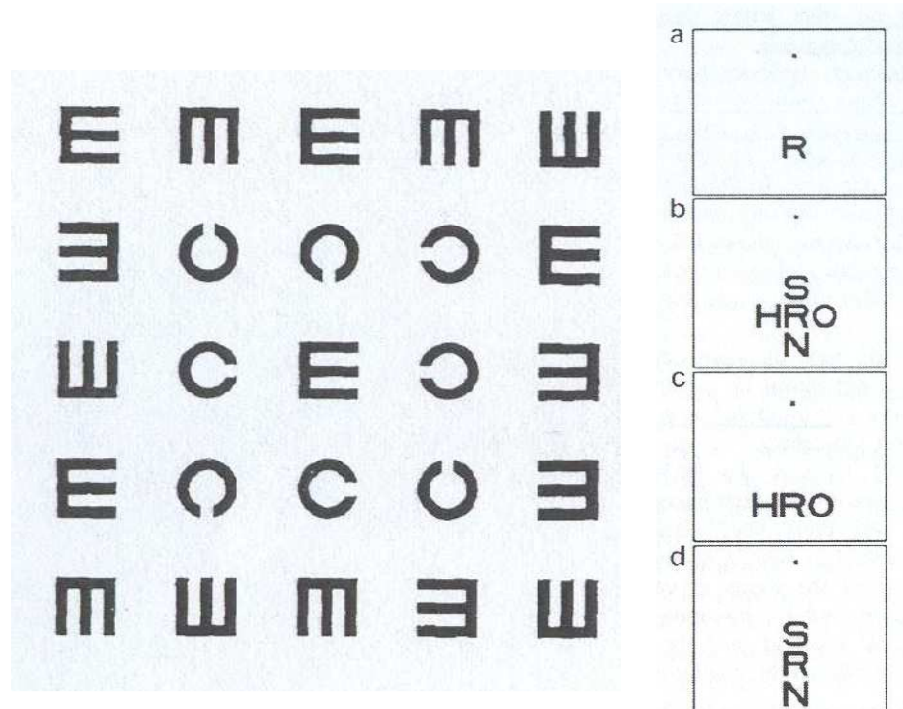
Výzkum Floma [15] poukazuje na možný nervový původ konturové interakce. Ve svém výzkumu prezentoval vyšetřovaným osobám monokulárně Landoltův prstenec po dobu 0,5 sec a příčky v různé vzdálenosti od prstence náhodně polovinu času stejnému oku jako prstenec (ipsilaterálně) a polovinu času druhému oku (kontralaterálně). Příčky kontralaterálně i ipsilaterálně způsobily stejnou míru prostorového rozsahu (maximální vzdálenost od testového znaku, ve které konturová interakce sníží rozpoznání) i intenzity (stupeň ztráty ostrosti při maximální interakci). Také Westheimer a Hauske [15] zjistili ve svém výzkumu kontralaterální efekt při noniovém rozlišení (vernier acuity). Výsledky z obou těchto studií poukazují na fakt, že inhibiční efekt konturové interakce musí být nervový a supraretinální, tzn. musí se odehrávat na takovém místě zrakové dráhy, kde se informace z obou očí spojují. Takovým místem by mohlo být corpus geniculatum laterale či pravděpodobněji týlní lalok mozku.

Konkrétně lze konturovou interakci objasnit pomocí integrace nebo inhibičních procesů v receptivních polích. Tyto jevy se též podílí na crowding fenoménu a jsou podrobněji popsány v kapitole 3.2.4.

### 3.2 Crowding fenomén

Znaky na koncích řádků optotypů a znaky, které jsou od sebe více vzdáleny, příp. zcela izolovány, se obecně čtou lépe než znaky blízko u sebe. Tento jev se označuje jako crowding fenomén a poprvé tento termín použil dánský oftalmolog Ehlers v roce 1936 [16]. Příklad testových optotypů používaných při měření crowdingu je uveden na obr. 10. Liu a Ardití [23] uvádí, že znaky, které se při vyšetřování nejvíce pletou, jsou F a P, Q a G, G a O, V a Y, I a Z, Y a T. Crowding je složitý fenomén a i přes četné výzkumy posledních let stále nejsou známy přesné příčiny vzniku.

Crowding se objevuje při nejrůznějších úkonech, např. při rozpoznávání písmen, noniovém rozlišení, rozlišování orientace, stereoskopické ostrosti, rozpoznávání obličejů a je také přítomen u pohybujících se testových značek. Při vyšetřování zrakové ostrosti se dá crowding fenoménu předejít tak, že vyšetřovaný na optotypu uvidí jen jeden znak bez jakýchkoli jiných blízkých kontur. Častěji se však využívají optotypy se standardizovanými vzdálenostmi mezi znaky a mezi řádky. Takovým optotypem je optotyp s logaritmickou stupnicí zkonstruovaný dle návrhu Baileyho a Lovieové, kde vzdálenost mezi znaky se rovná šířce znaků a vzdálenost mezi řádky se rovná výšce menšího z nich. [2, 16]



Obr. 10 Crowding fenomén [17, 16]

### 3.2.1 Vlastnosti crowdingu

Crowding má významný klinický důsledek pro lidi s makulární degenerací, amblyopií a dyslexií a u všech onemocnění se ztrátou centrálního vidění. Na rozdíl od centrálního vidění, kde se crowding objevuje jen ve velmi malých rozestupech (asi 4 – 6 úhlových minut) nebo je uváděno, že ve fovee nenastává vůbec, při periferním vidění dosahuje crowding hodnoty až 0,5násobku excentricity (vzdálenost znaku od fovey ve stupních zorného úhlu [14]). Dále rozsah crowdingu v periférii nezávisí na velikosti testových značek, zatímco crowding ve fovee je úměrný velikosti testových značek. [16]

Dále v periférii není crowding izotropní, tzn., že větší crowding nastává, když jsou znaky uspořádány horizontálně, než když jsou vertikálně. Crowding je též v periférii silnější a má větší rozsah, když mají cílové testové značky nebo písmena a okolní znaky podobný tvar, velikost, prostorovou frekvenci a barvu. Stejně jako konturová interakce je crowding přítomen, i když je testová značka viděna jedním okem a okolní znaky druhým okem, a to i v případě, že je testová značka zobrazena okolo slepé skvrny jednoho oka a okolní značky okolo slepé skvrny druhého oka. Z toho plyne, že crowding i konturová interakce se odehrávají ve zrakové kůře, ovšem přesné místo není známo. [16]

Vzdálenost okolních znaků, která způsobí crowding, se nazývá kritický rozstup. Levi a kolektiv [24] udává hodnotu prostorového rozsahu crowdingu jako 0,1násobek excentricity v případě, že je kritický rozstup znaků měřen mezi nejbližšími okraji sousedních znaků (edge-to-edge). Bouma, Toet a Levi [16] určili prostorový rozsah crowdingu jako 0,5násobek excentricity, ale měřili kritický rozstup znaků od středu jednoho znaku po střed druhého (center-to-center).

### 3.2.2 Mechanismy crowding fenoménu

Jak již bylo řečeno, přesná příčina crowding fenoménu není známa, ale vědci již dokázali určit některé jevy, které se na něm podílí. Patří mezi ně především konturová interakce, rozdělení pozornosti mezi jednotlivé znaky, fixační pohyby očí a retinální či supraretinální nervová inhibice. Na rozdíl od konturové interakce, která se dá demonstrovat jedním znakem obklopeným čtyřmi příčkami, který vyšetřovaný

pozoruje, aniž by pohyboval očima, crowding vyžaduje nejméně dva znaky obklopené konturami, které musí vyšetřovaný postupně rozeznat, tzn. je zde zahrnut i pohyb očí z jednoho znaku na druhý včetně fixace obou znaků. [15]

### **3.2.3 Fyzikální vlastnosti podnětu**

Hess a kolektiv [25] vysvětluje crowding pomocí fyzikálních vlastností podnětu. Podle něj může za snížení zrakového výkonu interference testové značky (Landoltova prstence) a blízkých kontur. Energie kmitočtového pásma, které je zodpovědné za vnímání znaků, se zvýší na vyšší prostorové frekvence, na které není fovea tak citlivá. Jinými slovy za přítomnosti kontur je kritická prostorová frekvence pro rozlišení znaků posunuta do vyšších frekvencí, které jsou za rozlišovacím limitem lidského zrakového systému [26]. Tato teorie ovšem částečně vysvětluje pouze crowding ve fovee a pro periferní crowding neplatí.

### **3.2.4 Receptivní pole**

Další teorie vysvětluje vznik crowdingu jako překrytí testové značky a okolních znaků v mezích stejné nervové jednotky, tzn., že všechny spadají do stejného receptivního pole. Rozsah prostorové interakce závisí na velikosti takového receptivního pole, které je nejcitlivější na testovou značku. Fakt, že zraková ostrost v periférii klesá, by mohl souviset s rozsáhlejšími receptivními poli v periférii, což by vysvětlovalo větší rozsah periferního crowdingu [16]. Dále v receptivních polích nastává inhibice. To znamená, že pokud podnět dopadá do periferní části receptivního pole, inhibuje část centrální (tzv. OFF-centre receptivní pole) a zhoršuje tak rozlišitelnost centrálního znaku. Pro teorii receptivních polí svědčí například konstantní rozsah konturové interakce [19].

S teorií receptivních polí souvisí i proces identifikace písmen odehrávající se na dvou úrovních, které však mají jinou funkci i jiný mechanismus. První fáze (detekce rysů) odpovídá za detekci komponentů písmene. Druhá fáze (rozpoznání vzorce) potom seskupuje jednotlivé rysy a spojuje je (integruje) do známých vzorců a interpretuje je. Při které z těchto fází dochází ke crowdingu není stále jasné, ale pravděpodobněji nastává na úrovni druhé fáze. U crowdingu jsou rysy testové

značky a rysy okolních znaků rozpoznávány zvláště, ale pokud padnou do stejného „integračního pole“, vzniká nejasný obraz. Velikost „integračních polí“ je různá, přičemž v periferii se nachází pouze velká pole. [14, 16]

### **3.2.5 Crowding za skotopických podmínek**

Většina výzkumů zabývajících se crowdingem byla prováděna za fotopických podmínek, které se vyznačují účastí čípků citlivých na barvy, vysokým prostorovým rozlišením a citlivostí na pohyb a blikání. Naproti tomu u skotopických podmínek využívajících tyčinky je prostorové rozlišení i citlivost na pohyb a blikání menší. Navíc gangliové buňky při adaptaci na tmu způsobují změny v receptivních polích. Crowding za skotopických podmínek také nastává a je nejvýraznější, když se kontury přímo dotýkají Landoltova prstence nebo jsou od něj vzdáleny na šířku jedné mezery, ale rozsah interakcí při stejné excentricitě je mnohem menší než při fotopických podmínkách, což může souviset právě se změnami v receptivních polích. [27]

### **3.2.6 Crowding fenomén u dětí**

Z výzkumu, který vedl Kothe a Regan [15], vyplývá, že i když mají některé děti do šesti let horší zrakovou ostrost při čtení znaků v řádcích než při čtení izolovaných znaků nebo sady opakujících se znaků, důvodem nemusí být laterální inhibice nebo kognitivní faktory, ale nedostatečně rozvinutá schopnost kontroly pohledu. Kowlerová s Martinsem [15] dodávají, že důvodem deficitu okulomotoriky u dětí nemusí být nevyzrálость zrakového systému, ale spíše omezení schopnosti věnovat úkolům dlouhodobě pozornost. Atkinsonová a kolektiv [15] ve své práci zjistili, že crowding je výraznější, když jsou znaky uspořádány kruhově kolem centrálního znaku, než když jsou lineárně. Důvodem může být fakt, že fixační pohyby očí po řádcích nejsou tak náročné na rozpoznání znaků jako výrazná konturová interakce. S tím může souviset i to, že jemné oční pohyby nejsou u dětí předškolního věku ještě zcela vyvinuté. Na druhou stranu může být příčinou omezená pozornost. Je zajímavé, že většina dětí i dospělých uvedla, že jim kruhové uspořádání přišlo lehčí, protože nemuseli udržovat fixaci a pozici na jednotlivých znacích jako u lineárního uspořádání. Děti také častěji vyžadovaly přestávky.

### 3.2.7 Vliv crowdingu a dyslexie na čtení

Bylo zjištěno, že pokud je v textu rozestup mezi písmeny menší, než je kritický rozestup, čtení je pomalejší. To přináší nový pohled na rychlost čtení, která byla dříve spojována spíše s velikostí písmen, než s jejich rozestupy. Levi a kolektiv [16] potvrdili, že zvětšení rozestupu má, na rozdíl od zvětšení velikosti písmen, vliv na rychlost čtení. Čtení periferním viděním je ale pomalejší a rychlost se nezvýší, ani když se zvětší rozestupy.

U osob s dyslexií bylo zjištěno, že crowding v periférii je menší, zatímco foveální crowding je větší. Také rozlišení čísel nebo písmen je horší, když jsou tyto znaky seskupeny v souborech. Pelli a Tillmanová [16] uvádí, že děti s dyslexií mají mnohem menší prostorové rozsahy bez crowdingu, ale čtou mnohem pomaleji, než se předpokládalo, což je vedlo k závěru, že na čtení u dyslektiků se musí podílet ještě i jiný fenomén. Testování dyslektiků je navíc obtížné, protože není známo, jestli potíže se čtením souvisí s chabým zrakovým výkonem nebo naopak.



## 4 Amblyopie

Pojem amblyopie neboli tupozrakost pochází z řeckého výrazu „amblys“ = tupý a „ops“ = oko. Označuje stav snížené zrakové ostrosti bez zjevné strukturální nebo optické příčiny a anatomických změn oka. Jedná se tedy o funkční poruchu s aktivním útlumem vyšších zrakových center mozku bez nekorigované refrakční vady či oční patologie. Amblyopie většinou postihuje pouze jedno oko a často má spojitost se zhoršenými binokulárními funkcemi a neschopností stereopse. Výskyt amblyopie se odhaduje přibližně na 3 % populace. [28, 29]

Amblyopie vzniká na základě nedostatečné zrakové stimulace v raném dětství (tzv. období plasticity, které trvá od narození asi do pěti let věku dítěte). Za příčiny amblyopie jsou považovány takové stavy, které neumožňují vytvoření ostrého obrazu na sítnici. Prvním možným důvodem vzniku amblyopie je šilhání, kdy vzniká tzv. amblyopie strabismická. Druhou příčinou je anizometropie, což je stav výrazně odlišné refrakce obou očí. V takovém případě mozek nedokáže fúzí spojit rozdílné obrazy z očí do jednoho obrazu. U obou těchto typů amblyopie mozek potlačí vjem horšího oka, aby se předešlo diplopii (dvojitému vidění). Poslední možná příčina vzniku amblyopie souvisí s nedostačujícími podněty dopadajícími na zrakovou kůru, tzv. deprivativní amblyopie. Děje se tak u vrozené ptózy horního víčka, vrozené katarakty, kongenitálního zákalu rohovky, embryonálních zákalů a zbytků tkání ve sklivci, ale i při špatně prováděné okluzi očí. [28, 29]

### 4.1 Konturová interakce a crowding fenomén při amblyopii

Konturová interakce i crowding fenomén vykazují při amblyopii jisté anomálie. Často například není větší znak na optotypu přečtený správně, zatímco menší znak ano, znaky na koncích řádků se mnohem častěji čtou lépe a chyby neplynou z podobností znaků (například B a E, O a C, V a T). Někdy může ukazování na znaky pomoci při jejich identifikaci. Dále pomáhá, pokud je na optotypu zobrazen pouze jeden řádek znaků, pokud jsou znaky od sebe více vzdáleny a nejlépe se čtou znaky izolované. [15] Uvádí se, že se amblyopické oko podobá periferii normálního oka [14].

Konturová interakce závisí na kontrastu i při amblyopii. Stejně jako u lidí bez amblyopie má na konturovou interakci velký vliv vysoký kontrast, nikoli nízký i bez ohledu na pozici kontur. Dříve se myslelo, že má konturová interakce při amblyopii mnohem větší rušivý efekt, ale nedávný výzkum [22] ukázal, že není rozdíl v rozsahu konturové interakce při vysokém i nízkém kontrastu mezi zdravými lidmi i lidmi s amblyopií, pokud jsou vyšetřováni na jejich individuální úrovni zrakové ostrosti.

Děti obecně čtou lépe izolované znaky a přidání kontur ve vzdálenosti 2,5krát větší než je šířka písmene E většinou nemusí způsobit výrazné zhoršení u amblyopů. Ovšem takové testování dětí může být i tak výhodné, protože je schopné odhalit malé procento (asi 10 %) dětí s amblyopií, na které by se jinak nepřišlo. [15]

Při amblyopii jsou pozorovány dvě prostorové abnormality: prostorová nejistota a prostorová distorze. První způsobuje, že se testová značka může posunovat o velkou vzdálenost, než ji vyšetřovaný vnímá v jiném směru a souvisí s mírou zrakové ostrosti. Druhá má za následek, že vyšetřovaný vnímá stejné vzdálenosti v zorném poli jako různé. U anizotropické amblyopie je přítomna pouze prostorová nejistota, ale u strabismické amblyopie je přítomna i distorze a nejistota nabývá větších hodnot. [15] U anizotropické amblyopie je zraková ostrost stejná za crowdingových podmínek i bez nich, zatímco u strabismické amblyopie je za crowdingových podmínek zraková ostrost horší. [16]

## 4.2 Možné příčiny

Crowding u amblyopů je způsoben konturovou interakcí, pozorností a abnormálními fixačními pohyby oka. [15] Stálá fixace umožňuje udržet fixaci na konkrétním znaku a fixační sádky (velmi rychlé pohyby očí trvající jen 20 – 45 ms, dosahující rychlosti až 1 000 stupňů za sekundu) jsou zodpovědné za přesun přesné fixace z jednoho znaku na druhý. Nestabilní monokulární fixaci (asymetrické nazální driftové pohyby) vykazují hlavně oči při strabismické amblyopii. Existuje důvod se domnívat, že okulomotorická složka je při crowdingu nejvýznamnější. [15]

Na základě výzkumů dospěli vědci k závěru, že receptivní pole fixační oblasti, která nemusí být shodná s foveou, a periferie u amblyopie jsou zvětšené. A protože se v periférii i více překrývají, je možné, že to je právě důvod větších interakcí u amblyopů. [15] Snížená zraková ostrost a rozsah interakcí u amblyopů mohou být spojeny právě s velikostí receptivních polí, kdy v parafoveální oblasti, která je využívána pro monokulární fixaci, je zraková ostrost běžně nižší. [17]

Je známo, že rozsah konturové interakce je u amblyopů větší než u zdravých lidí. Ovšem Flom [15] tvrdí, že pokud je rozsah vyjádřen jako poměr úhlové šířky mezery písmene bez interakce, pak poměrný rozsah dosahuje velmi podobných hodnot (5/1) pro lidi s amblyopií i bez ní. Stejně tak pokud se při testování bere ohled na individuální úroveň zrakové ostrosti, dosahuje konturová interakce stejných hodnot u zdravých lidí i amblyopů. [17] Proti tomuto tvrzení se ale staví Hess [18], který říká, že konturová interakce amblyopů je abnormální i když se bere ohled na individuální úroveň zrakové ostrosti a navíc abnormality nejsou u všech strabismických amblyopů stejné.

Další možné vysvětlení uvádí, že mechanismus, který izoluje znaky (Landoltův prstenec) od kontur, vykazuje jisté anomálie. Následně se uplatňuje větší rozsah analýzy, než by bylo vhodné. Je také možné, že větší konturová interakce plyne čistě z větší změny citlivosti než ze změny rozsahu analýzy. [18]

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo poskytnout celkový přehled týkající se problematiky crowding fenoménu. Ve své práci jsem čerpala ze zahraničních prací a výzkumů, které byly na téma crowding fenoménu vedeny, protože v České republice není tomuto problému věnována přílišná pozornost a nejsou dostupné české materiály.

V první části mé bakalářské práce jsem se zabývala zejména zrakovou ostrostí, jejím dělením a způsoby vyšetření. Dále jsem popsala možné způsoby zápisu zrakové ostrosti, jejich výhody a nevýhody a u jednotlivých způsobů jsou uvedeny i příklady zápisů. Následuje část zabývající se různými typy konstrukcí optotypů, jejich výhodami a nevýhodami a je zde brán zřetel i na vhodnost těchto konstrukcí z hlediska crowding fenoménu. Je také zmíněna důležitost kontrastu a jeho vliv na zrakovou ostrost.

V druhé části práce jsem se věnovala receptivním polím, jejichž struktura a funkce mohou vysvětlovat některé aspekty crowding fenoménu. Je zde popsána struktura sítnice a jednotlivé typy buněk, které je třeba objasnit k pochopení definice receptivních polí. Dále je v kapitole uveden popis receptivních polí a jejich jednotlivých typů a je také zmíněn princip, na kterém receptivní pole fungují.

Ve třetí části bakalářské práce jsou vysvětleny pojmy konturová interakce a crowding fenomén. Jsou popsány rozdíly mezi těmito dvěma jevy a nastíněny některé z faktorů, které je mohou způsobovat nebo se na jejich vzniku alespoň podílet. Jelikož přesná příčina těchto úkazů stále není jasná, výzkumy zabývající se jejich objasněním stále probíhají.

V neposlední řadě je práce věnována problematice amblyopie a to zejména ve spojitosti s konturovou interakcí a crowding fenoménem. Jsou popsány některé společné i rozdílné znaky těchto jevů mezi amblyopy a lidmi bez této zrakové poruchy a nastíněny možné příčiny crowdingu a konturové interakce u amblyopie.

Závěrem je nutno podotknout, že se výsledky výzkumů různých autorů liší a často se i navzájem popírají, což svědčí o komplikovanosti těchto multifaktoriálních fenoménů. V současné době se podařilo pouze analyzovat dílčí faktory, které se různou měrou podílejí na výsledném efektu a míře konturové interakce a crowding fenoménu. Bohužel zatím není možné přesně určit všechny působící faktory a i nejrůznější

nabízené teorie příčin těchto fenoménů mají své slabiny a nejsou schopny tyto fenomény plně vysvětlit.

## Seznam použité literatury

- [1] doc. MUDr. ANTON, Milan, CSc. Nové poznatky o zrakové ostrosti. *Česká oční optika* [online]. Prosinec 2006, roč. 47, č. 4/2006, s. 16 – 17. [cit. 2014-1-28]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: [http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci\\_2006\\_04.pdf](http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2006_04.pdf)
- [2] BEDELL, H. E. Spatial Acuity. In *The Psychophysical Measurement of Visual Function*. Thomas T. Norton, David A. Corliss, James E. Bailey (ed.). Boston: Butterworth – Heinemann, 2002. 361 s. Spatial Acuity, s. 105 – 136. ISBN 0-7506-9935-3
- [3] LAY M., WICKWARE E., ROSENFELD M., Visual acuity and contrast. In *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*. Mark Rosenfield, Nicola Logan, Keith Edwards. New York: Butterworth Heinemann Elsevier, 2009. Kapitola 12, s. 173-184, ISBN 9780750687782
- [4] PLUHÁČEK, F. *Zraková ostrost a refrakce – výukové materiály k předmětu Oftalmologické a optometrické přístroje II*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2013
- [5] NIDEK CO., LTD. *Conversion Table for Representation of Visual Acuity* [online]. NIDEK CO., LTD [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: [http://www.nidek-intl.com/ophthalmology/visual\\_acuity.html](http://www.nidek-intl.com/ophthalmology/visual_acuity.html)
- [6] PLUHÁČEK, F. *Zraková ostrost a její měření - výukové materiály k předmětu Fyziologická optika*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011
- [7] Tyflokabinet České Budějovice, o. p. s. *O zrakových vadách* [online]. Tyflokabinet České Budějovice, o. p. s. [cit 2014 – 4 - 15]. Dostupné z: <http://www.tyflokabinet-cb.cz/zrak.htm>
- [8] KOESTLER, F. A. *The unseen minority: A Social History of Blindness in the United States*. New York: AFB Press, 2004. 658 s. ISBN 0-89128-896-1

- [9] REICHL, J., VŠETIČKA, M. *Weber – Fechnerův psychofyzikální zákon* [online]. Encyklopedie fyziky, 2006 – 2014 [cit. 2014-2-3]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/210-weber-fechneruv-psychofyzikalni-zakon>
- [10] REID, L. *Assessment of Visual Acuity: Tests and Procedures* [online]. Scottish Sensory Centre, Moray House School of Education, University of Edinburgh, 2006. [cit. 2014-2-3]. Dostupné z: <http://www.ssc.education.ed.ac.uk/courses/vi&multi/vmay06a.html>
- [11] THOMPSON, D. PhD, BSc, MCOptom. VA testing in optometric practice, Part 2: Newer chart designs. *Optometry Today* [online]. 6. 5. 2005 [cit. 2014-2-6]. Dostupné z: [http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/fdaa91e06ebe44f10bc2ccef8d892e17\\_thomson20050506.pdf](http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/fdaa91e06ebe44f10bc2ccef8d892e17_thomson20050506.pdf)
- [12] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to visual optics*. London: The Gresham Press, 1993. ISBN 0-9009-928-3
- [13] VANEK, I., BARTOŠOVÁ, J., BARTOŠ, A. Neurooftalmologie. In *Oční lékařství*. Kuchynka Pavel a kolektiv. Praha: Grada Publishing a.s., 2007. Kapitola Aferentní zrakový systém, s. 501 – 503. ISBN 978-80-247-1163-8
- [14] CARDAZONE, G. *The effects of crowding on letter identification*. Intel/Westinghouse Science Talent Search: 1998, 14 s.
- [15] FLOM, M. C. Contour interaction and the crowding effect. In *Problems in Optometry*. Philadelphia: J. B. Lippincott Co., 1991, roč. 3, č. 2, s. 237 – 257
- [16] LEVI, D. M. Crowding – An essential bottleneck for object recognition: A mini-review. *Vision Research*, 2008, roč. 48, s. 635 - 654
- [17] FLOM, M. C., WEYMOUTH, F. W., KAHNEMAN, D. Visual Resolution and Contour Interaction. *Journal of the Optical Society of America*, 1963, roč. 53, č. 9, s. 1026-1032
- [18] HESS, R. F., DAKIN, S. C., TEWFIK, M., BROWN, B. Contour interaction in amblyopia: scale selection. *Vision research*, 2001, roč. 41, s. 2285 – 2296

- [19] SIDEROV, J., WAUGH, S. J., BEDELL, H. E. Foveal contour interaction for low contrast acuity targets. *Vision research*, 2013, roč. 77, s. 10 – 13
- [20] BEDELL, H. E., SIDEROV, J., WAUGH, S. J., ZEMANOVÁ, R., PLUHÁČEK, F., MUSILOVÁ, L. Contour interaction for foveal acuity targets at different luminances. *Vision Research*, 2013, roč. 89, s. 90 - 95
- [21] LIU, L. Dual oriented mechanisms in contour interaction. *Vision Research*, 2001, roč. 41, s. 853 – 858
- [22] SIMMERS, A. J., GRAY, L. S., MCGRAW, P. V., WINN, B. Contour interaction for high and low contrast optotypes in normal and amblyopic observers. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 1999, roč. 19, č. 3, s. 253 - 260
- [23] LIU, L., ARDITI, A. How crowding affects letter confusion. *Optometry and Vision Science*, 2001, roč. 78, č. 1, s. 50 – 55
- [24] LEVI, D. M., HARIHARAN, S., KLEIN, S. A. Suppressive and facilitatory spatial interactions in peripheral vision: Peripheral crowding is neither size invariant nor simple contrast masking. *Journal of Vision*, 2002, roč. 2, s. 167 - 177
- [25] HESS, R. F., DAKIN, S. C., KAPOOR, N. The foveal „crowding“ effect: physics or physiology?. *Vision Research*, 2000, roč. 40, s. 365 - 370
- [26] DANILOVA, M. V., BONDARKO, V. M. Foveal contour interactions and crowding effects at the resolution limit of the visual system. *Journal of Vision*, 2007, roč. 7, č. 2, s. 1 - 18
- [27] SIMUNOVIC, M. P., CALVER, R. Crowding under scotopic conditions. *Vision Research*, 2001, roč. 44, s. 963 - 969
- [28] ŘEHÁK, S. Oční lékařství. Vyd. 1. Praha: Avicenum, 1980. 212 s.
- [29] SPIEGEL, D., MSc. Léčba amblyopie v dospělosti. *Česká oční optika* [online]. Květen 2012, roč. 48, č. 2/2012, s. 8 – 10. [cit. 2014-03-27] ISSN 1211-233X. Dostupné z: [http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci\\_2012\\_02.pdf](http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2012_02.pdf)