

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

**VLIV VELIKOSTI A OKOLÍ OPTOTYPOVÝCH
ZNAKŮ NA JEJICH ČITELNOST**

Diplomová práce

VYPRACOVAL:

Bc. Petr Langer

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2014/2015

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

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

V Olomouci 17. 4. 2015

.....

Touto cestou bych chtěl poděkovat RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., za odborné vedení mé práce a za rady, které mi při psaní poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat všem figurantům, kteří se účastnili výzkumu spojeného s touto prací, za trpělivost a Mgr. Janě Lýskové (jazyková korektorka) za její čas a ochotu.

Tato práce byla vypracována za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem Optometrie a její aplikace č. IGA_PrF_2014_015 a č. IGA_PrF_2015_016.

Obsah

ÚVOD	5
1 ZRAKOVÁ OSTROST	6
1.1 Úhlová rozlišovací mez.....	6
1.2 Noniová rozlišovací mez.....	9
1.3 Vyšetření úhlové centrální zrakové ostrosti.....	9
1.3.1 Symboly na optotypu	10
1.3.2 Typy optotypů.....	15
1.3.3 Čitelnost znaků.....	17
1.3.4 Možnosti zápisu zrakové ostrosti.....	19
1.3.5 Formát optotypů.....	22
2 KONTUROVÁ INTERAKCE A CROWDING FENOMÉN	23
2.1 Konturová interakce.....	23
2.1.1 Konturová interakce u jednoduchého zobrazení.....	24
2.1.2 Konturová interakce u složitějšího zobrazení.....	25
2.1.3 Mechanismus vzniku konturové interakce.....	26
2.2 Crowding fenomén.....	27
3 PSYCHOMETRICKÁ FUNKCE	30
4 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE VLIVU HODNOTY logMÚR NA ČITELNOST ZNAKŮ; SROVNÁNÍ KONTUROVÉ INTERAKCE A CROWDING FENOMÉNU	33
4.1 Vliv hodnoty logMÚR na čitelnost znaků	33
4.1.1 Cíle praktické části.....	33
4.1.2 Statistický soubor a metodika	33
4.1.3 Výsledky	37
4.1.4 Diskuze	43
4.2 Srovnání konturové interakce a crowding fenoménu	45
4.2.1 Cíle praktické části.....	45
4.2.2 Statistický soubor a metodika	45
4.2.3 Výsledky	48
4.2.4 Diskuze	56
ZÁVĚR	59
SEZNAM LITERATURY	60

Úvod

Každý z nás se jistě někdy podrobil vyšetření u optometristy nebo očního lékaře. Takové vyšetření spočívá mimo jiné ve zjištění zrakové ostrosti pomocí písmen, čísel či jiných znaků na optotypech. Optotypy využívané v optometristických i oftalmologických praxích musí splňovat předepsané normy a podmínky týkající se konstrukce celého optotypu i jednotlivých znaků na optotypu, aby vyšetření proběhlo co nejvíce přesně a aby výsledek nebyl ovlivněn nežádoucími jevy.

Optotypy i optotypové znaky se během 20. století vyvíjely na základě provedených studií, které svými výsledky upozorňovaly na nedostatky a chyby v konstrukci optotypů i jednotlivých optotypových znaků. Měnily se velikosti mezer mezi písmeny a mezi řádky, velikosti písmen, progresse velikosti řádků, počty znaků na jednom řádku a v neposlední řadě i jednotlivé znaky či celé sady znaků. Všechny tyto aspekty totiž mají vliv na čitelnost prezentovaných znaků. Při nedostatečných separacích mezi znaky totiž může docházet k efektům, které výrazně omezují čitelnost znaků a negativně tak ovlivňují hodnotu zrakové ostrosti. Tyto efekty se nazývají konturová interakce a crowding fenomén. Oběma procesům se věnuje podstatná část naší diplomové práce.

Teoretická část práce seznamuje čtenáře s problematikou týkající se zrakové ostrosti, rozlišovacích mezí a definice visu. Podstatná část práce se věnuje symbolům na optotypech, jejich velikostem, složení a separaci a čitelnosti jednotlivých znaků. Dále se kapitoly v teoretické části věnují konturové interakci, crowding fenoménu a mechanismu jejich vzniku. Stručně je vysvětlena psychometrická funkce. Všechny kapitoly teoretické části shrnují dosud provedené a zveřejněné studie týkající se podobného tématu. Experimentální část je rozdělena na dva samostatné experimenty. První experiment se věnuje čitelnosti jednotlivých písmen z použité sady znaků Sloan letters. V druhém experimentu jsou porovnávány vlivy dvou efektů, které ovlivňují čitelnost prezentovaných znaků, a to konturové interakci a crowding fenoménu. Tento experiment se tedy věnuje vlivu okolí znaků na jejich čitelnost.

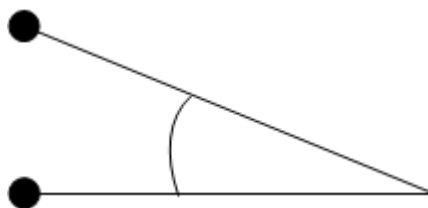
Cílem této diplomové práce je shrnout dosavadní výsledky studií na téma vlivu velikosti a okolí znaků na jejich čitelnost, experimentálně ověřit čitelnosti písmen užití sady a experimentálně ověřit vliv okolí písmen na jejich čitelnost, porovnat intenzitu konturové interakce a crowding fenoménu a potvrdit či vyvrátit, že konturová interakce je součástí crowding fenoménu.

1 ZRAKOVÁ OSTROST

Pojem zraková ostrost má v dnešní době mnoho definic. Jedna z nich říká, že „Zraková ostrost je schopnost oka rozeznat nejmenší symbol či písmeno.“ [1] Zraková ostrost závisí na rozlišovacích schopnostech oka, které mohou být dále ovlivněny celkovým zdravotním stavem, věkem, průhledností očních médií, citlivostí sítnice, aberacemi oka, velikostí zornice nebo schopností rozpoznat rozmazaný obraz. [2] Zraková ostrost může být buď centrální nebo periferní. Pokud obraz pozorovaného předmětu dopadá do fovey oka, pak hovoříme o centrální zrakové ostrosti. Pokud obraz dopadá do periferie sítnice, jedná se o periferní zrakovou ostrost. Následující kapitoly se budou věnovat pouze centrální zrakové ostrosti.

1.1 Úhlová rozlišovací mez

Každý zrakový systém má svou rozlišovací mez, kterou dělíme na úhlovou a noniovou rozlišovací mez oka. Úhlová rozlišovací mez je popisována pomocí minimálního úhlového rozlišení ($MÚR$), což je nejmenší úhlová vzdálenost dvou bodů, při které je oko ještě rozliší jako dva body. Tato hodnota $MÚR$ (MAR , minimum angle of resolution) je známá pod pojmem minimum separabile. I $MÚR$ má svůj limit – je limitováno difrakcí (optický limit) nebo fyziologickým limitem, případně jejich kombinací.



Obr. 1: Úhlová vzdálenost dvou bodů

Optický limit

I když je oko dokonale zaostřené na bodový objekt, tak se tento bod nezobrazí na sítnici jako bod, ale jako skvrna s nepatrnými kružnicemi kolem. Vzniklému obrazu říkáme difrakční obraz. Ten vzniká v důsledku dopadu světla do oblasti geometrického stínu. Dle Raleighova kritéria je velikost difrakčního obrazce, který je nazýván Airyho

disk, závislá na velikosti pupily. Čím menší zornice, tím větší disk a tím menší schopnost od sebe rozlišit dva body. „Pokud by kvalita optického zobrazení závisela jen na difrakčním limitu, pak Raleighovo kritérium říká, že dva Airyho disky jsou od sebe odlišeny, leží-li centrum jednoho z nich na difrakčním minimu druhého.“ [3] Odpovídající limitní úhlovou vzdálenost ω , při které budou dva body od sebe podle tohoto kritéria právě rozlišeny, lze spočítat ze vztahu $\sin \omega = 1,22 \lambda / p$, kde ω je úhlová velikost, λ je vlnová délka a p průměr zornice. [3, 4] Tato závislost je pro konkrétní průměry zornice znázorněna v tabulce 1.

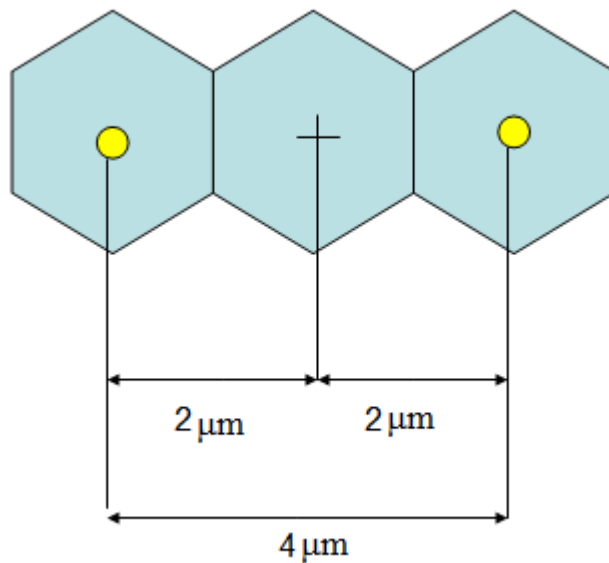
Průměr zornice	<i>MÚR</i>
1,1 mm	2´
2-3 mm	1´
4-6 mm	0,5´

Tabulka 1: Velikosti *MÚR* v závislosti na velikosti zornice [3]

Velikost zornice ovlivňuje nejen difrakci, ale i míru aberací optické soustavy oka. Čím větší zornice, tím větší aberace, čímž klesá kvalita zobrazení. Pokud bereme v úvahu pouze difrakci, tak potom nám větší zornice umožní kvalitnější zobrazení pozorovaného bodu. U aberací je to naopak – větší zornice navyšuje aberace a snižuje kvalitu zobrazení. Jako ideální velikost zornice se považuje 2,5 mm. V takovém případě má optický limit rozlišení hodnotu pod 1´. [3, 4]

Fyziologický limit

Rozlišení dvou bodů od sebe je dáno také fyziologickým limitem, který je ovlivněn nahuštěním fotoreceptorů na sítnici. V oblasti fovey jsou od sebe centra čípků vzdálena zhruba 2 μm . Aby byly dva body od sebe rozlišeny, musí mezi jejich obrazy dopadající do center dvou čípků ležet alespoň jeden nestimulovaný čípek. Tomu odpovídá vzdálenost 4 μm (viz obr. 2). [3]



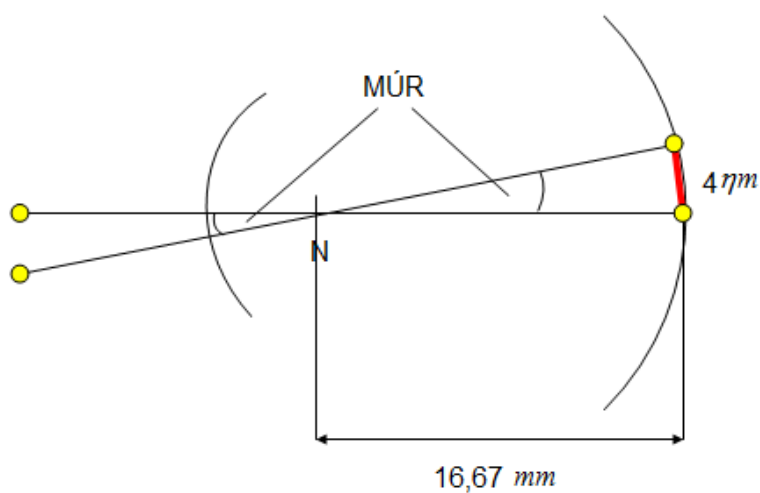
Obr. 2: Fyziologický limit rozlišení dvou bodů

Na základě této hodnoty a za využití modelu standardního redukovaného oka (viz obr. 3) lze vypočítat hodnotu $MÚR = 0,82'$, která vyjadřuje fyziologický limit pro

rozlišení dvou bodů od sebe, $\tan MÚR = \frac{4\eta m}{16,67 mm}$, odtud $MÚR \approx 0,82'$. [4]

Za referenční hodnotu se však obvykle užívá velmi blízká hodnota $MÚR = 1'$. V této

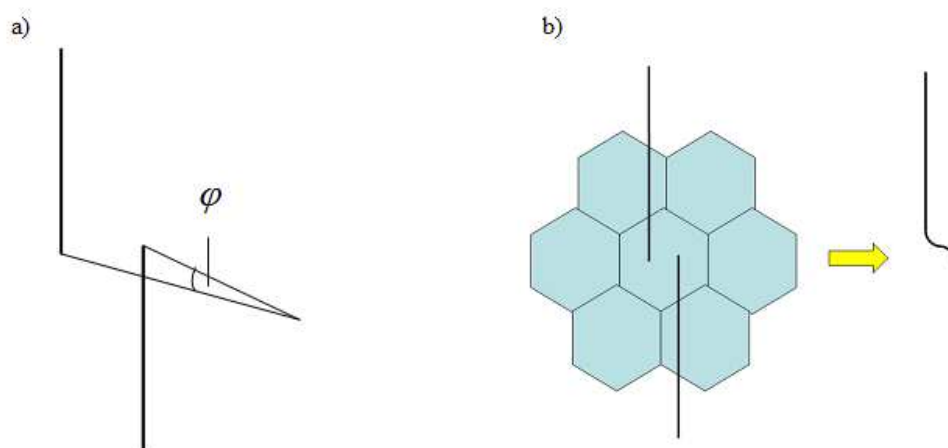
souvislosti se též zavádí bezrozměrná relativní veličina visus V , $V = \frac{1'}{MÚR}$, vztažená právě k referenční hodnotě $MÚR = 1'$. [5]



Obr. 3: Schematické zobrazení pomocí standardního redukovaného oka

1.2 Noniová rozlišovací mez

Noniová rozlišovací mez udává minimální úhlovou vzdálenost dvou úseček umístěných nad sebou (viz obr. 4a), při které jsou rozlišeny ještě jako dvě úsečky (viz obr. 4b). Noniové rozlišení dosahuje hodnot přibližně $5'' \sim 10''$, tedy menších a lepších hodnot než úhlové rozlišení. [6]



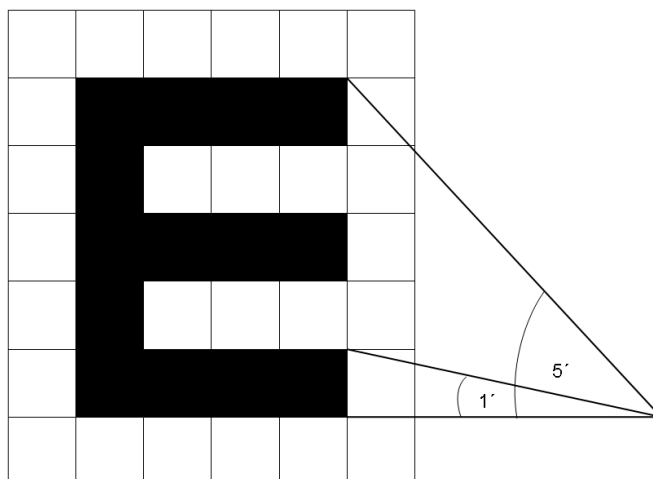
Obr. 4: Noniové rozlišení [6]

1.3 Vyšetření úhlové centrální zrakové ostrosti

Zraková ostrost se obvykle číselně popisuje relativní veličinou visus V , ve které je shrnuto srovnání konkrétní hodnoty $MÚR$ s referenční hodnotou $1'$,

$$V = \frac{1'}{MÚR}.$$

Zraková ostrost se vyšetřuje pomocí dle pravidel uspořádaných symbolů. Taková skupina symbolů se nazývá optotyp. Obvykle se uvádí tzv. celořádkový visus, kdy zraková ostrost oka odpovídá nejmenšímu okem rozeznávanému (přečtenému) řádku se symboly na optotypu. Za přečtený se řádek považuje tehdy, pokud byl subjektem správně přečten alespoň z 60 %, tedy pokud byly rozpoznány minimálně 3 z 5 znaků. [3, 5] Na optotypech se k vyšetřování využívají různé typy znaků – písmena, Landoltovy prstence, Pflügerovy háky, číslice nebo obrázky. Při konstrukci optotypů a znaků se vycházelo ze standardní hodnoty $MÚR = 1'$. Právě rozlišený detail při této zrakové ostrosti by pak měl mít právě tuto velikost. Úhlová velikost celého znaku je pak $5'$ (viz obr. 5). [3, 4]



Obr. 5: Znázornění úhlové velikosti detailu a celého znaku

1.3.1 Symboly na optotypu

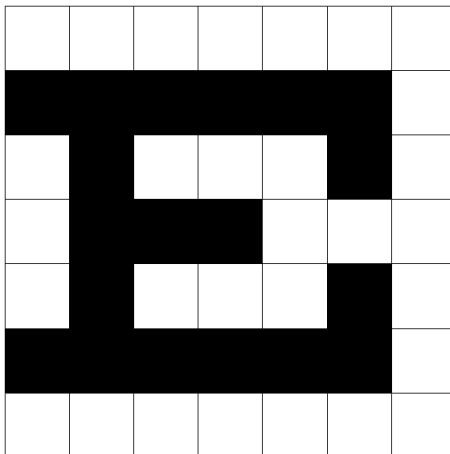
Jak již bylo zmíněno, při vyšetřování se využívají různé typy znaků, vždy s přihlédnutím na věk pacienta a jeho možnosti spolupracovat s vyšetřujícím. Proto existují optotypy obsahující písmena, Landoltovy prstence či Pflügerovy háky. Pro správné sestavení optotypu s písmeny, ale i dalšími symboly je nutné zohlednit několik parametrů [4]:

- Vzhled znaku a jeho relativní čitelnost,
- progrese velikostí znaků,
- vzdálenost jednotlivých písmen od sebe a jednotlivých řádků od sebe,
- kontrast mezi znakem a pozadím optotypu,
- jas optotypu.

Písmena

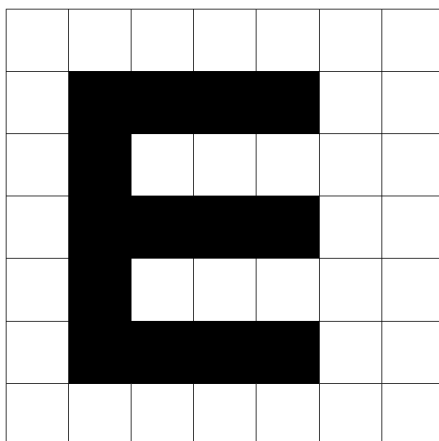
Písmena jsou využívána v mnoha podobách a variacích, které se během posledních desetiletí vyvíjely s ohledem na efektivitu vyšetřování. Většina písmen je konstruována s pěti jednotkami na výšku a obvykle pěti jednotkami na šířku. Některé alternativy nabízejí i čtyři jednotky na šířku. Jedna jednotka odpovídá detailu znaku, kterým je určeno přiřazené *MÚR*. [3]

V počátcích konstrukce optotypů se využívalo Snellenovo patkové písmo (Serifs), jehož podobu znázorňuje obrázek 6. Snellenovo patkové písmo dostalo rozměr 5x5 jednotek.



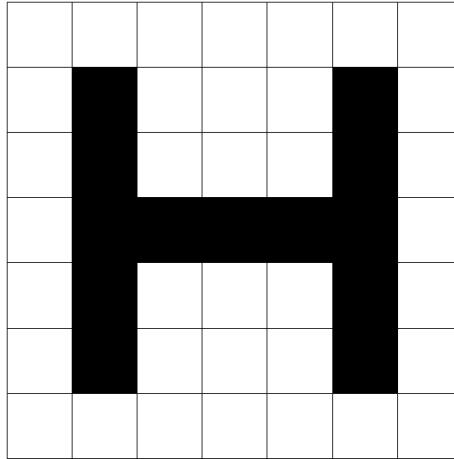
Obr. 6: Snellenovo patkové písmo

Modernější optotypy již tenhle styl písma nevyužívaly a přešly na bezpatkové písmo (Sans-serif). Znaky byly adaptovány na velikost 5x4, šířku písmene tedy tvořily pouze čtyři jednotky (viz obr. 7). Tato skupina znaků je známá pod názvem „British letters“ a patří do ní písmena D, E, F, N, H, P, U, R, V, Z. [3]



Obr. 7: Bezpatkové písmo „British letters“

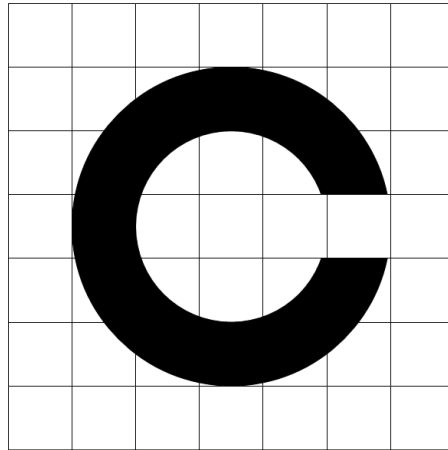
Nejznámějším typem bezpatkového písma jsou však „Sloan letters“ využívající rozměru 5x5 jednotek, jak je vidět na obrázku 8. Do této skupiny patří deset písmen: C, D, H, K, N, O, S, R, V, Z. Tyto znaky jsou specifické svými úhly a zakřivením. [3]



Obr. 8: Znárodnění „Sloan letters“

Landoltovy prstence

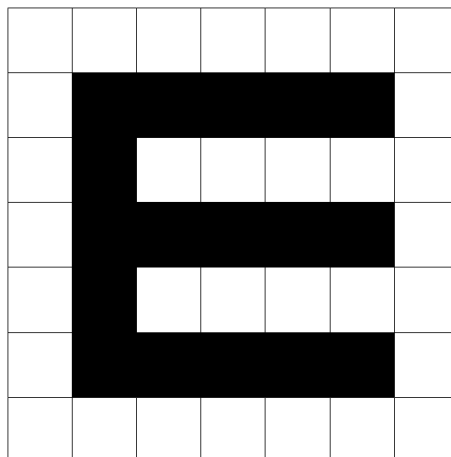
Prstenec je tvořen kruhem a mezerou, která tento kruh v jednom místě přerušuje. Prstenec tak připomíná písmeno “C”. U Landoltových prstenců se využívá rozměru 5x5, tedy 5 jednotek na šířku a 5 jednotek na výšku. Mezera v kruhu odpovídá jedné jednotce, tedy úhlové velikosti 1' (viz obr. 9). Mezera v kruhu bývá na optotypech prezentována ve čtyřech hlavních pozicích, případně i osmi pozicích, kde vedle hlavních uvažujeme i čtyři pozice šikmé. Vyšetřovaný se snaží rozeznat pozici této mezery a na základě jeho odpovědi se určuje zrková ostrost. Landoltovy prstence se využívají při vyšetřování pacientů, kteří neznají abecedu. Obvykle je nezbytné pacientovi ukázat přímo ten znak, který má rozpoznat. Není totiž vždy pro vyšetřujícího jednoduché poznat, kde přesně pacient na optotypu „čte“. [2, 3, 4]



Obr. 9: Landoltův prstenec

Pflügerovy háky

Optotypy s Pflügerovými háky jsou často využívány pro vyšetřování dětí v předškolním věku a analfabetů. Jejich design je založen na rozměru 5x5 jednotek, přičemž jedna jednotka tvoří detail symbolu, který svým tvarem připomíná písmeno „E“ (viz obr. 10). Písmeno je na optotypu orientováno ve čtyřech různých směrech, na něž je pacient tázán. Tyto směry jsou – nahoru, dolů, doprava a doleva. Některé testy, podobně jakou u Landoltových prstenců, využívají znaky i se šikmou orientací. Pro usnadnění vyšetření se někdy využívá pomůcka ve tvaru písmene „E“, kterou dítě ukazuje orientaci pozorovaného znaku. [2, 4]



Obr. 10: Pflügerův hák

Progrese velikostí znaků

Stejně jako se v minulosti měnily typy znaků a jejich podoba, tak se rozvíjela i progrese velikostí řádků na optotypech. Aby vyšetření zrakové ostrosti bylo provedeno kvalitně, bylo nutné najít ideální progresi velikosti znaků. Pokud bychom měli optotyp s řádkem odpovídající vízu 6/12 (zápis visu pomocí zlomku je uveden v kapitole 1.3.4) a následující řádek by odpovídal až vízu 6/18 a zraková ostrost vyšetřovaného oka by se pohybovala někde mezi těmito dvěma hodnotami, neměli bychom možnost oko vyšetřit s požadovanou přesností. Dle psychofyzického Weber-Fechnerova zákona [6], který říká, že roste-li podnět řadou geometrickou, pak vjem roste řadou aritmetickou, je optimální užití progrese odpovídající geometrické posloupnosti (psychofyzice se více věnuje kapitola 3).

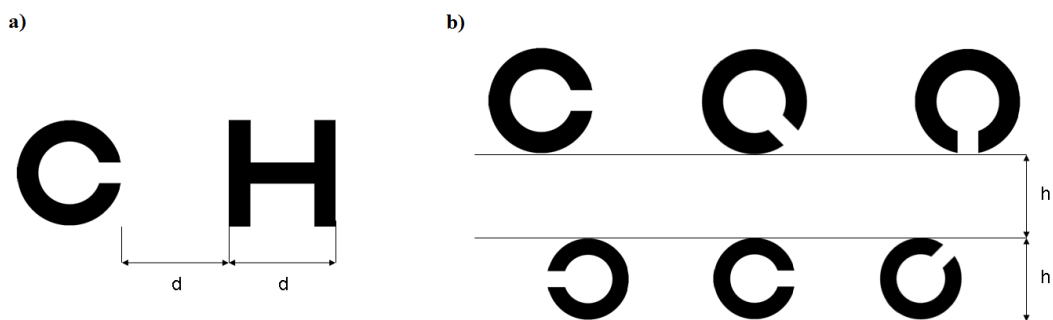
Jako první navrhnul progresi velikosti znaků Hermann Snellen, který vybral pro svůj optotyp velikost řádků rozlišených ze vzdálenosti 6, 8, 12, 18, 24, 36 a 60 m. Optotyp tedy obsahoval 7 řádků. Tato progrese byla vybrána empiricky, nicméně posloupnost blízce odpovídá geometrické posloupnosti s koeficientem $\sqrt{2} \cong 1,41$. Progrese sice odpovídá geometrické posloupnosti, ale zvolený krok je poměrně hrubý. [4] Pokud místo $M\acute{U}R$ uijeme logaritmus této veličiny, $\log M\acute{U}R$, bude odpovídající progrese v logaritmických jednotkách mít ekvidistantní krok. Proto se i za přispění výzkumů přešlo k progresi v logaritmických jednotkách s dostatečně malým krokem 0,1 $\log M\acute{U}R$. Optotypy s progresí velikosti znaků v logaritmických jednotkách tak respektují Weber-Fechnerův zákon.

Dle Westheimerovy studie [7] byly odchylky za použití stupňování v logaritmických jednotkách při opakovaném měření minimální. Progrese velikosti řádků odpovídá násobku $10^{0,1} \approx 1,259$ (tj. výše uvedenému rozdílu 0,1 $\log M\acute{U}R$). Pro vyšetřovací vzdálenost 6 metrů pak progrese velikosti znaků odpovídá řádkům viděných ze vzdálenosti 6,0, 7,5, 9,5, 12, 15, 19, 24, 30, 38, 48, 60, 75, 95. Změna velikosti řádků je tedy v tomto případě jemnější než při geometrické posloupnosti dle Snella. Použité velikosti řádků na optotypech se stupňováním v logaritmických jednotkách odpovídají vízu 0,1 až 2,0 (zápis visu pomocí desetinného čísla je uveden v kapitole 1.3.4). Tyto optotypy se nazývají dle použité progrese velikosti „ $\log M\acute{U}R$ optotypy“. [3]

Vzdálenost jednotlivých písmen od sebe a jednotlivých řádků od sebe

Okolí pozorovaného znaku výrazně ovlivňuje jeho čitelnost. Z tohoto důvodu je velmi důležité stanovit ideální vzdálenost sousedních písmen a vzdálenost sousedních řádků. Merton C. Flom, americký vědec z university v Houstonu, provedl experiment s Landoltovými prstenci. [8] Každý tento prstence byl obklopen konturami ze všech čtyř stran. Flom zjistil významný vliv těchto kontur na rozpoznání mezer v prstencích – čím menší separace mezi konturou a znakem, tím menší čitelnost znaku. Tento jev se nazývá konturová interakce a více se mu budou věnovat kapitoly 2.1 a praktická část práce.

Dle Baileyho a Lovieho [24] by se vzdálenost sousedních písmen měla rovnat šířce písmene na téže řádce (viz obr. 11a). Vzdálenost řádků by měla odpovídat velikosti následujícího řádku (viz obr. 11b). [3, 4]

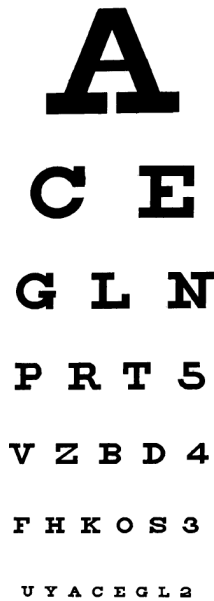


Obr. 11: Znárodnění a) vzdálenosti sousedních písmen, b) sousedních řádků

1.3.2 Typy optotypů

Snellenův optotyp

Původní Snellenův optotyp obsahoval 7 řádků s písmeny. Počet písmen na řádcích se se zmenšující velikostí zvětšoval z jednoho znaku na vrcholu optotypu až na 8 znaků na posledním řádku (7 písmen a 1 číslo, viz obr. 12), odpovídajícím nejvyššímu vízu. Obdobné optotypy vycházející z původního Snellenova návrhu jsou i přes řadu změn a úprav nazývány „standardní Snellenovy optotypy“. [3]



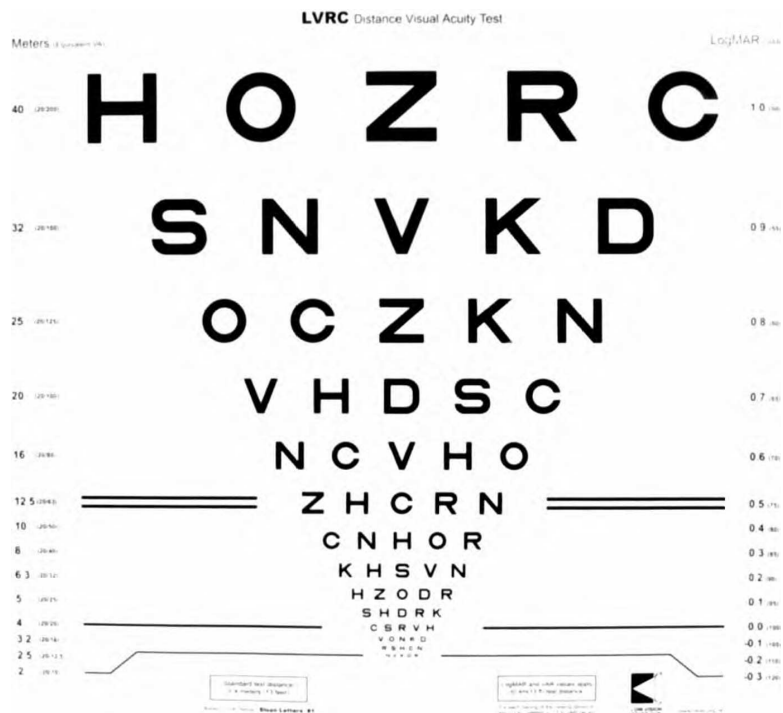
Obr. 12: Původní Snellenův optotyp [3]

Bailey-Lovieho optotyp

Dva oftalmologové Bailey a Lovie navrhli optotyp se stupňováním velikosti řádků v logaritmických jednotkách (viz obr. 13). Standardizovaný optotyp, známý také pod názvem logMÚR, je založen na následujících principech [3]:

- Progrese velikosti řádků v logaritmických jednotkách,
- stejný počet znaků na řádku,
- vzdálenost mezi písmeny odpovídá velikosti jednotlivých znaků,
- vzdálenost mezi řádky odpovídá velikosti následujícího řádku,
- přibližně stejná čitelnost znaků na každém řádku (čitelnosti znaků se podrobně věnuje kapitola 1.3.3).

Tyto principy umožňují stejnou přesnost vyšetření při každém vízu. Stejně jako u Snellenova optotypu, tak i u Bailey-Lovieho konstrukce došlo k postupným úpravám. Změnilo se například písmo z původních British letters na Sloan letters. Takto upravený optotyp využil Frederick L. Ferris pro včasné rozpoznání diabetické retinopatie, díky čemuž se těmto optotypům říká ETDRS (z anglického Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study). [3] Díky svým pevně stanoveným principům jsou hojně využívány oftalmology i vědci z celého světa.



Obr. 13: LogMÚR optotyp s písmeny [3]

1.3.3 Čitelnost znaků

Obecně lze pod pojmem čitelnost rozumět vlastnost znaku, která souvisí s pravděpodobností jeho záměny za jiný znak. Pro účely jednotlivých studií bývá čitelnost vždy specificky definována.

Při využití Landoltových prstenců nebo Pflügerových háků lze pozici mezery nebo směr písmene E odhadnout s pravděpodobností 25 % (případně 12,5 % při optotypu s osmi pozicemi prstence), u písmen je pravděpodobnost správného typu daleko menší (až $1/26 \cong 4\%$). Pacient, většinou neznalý konstrukce optotypu, totiž na optotypu očekává jakékoliv písmeno abecedy. Nicméně dle NAS-NRC Committee on Vision mají Sloan letters stejnou průměrnou čitelnost jako Landoltovy prstence. [9]

Nejvyužívanějšími písmeny na optotypech jsou Sloan letters. Každý z deseti znaků Sloan letters má jinou čitelnost (viz tabulka 3), proto je žádoucí, aby všechny řádky na optotypu byly v průměru přibližně stejně čitelné. Podle tohoto kritéria byl konstruován optotyp ETDRS. [3]

Coates, Woodruff a Bennett [25] postupně zkoumali relativní čitelnost bezpatkových písmen British letters. Cílem výzkumu bylo najít největší vzdálenost, ze které by bylo každé písmeno rozpoznáno. Relativní čitelnost British letters znázorňuje

tabulka 2. Relativní čitelnost i -tého znaku P_i byla pro účely této studie definována vztahem

$$P_i = \frac{h_{i\max}}{h_{i0}},$$

kde $h_{i\max}$ je největší vzdálenost, kdy byl znak rozlišen a h_{i0} odpovídá vhodné referenční vzdálenosti – průměru všech vzdáleností $h_{i\max}$. U některých znaků však bude relativní čitelnost větší než 1, což není při popisu čitelnosti výhodné. Woodruff také porovnával čitelnost písmen o velikosti 5x5 a 5x4 jednotky a zjistil, že písmena o velikosti 5x4 jednotky jsou obtížněji čitelná než písmena o velikosti 5x5. [4, 25]

Znak	Relativní čitelnost
E	1,09
U	1,08
Z	1,05
F	1,04
H	1,02
P	1,01
N	0,97
D	0,95
V	0,94
R	0,91

Tabulka 2: Relativní čitelnost jednotlivých znaků British letters [25]

Pořadí jednotlivých znaků dle čitelnosti podle studie Bedella [9] vyjadřuje první sloupec tabulky 3. Druhý sloupec znázorňuje výsledky obdobného experimentu [26], který prováděl Sloan a kolektiv. V obou studiích byla čitelnost vyjádřena procentuálním podílem správných odpovědí, tedy pravděpodobností, s jakou byl znak správně rozlišen. S čitelností znaků na optotypu je úzce provázaná psychometrická funkce, která odráží vliv zmenšování znaků na jejich čitelnost. Této problematice se teoreticky věnuje kapitola 3 a také kapitola 4.1 v praktické části diplomové práce.

Znak	Čitelnost % (Bedell)	Čitelnost % (Sloan)
N	92,5	91,6
R	91,6	86,3
Z	91,3	94
C	86,4	71,4
H	84,6	89,3
K	83,9	82,1
S	82,4	70,6
V	78,5	84,6
O	61,4	71
D	54,8	79,5

Tabulka 3: Čitelnost jednotlivých znaků Sloan letters v procentech [9]

1.3.4 Možnosti zápisu zrakové ostrosti

Zrakovou ostrost lze zapsat v několika podobách, každá z nich ji popisuje z jiného hlediska. Zrakovou ostrost lze zapsat přímo pomocí $MÚR$ (MAR) nebo jeho logaritmu $\log MÚR$ nebo pomocí visu definovaného v kapitole 1.3. Visus se obvykle zaznamenává ve tvaru tzv. Snellenova zlomku, nebo jako desetinné číslo. Těmto způsobům zápisu se věnuje následující část kapitoly.

Snellenův zlomek

Pro sestavení Snellenova zlomku jako jednoho ze způsobů zápisu visu jsou potřeba dvě hodnoty – konkrétní vyšetřovací vzdálenost a číslo řádku. Číslo řádku přesněji vyjadřuje vzdálenost, ve které má znak na optotypu úhlovou velikost $5'$ a je tedy okem o visu 1 právě rozlišen. Např. číslo řádku 6 značí, že znak z tohoto řádku je vidět pod úhlem $5'$ právě ve vzdálenosti 6 metrů. Snellenův zlomek bývá tedy formulován ve tvaru

$$V = \frac{h}{\check{c}},$$

kde h je vyšetřovací vzdálenost a \check{c} odpovídá číslu řádku. Lze ukázat, že uvedený vztah plně koresponduje se vzorcem pro definici visu. Pokud tedy byl visus měřen ze vzdálenosti 6 metrů a nejmenší přečtený řádek měl číslo 60, zraková ostrost bude v takovém případě rovna $6/60$ a hodnota $MÚR$ je pak rovna $10'$. Zraková ostrost zapsaná Snellenovým zlomkem tedy podává informace jak o vyšetřovací vzdálenosti, tak o nejmenším přečteném řádku na optotypu. Zlomky se mohou lišit vlivem užití

jiného systému délkových jednotek. Zatímco v USA se pro vyjádření vzdálenosti užívají stopy, v Evropě je zaveden metrický systém. Visus 6/12 v metrických jednotkách tak odpovídá visu 20/40 ve stopách. [3]

Decimální zápis

Visus se píše v podobě desetinného čísla, které vznikne jednoduchou matematickou úpravou Snellenova zlomku, např. visus 6/12 se desetinným číslem vyjádří jako 0,5. Takové desetinné číslo dává jasnou informaci o zrakové ostrosti, v Evropě je to tedy nejvyužívanější způsob zápisu visu, který ovšem nedává informaci o vyšetřovací vzdálenosti, jak je tomu u Snellenova zlomku. Pokud desetinné číslo vynásobíme 100, dostaneme procentuální vyjádření zrakové ostrosti, např. visus $0,5 \times 100\% = 50\%$. Procentuální vyjádření visu je pro laického pacienta mnohem srozumitelnější než ostatní způsoby zápisu. [3]

MÚR (MAR)

Tento způsob zapsání visu vyjadřuje úhlovou velikost detailu nejmenšího rozpoznatelného znaku na optotypu. Úhlová velikost detailu u písmen je rovna pětina jeho výšky. Např. u visu 6/6 (dle Snellenova zlomku) je hodnota *MÚR* rovna 1'. Visus 6/12 je roven 2' *MÚR*. Tedy čím nižší hodnota *MÚR*, tím lepší zraková ostrost. Pojmu *MÚR* se hlouběji věnuje kapitola 1.1.

log*MÚR*

Dekadický logaritmus *MÚR* je dalším způsobem zápisu zrakové ostrosti. Pro její výpočet se využívá výše zmíněné hodnoty *MÚR*. Pokud je změřena zraková ostrost např. 6/12, *MÚR* je pak rovno 2'. Tato úhlová velikost se zlogaritmuje a výsledkem je zraková ostrost 0,3. Při visu 6/6 je pak log*MÚR* roven 0. Pokud je visus lepší než 6/6, hodnota log*MÚR* je záporná (viz tabulka 4). [3] Velkou výhodou tohoto typu zápisu je možnost podrobnějšího popisu zrakové ostrosti, než je tomu u předešlých typů. Na optotypech s logaritmickým stupňováním (kapitola 1.3.1) progresse velikosti řádků odpovídá rozdíl velikosti sousedních řádků jednotce 0,1 log*MÚR*. Při pěti znacích na každém řádku pak na každý tento znak připadá hodnota 0,02 log*MÚR*. Pokud tedy pacient nepřečte např. celý řádek 0,3, ale pouze dva znaky z něj, visus má pak přesnou hodnotu log*MÚR* = 0,36. Takto stanovený visus se též nazývá prahový visus a bývá

často využíván pro hodnocení drobných změn zraku především v odborných studiích ve spojení s optotypy Bailey-Lovieho konstrukce (kapitola 1.3.2). [3, 10]

Snellenův zlomek	Decimální zápis	$MÚR'$	logMÚR
6/3	2,0	0,50	-0,30
6/3,8	1,60	0,63	-0,20
6/4,8	1,25	0,80	-0,10
6/6	1,00	1,00	0,00
6/7,5	0,80	1,25	0,10
6/9,5	0,63	1,60	0,20
6/12	0,50	2,0	0,30
6/15	0,40	2,5	0,40
6/19	0,32	3,2	0,50
6/24	0,25	4,0	0,60
6/30	0,20	5,0	0,70
6/38	0,16	6,3	0,80
6/48	0,125	8,0	0,90
6/60	0,10	10,0	1,00
6/120	0,05	20	1,30
6/240	0,025	40	1,60
6/600	0,01	100	2,00

Tabulka 4: Čtyři ekvivalentní zápisy zrakové ostrosti [10]

Specifické zápisy zrakové ostrosti

Specifického zápisu zrakové ostrosti se využívá u pacientů s těžkou zrakovou vadou, při které není pacient schopen rozeznat optotyp ani na minimální vzdálenost. V takovém případě je pacientovi pomítáno světlo (např. bodová svítílna) z určitého směru a pacient je tázán na přítomnost světla a směr, ze kterého přichází. Pokud směr určí správně, zraková ostrost se pak zapisuje jako $V_{p.c.}$ (projekce certa), projekce světla je tedy zachována. V případě, že pacient směr neurčí správně, se zraková ostrost zapíše jako $V_{p.inc.}$ (projekce incerta). [6]

Dalším specifickým způsobem zápisu zrakové ostrosti může být největší vzdálenost, ze které pacient rozeznal prsty vyšetřujícího. Pokud pacient rozezná prsty na ruce, která se nachází ve vzdálenosti např. 1 metr od něj, zraková ostrost se pak zapíše např. 1 m prsty. [2, 6]

Značení visu

U zápisu visu do karty pacienta je vhodné visus více specifikovat, aby se při vyhodnocení vyšetření nebo při následující kontrole snáze orientovalo ve výsledcích a předešlo se tak možným omylům. Proto se visus změřený bez korekční pomůcky označuje jako V_N (visus naturalis, přirozený visus) nebo jako V_{SC} (visus sub correction, visus bez korekce). Visus s korekcí se značí V_{CC} (visus cum correction). Na některých pracovištích je možné se setkat s odlišným značením, např. UCVA (uncorrected visual acuity, visus bez korekce) a BCVA (best corrected visual acuity, visus s nejlepší korekcí). Každé pracoviště si vybírá takové značení visu, které vyšetřujícím vyhovuje a na které jsou zvyklí. Proto je vhodné znát i jiné možnosti značení visu pro lepší orientaci v kartách pacientů. [6, 10]

1.3.5 Formát optotypů

Při vyšetřování zrakové ostrosti do dálky se v dnešní době využívají nástěnné tištěné optotypy, optotypy v podobě projektoru nebo LCD optotypy. Nejvyužívanější variantou se stávají LCD optotypy, které umožňují využívat velké množství pomocných testů. Velkou výhodou je ideální kontrast mezi pozadím a znaky. Znaky na nástěnných tištěných optotypech jsou vytištěné na polopropustném materiálu a jsou přímo osvětleny z vnitřní strany konstrukce. Natištěné znaky pak znamenají fixní konstrukci optotypu, nelze tedy měnit sadu znaků, jejich pořadí nebo počet, jak je tomu u LCD optotypů a některých projekčních optotypů. U projekčních optotypů jsou znaky promítány na plátno. Při využití projektoru je nutné, aby se vzdálenost mezi plátnem a projektorem rovnala vyšetřovací vzdálenosti. Při dodržení této podmínky odpovídají zrakové ostrosti promítaným hodnotám. V opačném případě je nutné hodnoty přepočítat. [3]

2 KONTUROVÁ INTERAKCE A CROWDING FENOMÉN

Jak již bylo podrobně popsáno v kapitole 1.3, zraková ostrost se vyšetřuje pomocí optotypů, které se skládají z několika řádků tvořených znaky. Jak však zjistil Merton C. Flom ve svém výzkumu [8], výsledná hodnota zrakové ostrosti může být výrazně ovlivněna okolím znaku na optotypu. Na obrázku 13, který ukazuje Bailey-Lovieho optotyp, můžeme vidět, co všechno tvoří okolí znaku. Ve velké míře to jsou pochopitelně samotné znaky, které jsou nahromaděné na malém prostoru (z anglického crowd = mačkat, nahnout), ale i okraje optotypu a další kontury.

Zejména při vyšetřování amblyopických očí docházelo k zajímavým výsledkům. Větší znaky nebyly pacientem rozpoznány, zatímco menší znaky byly rozpoznány správně. Znaky na obou koncích řádků byly rozpoznány o poznání lépe než vnitřní znaky. Rozlišitelnost znaků se výrazně navyšuje při vyšetřování se samostatnými řádky nebo s jednotlivými znaky. Pokud je zraková ostrost měřená na optotypu se samostatnými řádky nebo znaky výrazně vyšší než na klasickém optotypu, pak je čitelnost znaků značně ovlivněna crowding efektem a výsledná zraková ostrost může být podhodnocená. Při vyšetřování pomocí samostatných řádků je naopak potlačen vliv crowdingu sousedních řádků, čitelnost znaků se zvyšuje a zraková ostrost ve výsledku dosahuje vyšších hodnot. Nejlepší zrakové ostrosti se pak dosáhne u jednotlivých izolovaných znaků, kdy je navíc potlačen i vliv sousedních znaků. [8]

Čitelnost však může být ovlivněna i u izolovaného znaku, a to působením např. okolních okrajů optotypu nebo vlivem dodaných, od znaku odlišných, kontur. Vlivu těchto aspektů říkáme konturová interakce. Následující kapitoly se budou crowding fenoménu, konturové interakci a vztahu mezi nimi věnovat podrobněji. Ve výzkumu těchto jevů bývá často sledována rozlišitelnost znaků daná relativním (procentuelním) počtem správných odpovědí.

2.1 Konturová interakce

„Konturová interakce je typ prostorové interference, která výrazně ovlivňuje čitelnost pozorovaného znaku.“ [8] Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 2, konturová interakce úzce souvisí s crowding fenoménem, jelikož interakce kontur je jedním z jeho tří ovlivňujících faktorů. Nejjednodušší forma konturové interakce je vyobrazena

na obrázku 14, na kterém je Landoltův prstenec ze všech čtyř stran obklopen čtyřmi konturami.

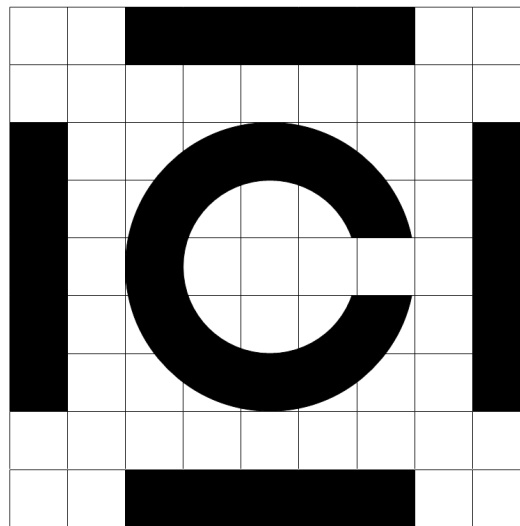
2.1.1 Konturová interakce u jednoduchého zobrazení

Jak již bylo naznačeno v úvodním odstavci kapitoly 2, amblyopické oči výrazně lépe rozeznají izolované znaky bez vlivu okolí než znaky obklopené jinými znaky či tvary. Flom tuto hypotézu ověřil experimentem [8], při kterém chtěl zachytit vliv kontur na čitelnost znaku u amblyopických i zdravých očí a následně tyto dvě skupiny porovnat. Při experimentu využíval Landoltovy prstence orientované ve čtyřech základních směrech. Úhlová velikost prstence byla pro každého pacienta nastavena tak, aby monokulárně rozeznal méně než 100 % promítaných izolovaných znaků. Tato procentuální hodnota se nazývá „hladina“. Tento pojem bude hojně využíván v praktické části této práce. Každý znak byl obklopen čtyřmi konturami, které byly promítány v různých vzdálenostech (separacích) od tohoto znaku. Vzdálenost byla měřena od hrany kontury ke hraně znaku. Výsledky výzkumu pak hypotézu potvrdily. U zdravých očí při větší vzdálenosti kontur od znaku k interakci nedochází, dochází k ní až při separaci 2-4 úhlových minut v oku. Naopak u amblyopických očí nastal výrazný vliv konturové interakce i při větší separaci, a to již při 23 úhlových minutách.

Je zajímavé, že při velmi malé separaci se rozlišení znaků zlepšilo, a to u obou testovaných skupin. U některých pacientů se míra rozlišení Landoltova prstence blížila hodnotě rozlišení zcela izolovaného znaku, tedy znaku bez okolních kontur. Dle výsledků je zřejmé, že největší vliv konturové interakce na rozlišení znaků nastává při separaci rovné jeden až dvojnásobku hodnoty $MÚR$ (hodnota pro izolovaný znak a danou hladinu) a že vzdálenost, ve které se začíná efekt konturové interakce projevovat, v průměru odpovídá pětinašobku $MÚR$, neboli velikosti znaku. Výzkum byl prováděn při centrální prezentaci znaku. [8]

V rámci problematiky týkající se konturové interakce lze definovat pojmy „rozsah a intenzita konturové interakce“. Maximální vzdálenost od fixovaného znaku, při které již je pozorován vliv konturové interakce, se nazývá rozsah konturové interakce, zatímco intenzita představuje míru poklesu rozlišitelnosti znaku při maximálním vlivu konturové interakce. R.J. Jacobs zkoumal [11], zda a jak se liší tyto vlastnosti konturové interakce ve fovee a periférii sítnice. Při periferní prezentaci znaku s konturami se hodnota $MÚR$, při které byl znak obklopený konturami stejně

rozlišitelný jako bez kontur, téměř zdvojnásobila, z čehož vyplývá značně vyšší intenzita konturové interakce při periferní prezentaci znaku než při prezentaci znaku v centrálním zorném poli. Podobný závěr se dal předpokládat i u rozsahu konturové interakce. Rozsah je podstatně vyšší při periferní prezentaci znaku než při prezentaci centrální.



Obr. 14: Kontury kolem Landoltova prstence

2.1.2 Konturová interakce u složitého zobrazení

Konturová interakce nemusí vznikat jen u konturami obklopeného samostatného znaku (viz kapitola 2.1.1), ale i u složitého zobrazení, při kterém jsou fixované znaky obklopeny mnoha tvary, znaky a jinými konturami, které mohou interagovat jednak mezi sebou, ale i společně s fixovaným znakem.

Při stabilní fixaci oka lze dokázat, že konturová interakce a rozdělení pozornosti mezi znaky mají při složitém zobrazení vliv na snížení rozlišitelnosti znaků, ať už působí společně nebo samostatně. Tento efekt je možné dokázat v případě, že subjekt fixuje pouze na požadované znaky, požaduje se tedy stabilní fixace. Efekty konturové interakce a rozdělení pozornosti se vzájemně liší u znaků prezentovaných v centrální části zorného pole a znaků prezentovaných v periférii. [11]

Ve dvacátých letech 20. století W. Korte [12] zjistil, že krátká nesmyslná slova jsou v periférii hůře rozlišitelná než samostatné znaky. Již díky tomuto objevu lze říci, že na poklesu čitelnosti znaků se podílí jak samotná konturová interakce, tak i rozdělení pozornosti mezi znaky, které tvoří nesmyslná slova. Další experiment, který provedli

Averbach a Coriell [13], již ukazuje rozdíl efektu v periférii a centru sítnice. Subjektům byly prezentovány dva řádky, přičemž v každém z nich bylo osm stejně velkých písmen. Vzdálenost mezi písmeny byla rovna velikosti právě jednoho z nich. Subjekt stabilně fixoval na střed řádku. Zatímco při prezentaci izolovaného znaku byla všechna písmena čitelná se 100% pravděpodobností, při prezentaci celého řádku čitelnost písmen klesla. Podle očekávání byla písmena ve středu řádku viděna nejlépe, zatímco znaky v blízké periférii o poznání hůře. Nicméně písmena na obou krajích řádků byla čitelná lépe než znaky mezi nimi a znaky ve střední části řádku, což potvrzuje i experiment Floma [8] (viz úvod kapitoly 2). Výsledky ukazují jasný pokles čitelnosti písmen v blízké periférii při složitém zobrazení s pevnou stabilní fixací. Stejně jako v Korteého experimentu [12] lze i u tohoto výzkumu pozorovat efekt konturové interakce a rozdělení pozornosti při složitém zobrazení.

Rozlišitelnost fixovaného znaku je tedy ovlivněna zejména konturovou interakcí způsobenou písmeny v jeho bezprostřední blízkosti. Naopak vzdálenější znaky rozlišitelnost fixovaného znaku téměř neovlivňují, stejně jako rozdělení pozornosti mezi ostatní znaky. Avšak rozlišení znaku v periférii je výrazně ovlivněno ostatními znaky, a to i v případě, že se nachází ve velké vzdálenosti od sebe. Rozdělení pozornosti má také významný vliv na správné rozlišení znaku v periférii. [13] Podoba a vlastnosti konturové interakce u složitého zobrazení velmi úzce souvisí s crowding fenoménem, kterému se bude věnovat kapitola 2.2.

Lidé po celém světě se v každodenním životě setkávají s mnoha situacemi, kdy je rozlišitelnost pozorovaných znaků značně redukována konturovou interakcí. Taková situace může nastat například řidiči automobilu, který jede po rychlostní silnici. Dopravní značky (v USA) informující např. o číslu silnice jsou většinou orámovány konturami, které jsou v kritické vzdálenosti od čísel na značce. Působením konturové interakce a samozřejmě také vlivem pohybu vozidla vzhledem k dopravní značce se může stát, že řidič sice uvidí značku, ale může mít problémy s rozlišením číslic uvnitř značky. [5]

2.1.3 Mechanismus vzniku konturové interakce

Vznik konturové interakce u jednoduchého znaku, tedy u samostatně postaveného znaku s konturami, nelze odůvodnit rozmazaným sítnicovým obrazem ani jemnými fixačními pohyby očí. Důvodem vzniku může být snaha současně provádět

několik percepčních úkonů, např. snaha udržet separované kontury od fixovaného znaku za současné snahy správně rozlišit znak (např. určit pozici mezery na Landoltově prstenci). [8] Další možné vysvětlení vychází ze změny spektra prostorových frekvencí pozorovaného obrazce při přidání kontur. Kontury by měly posunout prostorové frekvence k vyšším hodnotám mimo oblast rozlišení oka. [14] Tato hypotéza se ovšem v dalších studiích nepotvrdila [15, 27], proto je tohle vysvětlení bráno spíše jako sekundární efekt snížení rozlišitelnosti znaku při konturové interakci.

Opticky tedy konturovou interakci nelze jasně vysvětlit, pokles rozlišitelnosti znaků při konturové interakci se tedy přisuzuje nervovému aparátu na základě vlastností receptivních polí. Tuto teorii ověřoval např. výzkum autorů Siderov a kol. [16] Podle výsledků působí konturová interakce za všech uvažovaných jasových podmínek, nicméně se snižováním hodnot jasu dochází ke snižování síly konturové interakce, což ukazuje právě na vliv inhibičních a integračních pochodů uvnitř receptivních polí.

Merton C. Flom se svými kolegy provedl experiment [17], ve kterém dokázal, že ke vzniku konturové interakce dochází na nervové úrovni zrakového systému, přesněji až tam, kde došlo ke konvergenci vjemů přicházejících z obou očí. Za dichoptických podmínek, tzn. za podmínek, kdy je znak prezentován jednomu oku a okolní kontury druhému oku, totiž docházelo také ke konturové interakci. Jestliže byly kontury prezentovány stejnému oku, kterému byl prezentován znak, jednalo se o ipsilaterální kontury. Naopak kontralaterální kontury byly prezentovány druhému oku, než kterému byl prezentován znak (dichoptické podmínky). Při výzkumu byl proveden stejný počet měření při prezentaci ipsilaterálních i kontralaterálních kontur, data byla následně porovnána a bylo zjištěno, že ke konturové interakci dochází dokonce se stejnou intenzitou i rozsahem efektu. Konturová interakce tak má pravděpodobně původ v jádře zevního geniculata nebo v okcipitální kůře.

2.2 Crowding fenomén

Dnes již je dobře známo, že rozlišitelnost znaků sousedících s okolními znaky v malých vzdálenostech je mnohem menší, než rozlišitelnost izolovaných znaků nebo znaků s větší separací mezi sebou. [18] Tento efekt je známý právě pod názvem crowding fenomén. Ke zjištění a vysvětlení crowding fenoménu přispěly výzkumy několika vědců, prvním z nich byl Müller [19], který použil sadu Pflügerových háků s pevnou separací mezi sebou. Měřené subjekty postupně měnily fixaci z písmene

na písmeno, aby mohly určit orientaci Pflügerových háků. Müller poté na optotyp přiložil speciální šablonu, která zakryla některé znaky tak, aby byl viditelný pouze každý druhý znak, poté každý třetí, čtvrtý atd. Takto se postupně zvětšovala separace mezi jednotlivými znaky, což mělo za následek postupné zlepšování čitelnosti znaků u všech testovaných očí. Na základě těchto výsledků je zřejmé, že rozlišitelnost více separovaných znaků je vyšší než u těch méně separovaných.

Podobný experiment provedli Stuart s Burianem [20], kteří použili sadu 49 různě orientovaných Pflügerových háků. Výzkum byl proveden na 100 očích, z nichž 38 bylo amblyopických. S postupným zvětšováním separace mezi znaky docházelo k lepší čitelnosti znaků, a to jak u zdravých očí, tak u očí amblyopických. U amblyopických očí má ovšem crowding fenomén podstatně větší efekt.

Stuart a Burian na základě výsledků svých experimentů došli ke dvěma vysvětlením efektu crowding fenoménu. První vysvětlení se týká očních pohybů a vysvětluje možný důvod vzniku crowding fenoménu při strabismu. Při vyšetřování zrakové ostrosti je důležitá přesná a pevná fixace každého znaku, tím dojde k separaci od sousedních znaků. Subjekt s amblyopickým okem často znaky fixuje pouze vedoucím okem, to může mít za následek nestabilní monokulární fixaci daného znaku, čímž se současně snižuje čitelnost tohoto znaku. Jejich druhé vysvětlení spočívá v nervové aktivitě v sítnici. O několik let později Burian tato vysvětlení doplnil o dva faktory – konturovou interakci a rozdělení pozornosti. Crowding fenomén tak vzniká na základě fixačních očních pohybů, které mohou způsobit inhibici (zhoršení centrálního rozlišení). Crowding fenomén dále vzniká na základě nervové retinální nebo suparetinální aktivity jako reakce na okolní kontury, což způsobí integraci (sloučení znaku s okolím a vjem úplně jiného znaku) a na základě rozdělení pozornosti mezi ostatní znaky (prosté zaměnění centrálního znaku s okolním). [20]

Atkinson [21] se ve svém výzkumu zaměřil na vliv jednotlivých faktorů, které dávají vznik crowding fenoménu. Stejně subjekty byly měřeny na dvou různých optotypech. Na prvním optotypu byly znaky uspořádány pouze do jednoho horizontálního řádku, přičemž vzdálenost mezi znaky se rovnala polovině velikosti právě jednoho znaku. Znaky na druhém optotypu byly uspořádány cirkulárně, tedy okolo jednoho centrálního znaku. Vzdálenost mezi znaky se rovnala opět polovině velikosti jednoho znaku. Po vyhodnocení výsledků Atkinson zjistil výraznější efekt crowding fenoménu u cirkulárně prezentovaných znaků než u znaků postavených v řádku. Z toho vyplývá, že konturová interakce při cirkulární prezentaci znaků převládá

nad vlivem fixačních očních pohybů, kterých je potřeba více při rozpoznávání znaků v horizontálním řádku.

Jak již bylo zmíněno v předchozích odstavcích, crowding fenomén úzce souvisí s konturovou interakcí. Konturová interakce totiž tvoří jeden ze tří faktorů vzniku crowdingu. Avšak zatímco při konturové interakci se zapojuje stacionární oko, u crowding fenoménu je třeba, aby oko vykonávalo oční pohyby z jednoho znaku na druhý. Další odlišnost se týká počtu znaků – konturová interakce vzniká u izolovaného znaku, který je obklopen konturami. Crowding fenomén vzniká při dvou a více znacích, které jsou vzájemně blízko sebe. Čím více znaků se na optotypu nachází, tím větší efekt crowding fenoménu nastane, jelikož dojde k rozdělení pozornosti mezi více znaků. [22] Vztahu mezi crowding fenoménem a konturovou interakcí se pro centrální vidění věnuje experimentální část práce.

Stejně jako samotná konturová interakce, tak i crowding fenomén výrazně ovlivňuje lidské vnímání okolního světa. Crowding se projevuje všude tam, kde se v malé blízkosti od sebe nachází písmena či jiné znaky. Proto vzhledově nevhodně napsané knihy pro děti mohou výrazně ovlivnit jejich učení se číst, zejména pokud dítě trpí vývojovou poruchou učení, např. dyslexií.

3 PSYCHOMETRICKÁ FUNKCE

Praktická část této diplomové práce se vedle srovnání konturové interakce s crowding fenoménem věnuje také vlivu velikosti znaků na jejich čitelnost. Proto se následující kapitola bude zabývat psychometrickou funkcí, která bude využita pro vyhodnocení naměřených dat a která je zásadní pro obor psychofyzika. Nejznámějšími představiteli byli pánové Ernst Heinrich Weber a Gustav Theodor Fechner, podle nichž byl pojmenován tzv. Weber-Fechnerův zákon (viz kapitola 1.3.1). Psychofyzika využívá ve své podstatě několik metod, např. metodu přizpůsobení, metodu posuzování nebo metodu limitů. Právě metoda limitů byla využita v praktické části této práce (kapitola 4.1). Tato metoda je založena na prezentaci podnětů vysoko nad podnětovým prahem nebo naopak hluboko pod podnětovým prahem. Konkrétní psychometrická funkce se matematicky vyjadřuje pomocí vzorce

$$P(x) = \gamma + (1 - \lambda - \gamma)p(x),$$

kde γ vyjadřuje dolní asymptotu, $1 - \lambda$ horní asymptotu, $p(x)$ je vlastní obecná psychometrická funkce, která nabývá hodnot od 0 % do 100 %. Potom konkrétní psychometrická funkce $P(x)$ nabývá hodnot od γ do $1 - \lambda$. Jako obecná psychometrická funkce se často užívá logistická křivka

$$p(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{(x-x_0)^2}{s}}}, [28]$$

kde x_0 a s jsou parametry; nebo distribuční funkce normálního rozdělení

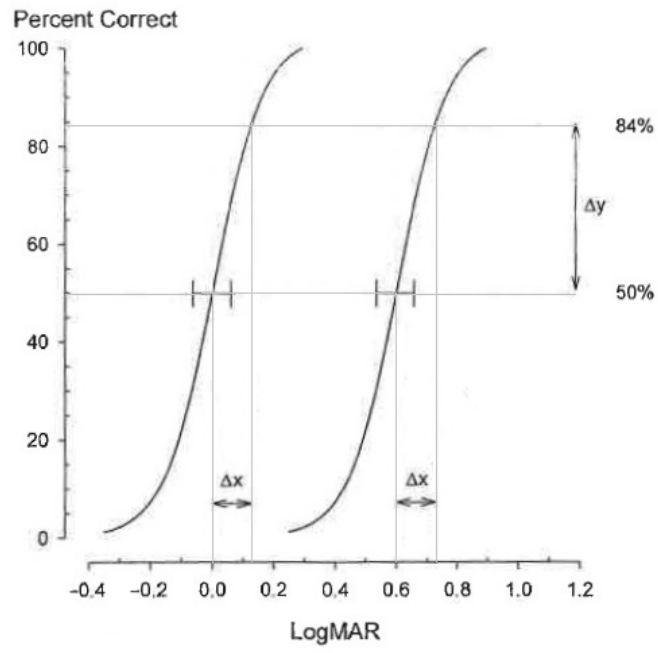
$$p(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt. [23]$$

Psychofyzika a konkrétně psychometrická funkce vyjadřují závislost reakce subjektu na fyzikální stimul. V našem případě můžeme vysvětlit psychometrickou funkci jako závislost správného rozlišení znaku (procenta správných odpovědí)

na velikosti znaku, který je subjektu prezentován. Velikost znaku bývá udávána v odpovídající spočtené hodnotě $MÚR$ nebo $\log MÚR$. Graf na obr. 15 zobrazuje výše uvedenou závislost u dvou subjektů. Osa x představuje velikost znaku, osa y správné odpovědi v procentech. Podnětový práh odpovídající hladině 50 % správných odpovědí odpovídá v prvním případě (v grafu vlevo) visu 0,0 $\log MÚR$, v druhém případě (v grafu vpravo) 0,6 $\log MÚR$. Z grafu je patrné zvýšení počtu správných odpovědí s rostoucí velikostí znaků (hodnota $\log MÚR$ roste), naopak se zmenšujícími se znaky ($\log MÚR$ klesá) počet správných odpovědí klesá. Takto naměřená data je po nanesení do grafu možné proložit právě psychometrickou funkcí. Přitom parametr λ je v tomto případě 0 (při velkých hodnotách znaků jsou tyto vždy rozeznány), parametr γ (spodní limita) potom bude korespondovat s náhodným hádáním znaků. Při uzavřené skupině N znaků, které vyšetřovaný zná, lze tuto hranici odhadnout jako $\gamma = \frac{1}{N}$. [5, 23]

Důležitým parametrem psychometrické funkce je sklon této křivky. Ten bývá vyjádřen rozsahem Δx (změnou $\log MÚR$), který odpovídá změně procenta správných odpovědí Δy z 84 % na 50 %. Procentuální hodnoty intervalu vychází z definic normálního rozdělení pravděpodobnosti. Bylo totiž zjištěno, že změna velikosti prezentovaných znaků přibližně o 30 % koresponduje s poklesem počtu správných odpovědí na již zmíněném intervalu 84 % až 50 %. [5]

Z křivky psychometrické funkce je možné vyčíst mnoho informací o zrakovém systému. Např. při nekorigovaném astigmatismu, při kolísavé akomodaci nebo při nepravidelných očních pohybech bývá křivka psychometrické funkce plošší (menší sklon), a parametr Δx tudíž větší. Při malém sklonu křivky obvykle bývá stanovení zrakové ostrosti obtížnější než při strmé křivce. [5] Na základě psychometrické funkce lze též poměrně přesně srovnávat čitelnost jednotlivých znaků. Této metody bude užito v experimentální části práce.



Obr. 15: Závislost procenta správných odpovědí na velikosti znaku v logMÚR

4 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE VLIVU HODNOTY $\log MÚR$ NA ČITELNOST ZNAKŮ; SROVNÁNÍ KONTUROVÉ INTERAKCE A CROWDING FENOMÉNU

Praktická část diplomové práce se experimentálně věnuje vyhodnocení čitelnosti použité sady znaků. Také je zaměřena na srovnání konturové interakce a crowding fenoménu.

4.1 Vliv hodnoty $\log MÚR$ na čitelnost znaků

4.1.1 Cíle praktické části

První část experimentálního měření se věnuje vlivu velikosti znaků na jejich čitelnost. Kapitola 3 se teoreticky věnovala právě psychofyzice, tedy vlivu fyzického podnětu na vjem měřeného subjektu. Cílem tohoto měření bylo, s využitím psychometrické funkce, zjistit a porovnat čitelnost jednotlivých Sloan letters s dříve provedenými experimenty. Podobný výzkum již dříve prováděli Sloan a kolektiv [26] a také Reich s Bedellem ve svém experimentu [9], který se mimo jiné věnoval právě čitelnosti sady znaků Sloan letters.

4.1.2 Statistický soubor a metodika

Figuranti

Pro účely této diplomové práce se výzkumu zúčastnilo pět figurantů (tři ženy a dva muži) ve věku od 20 do 38 let, průměrný věk 25 let se směrodatnou odchylkou $\pm 7,42$. Jediné požadavky na figuranty byly – dobrý zdravotní stav, normální zraková ostrost (s korekcí) a dostatečná fyzická a psychická kondice v den měření, jelikož měření bylo časově náročné.

Metodika měření

Výzkum byl prováděn v laboratoři na katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Každý figurant podepsal před započítím měření informovaný souhlas, ve kterém byl podrobně seznámen s cílem a metodikou výzkumu.

Bezprostředně před měřením bylo figurantům ještě jednou vše vysvětleno a byla jim představena sada deseti znaků Sloan letters, pokud ji dosud neznali (parametrům sady Sloan letters se věnovala kapitola 1.3.1). Znalost těchto deseti znaků byla pro správné provedení měření velmi důležitá, jelikož figurant musel předpokládat prezentaci pouze této sady znaků, nikoliv jiných písmen abecedy. Proto bylo vhodné seznámit figuranty s těmito deseti znaky např. jeden den před měřením.

Každé měření probíhalo za stejných světelných podmínek – zatemněná okna a rozsvícená světla v místnosti. Pro prezentaci znaků byl vytvořen speciální program. Znaky byly subjektům zobrazeny na monitoru na širokouhlém 22palcovém monitoru značky ASUS VW220T s následujícím interním nastavením: jas 100, kontrast 80. Znaky byly prezentovány v černé barvě na bílém pozadí. Reálný jas pozadí byl 200 cd/m^2 , jas znaků byl 7 cd/m^2 . Jednalo se tedy o fotopické podmínky při vysokém kontrastu znaků. Měření probíhalo monokulárně s centrální fixací znaku, figuranti si sami vybírali, které oko bude měřeno. Druhé oko bylo zakryto umělohmotným okluzorem. Znaky byly prezentovány z důvodu velké vyšetřovací vzdálenosti pomocí zrcadla, které bylo umístěno 5,5 metru před stanovištěm figuranta a pomocí výše zmíněného monitoru postaveného 1 metr za figurantem, tedy 6,5 metru od zrcadla (viz obr. 16). Vyšetřovací vzdálenost byla tedy nastavena na 12 metrů.

Samotné měření začínalo stanovením výchozí hodnoty (hladiny) $\log MÚR$, ze které pak celé měření daného subjektu vycházelo. Hodnota $\log MÚR$ se stanovila tak, aby při prezentaci izolovaných písmen bez jakéhokoliv vlivu okolí (bez kontur a jiných znaků) bylo správně rozlišeno právě 75 % - 85 % z prezentovaných písmen. Nejprve byla hodnota $\log MÚR$ nadhodnocena (větší velikost písmen), v takovém případě se hladina blížila ke 100 %. Postupně se pak hodnota $\log MÚR$ snižovala tak, aby se hladina pohybovala právě ve výše zmíněném intervalu. Na začátku však bylo potřeba pamatovat na efekt učení se, při kterém se subjekt seznamoval s 10 písmeny sady Sloan letters. Proto bylo nutné výchozí hladinu a hodnotu $\log MÚR$ několikrát ověřit a zjistit, zda stále nedochází k nárůstu procenta správných odpovědí. Jedno měření obsahovalo prezentaci 100 písmen. Po ustálení hladiny mohlo začít vlastní měření, v jehož průběhu se výchozí hladina také pravidelně ověřovala, aby byl vyloučen případný vliv učení se nebo vliv únavy. V případě opakované výrazné změny hladiny během měření bylo vhodné takové měření přerušit a pokračovat jiný den. Pokud se i další den hladina výrazně lišila od té původní, musela se všechna předchozí vlastní měření zopakovat

s novou hodnotou logMÚR. Aby byl potlačen vliv únavy, mohli figuranti v průběhu celého měření využívat přestávek dle jejich potřeb.

Při vlastním měření byly v tomto experimentu figurantům prezentovány samostatné izolované znaky bez vlivu okolí. Při měření bylo pořadí znaků náhodné, přičemž bylo zajištěno, aby se neopakovaly dva stejné znaky po sobě. Čitelnost sady písmen Sloan letters se zjišťovala na pěti postupně se snižujících hodnotách logMÚR, z nichž první byla právě původní stanovená hodnota a každá následující hodnota se snížila o 0,05 logMÚR, čímž se zmenšovala velikost písmen. Celkem probíhalo měření na pěti hodnotách logMÚR. Pro každou hodnotu logMÚR byly provedeny 2 měření po 100 znacích. Úkolem figurantů bylo správně identifikovat prezentované písmeno. Výsledná hodnota správných odpovědí byla zaznamenána pomocí používaného programu do podoby matice, která později sloužila pro podrobné vyhodnocení výsledků týkajících se čitelnosti jednotlivých písmen při různé hodnotě logMÚR. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, se snižující se hodnotou logMÚR (znaky se zmenšují) klesá i čitelnost prezentovaných znaků (procento správných odpovědí klesá). Identifikace menších písmen tak mohla být obtížná, nicméně v takovém případě museli figuranti písmeno odhadnout.

Metodika vyhodnocení

Takto naměřená data pak byla exportována do MS Excel, kde byla čitelnost vyhodnocena jak pro všech deset písmen jako celek, tak i postupně pro jednotlivá písmena, vždy pro každou hodnotu logMÚR zvlášť. Výsledkům výzkumu se věnuje následující kapitola 4.1.3.

U každého figuranta byla vytvořena celková psychometrická funkce (obr. 17 a 18) na základě numericky realizované metody nejmenších čtverců pomocí funkce „řešitel“ v aplikaci MS Excel, k čemuž byla použita psychometrická funkce ve tvaru

$$p(x) = \gamma + (1 - \lambda - \gamma) \cdot \frac{1}{1 + e^{\frac{(x-x_0)^2}{s}}}$$

Taková psychometrická funkce pak byla normována transformováním hodnot logMÚR tak, aby hodnota 50 % (úspěšnost rozlišení znaků) odpovídala na ose x hodnotě 0 a hodnota 82 % hodnotě 1. Hladina 82 % byla užita na základě studie Reicha a Bedella

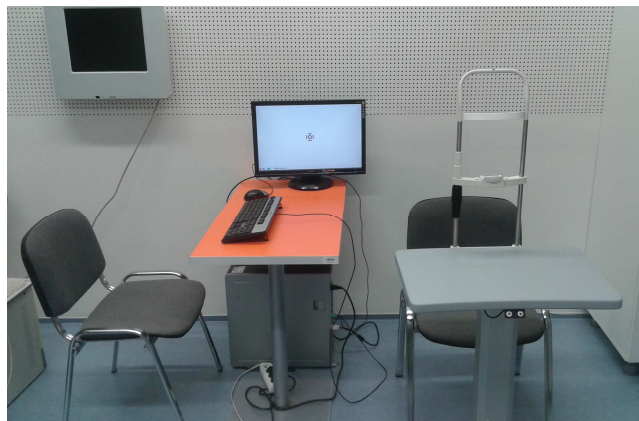
[9]. Transformační parametry všech subjektů jsou uvedeny v tabulce 5. Byl odvozen a užit vztah

$$x' = \frac{x - x_{50}}{x_{82} - x_{50}},$$

kde x' je nově získaná hodnota na ose x , x je původní hodnota logMÚR, která je transformována právě na parametr x' , x_{82} je hodnota na ose x (transformační parametr x_{82}) odpovídající hodnotě 82 % na ose y a x_{50} je hodnota na ose x (transformační parametr x_{50}) odpovídající hodnotě 50 % na ose y . Následně byla pro každé písmeno seskupena data od všech figurantů a daným souborem byla opět proložena dílčí psychometrická funkce s normovanými hodnotami logMÚR. Z dílčích psychometrických funkcí byla pro každé písmeno zjištěna konkrétní procentuální hodnota správných odpovědí na referenční hodnotě 1 normované x souřadnice. Tato hodnota byla položena rovna čitelnosti.

	x_{50}	x_{82}
subjekt 1	-0,2716	-0,1856
subjekt 2	-0,1583	-0,0157
subjekt 3	-0,094	-0,0119
subjekt 4	-0,1487	-0,0396
subjekt 5	-0,248	-0,1442

Tabulka 5: Transformační parametry



Obr. 16: Vyšetřovací stanoviště

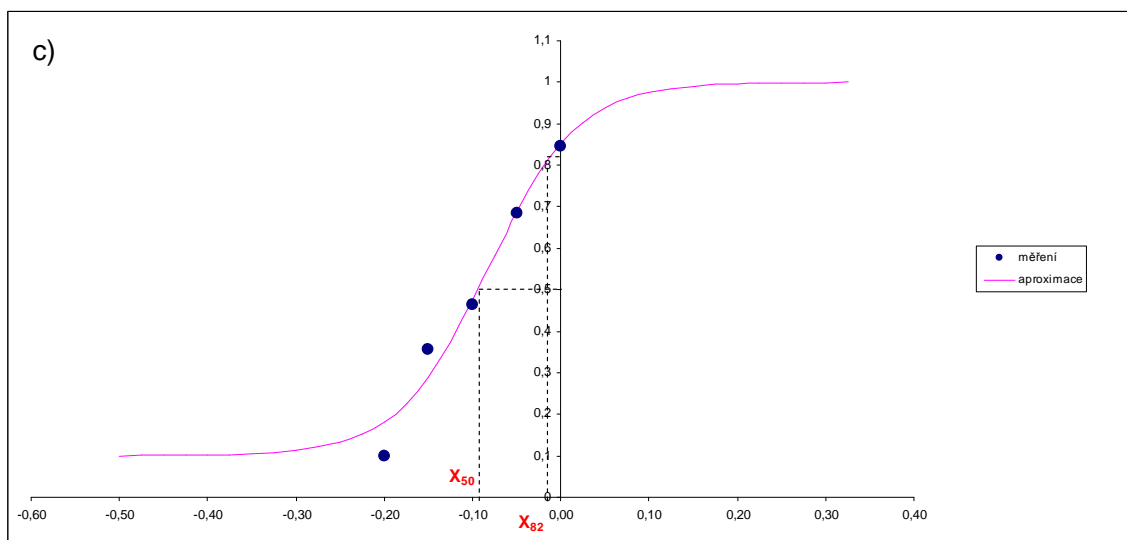
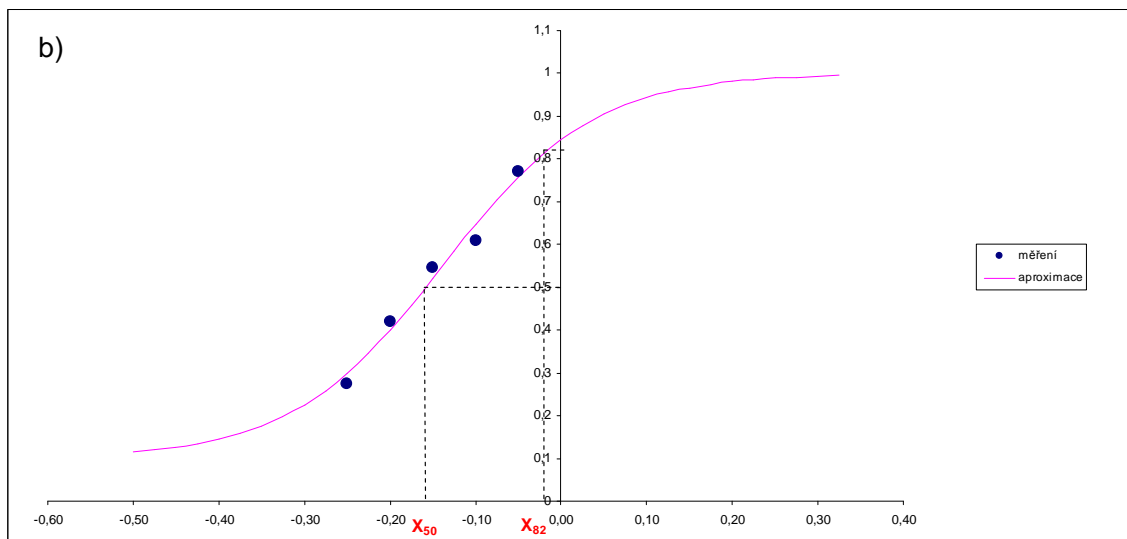
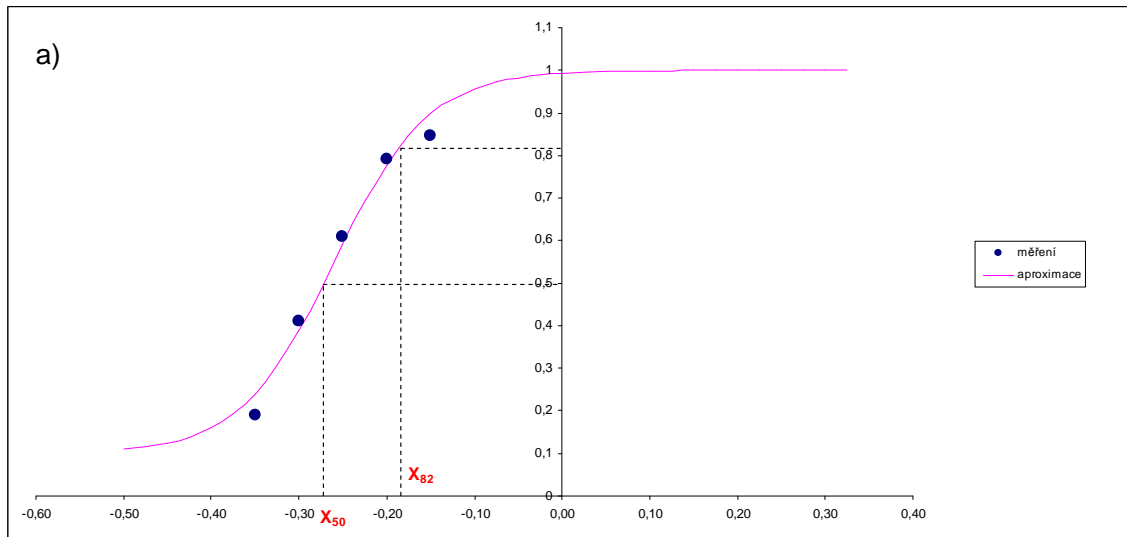
4.1.3 Výsledky

Pro každý subjekt byla vytvořena celková psychometrická funkce. Na obrázcích 17 a 18 jsou tyto funkce znázorněny i se zadanými transformačními parametry x_{82} a x_{50} . Princip normování celkových psychometrických funkcí je popsán v metodice vyhodnocení v kapitole 4.1.2.

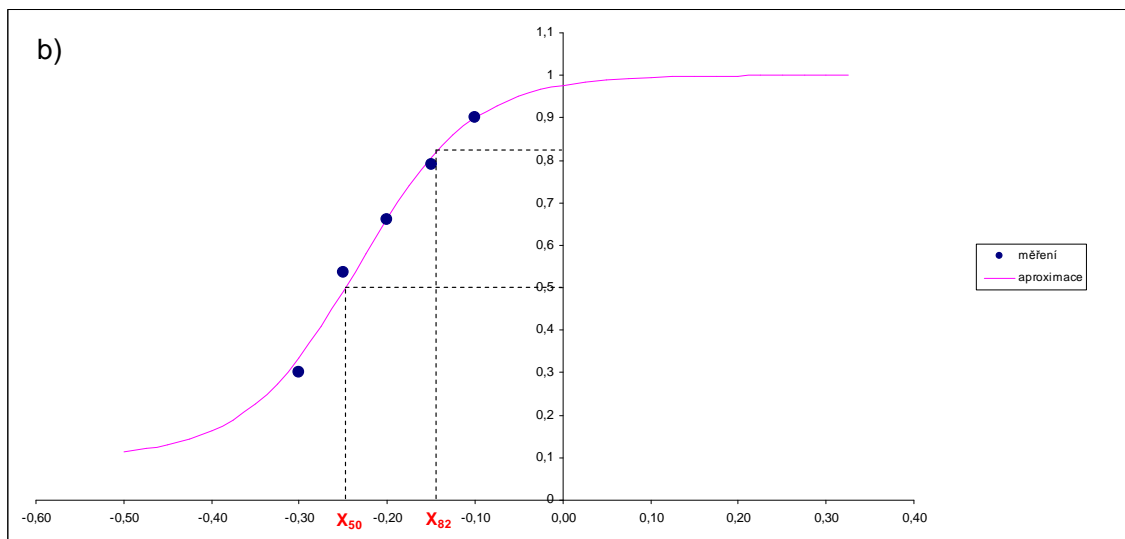
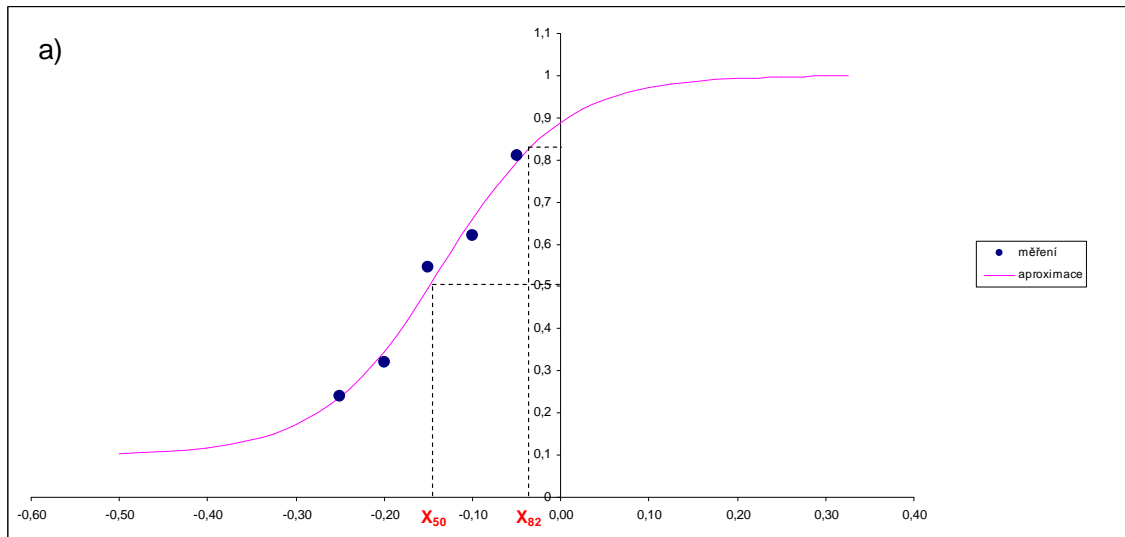
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, pro každé z deseti písmen Sloan letters byla zjištěna jeho čitelnost. Jednotlivé čitelnosti jsou uvedeny v tabulce 6 a dílčí psychometrické funkce pro každé písmeno jsou zobrazeny a vyhodnoceny v následujících odstavcích. Průměrná čitelnost všech deseti znaků je rovna 0,814 se směrodatnou odchylkou $\pm 0,108$. Rozsah čitelností (rozdíl čitelností nejvíce a nejméně čitelného písmene) je 0,378.

Pořadí	Písmeno	Čitelnost (odpovídající hodnotě 1)
1.	V	0,992
2.	Z	0,983
3.	K	0,858
4.	N	0,810
5.	H	0,803
6.	D	0,786
7.	R	0,784
8.	S	0,741
9.	C	0,739
10.	O	0,644

Tabulka 6: Čitelnosti Sloan letters



Obr. 17: Celková psychometrická funkce pro a) subjekt 1, b) subjekt 2, c) subjekt 3

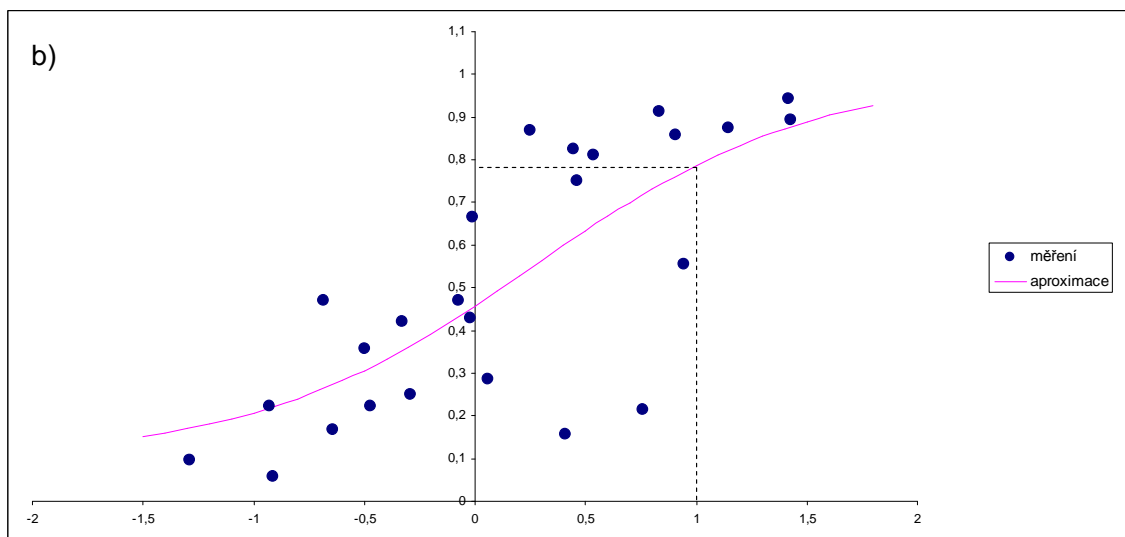
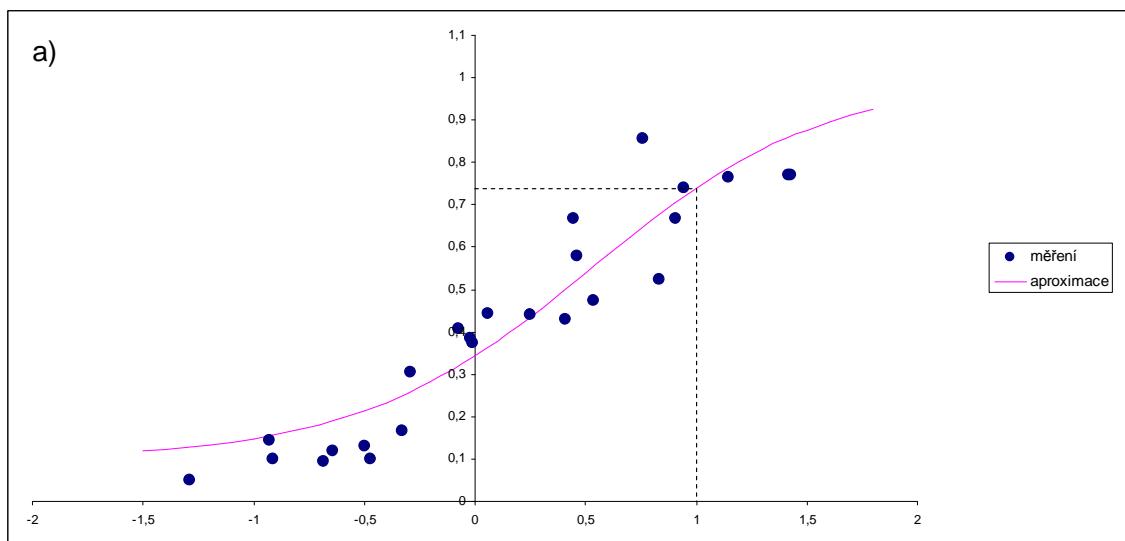


Obr. 18: Celková psychometrická funkce pro a) subjekt 4, b) subjekt 5

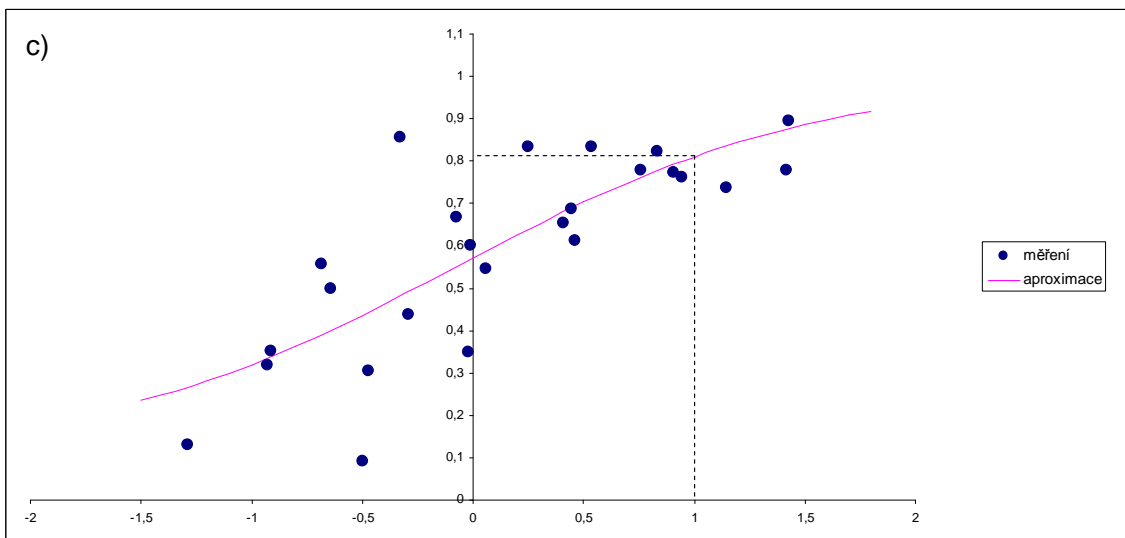
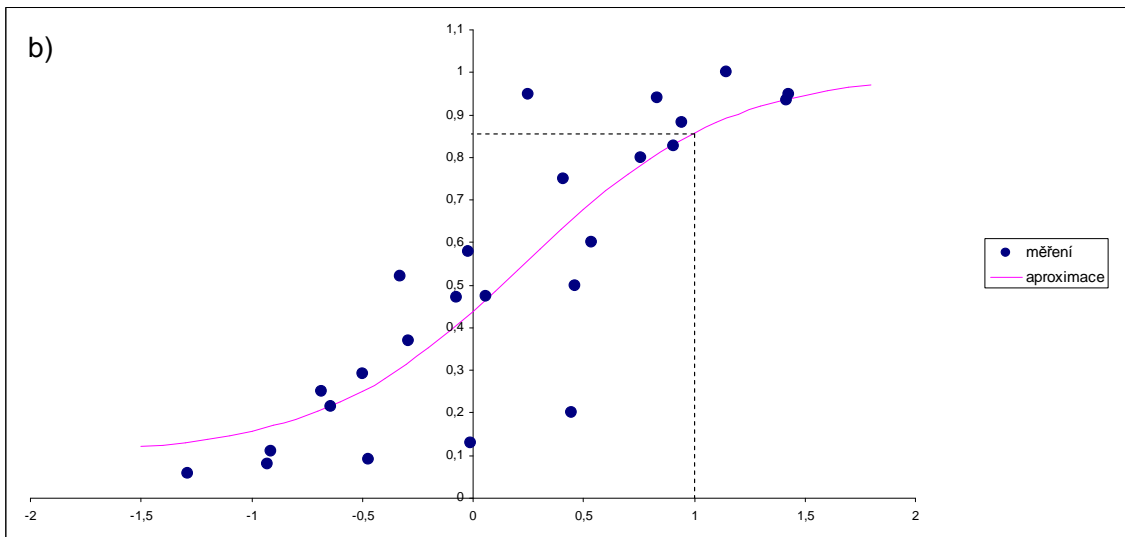
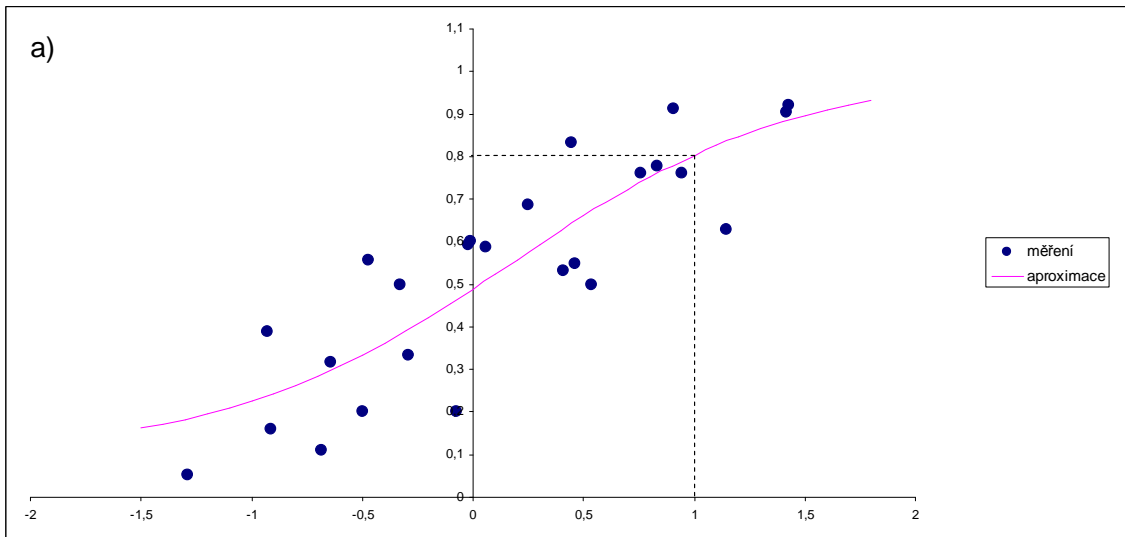
Čitelnost jednotlivých písmen

Čitelnost písmene C (obr. 19a) je oproti ostatním znakům sady Sloan letters nízká, dosahuje hodnoty 0,739, což je druhá nejnižší čitelnost u písmen této sady. Sklon křivky dílčí psychometrické funkce dosahuje hodnoty 0,529. Čitelnost písmene D (obr. 19b) je v porovnání s ostatními písmeny průměrná a má hodnotu 0,786. Sklon křivky je 0,631. Stejně jako čitelnost písmene D, tak i čitelnost písmene H (obr. 20a), která dosahuje hodnoty 0,803, se blíží průměrné čitelnosti Sloan letters. Sklon křivky má hodnotu 0,646. Čitelnost písmene K (obr. 20b) je 0,858, nachází se mírně nad průměrnou hodnotou čitelnosti všech deseti znaků. Sklon odpovídající křivky je 0,459. Čitelnost písmene N (obr. 20c) je ve srovnání s dalšími písmeny zkoumané sady průměrná a má hodnotu 0,810 se sklonem křivky dílčí psychometrické funkce 0,817.

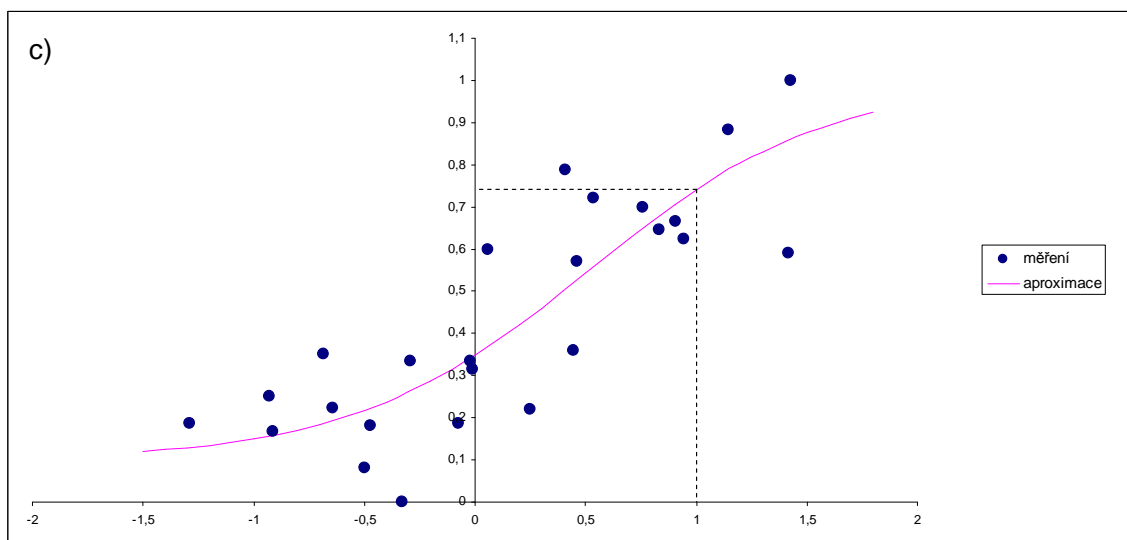
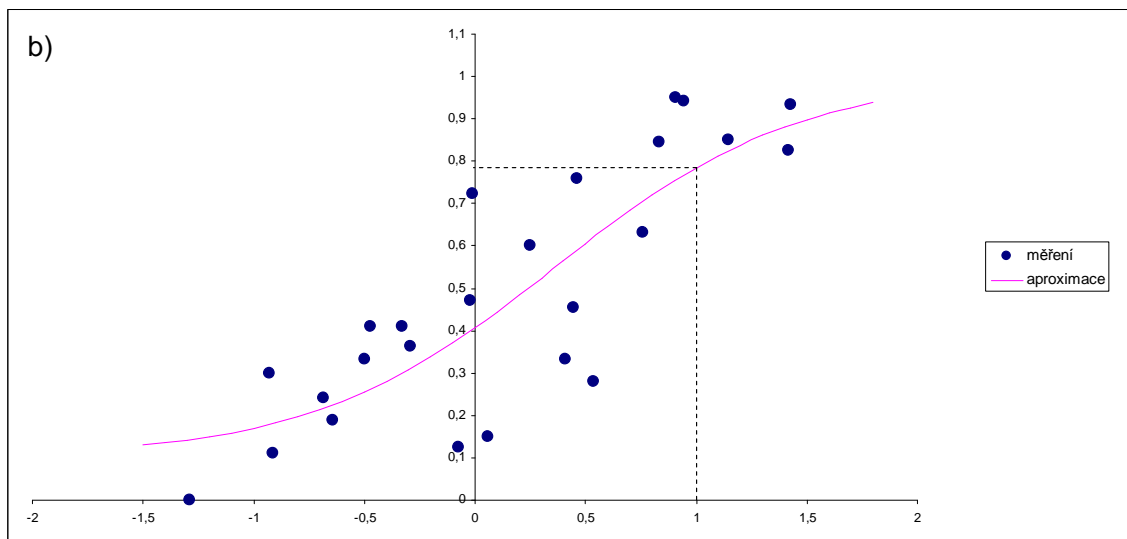
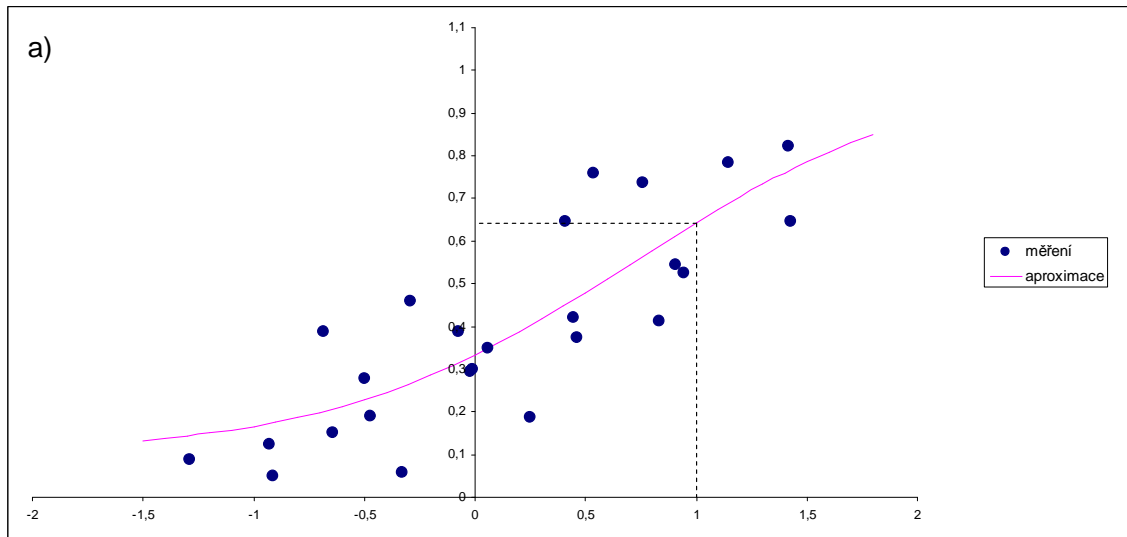
Písmeno O (obr. 21a) je na základě výsledků ze všech deseti písmen sady Sloan letters nejméně čitelné. Čitelnost písmene je 0,644 se sklonem křivky 0,677. Písmeno R (obr. 21b) je čitelné s pravděpodobností 0,784, čitelnost je tedy lehce pod průměrem celkové čitelnosti všech deseti písmen. Sklon křivky dosahuje hodnoty 0,551. U písmene S (obr. 21c) byla naměřena čitelnost 0,741 se sklonem křivky 0,535. Čitelnost písmene V (obr. 22a) dosahuje vůbec nejvyšší hodnoty ze všech písmen sady Sloan letters, a to 0,992. Sklon křivky má hodnotu 0,356. Také písmeno Z má vysokou čitelnost (obr. 22b), ta dosahuje hodnoty 0,983. Sklon křivky má hodnotu 0,379.



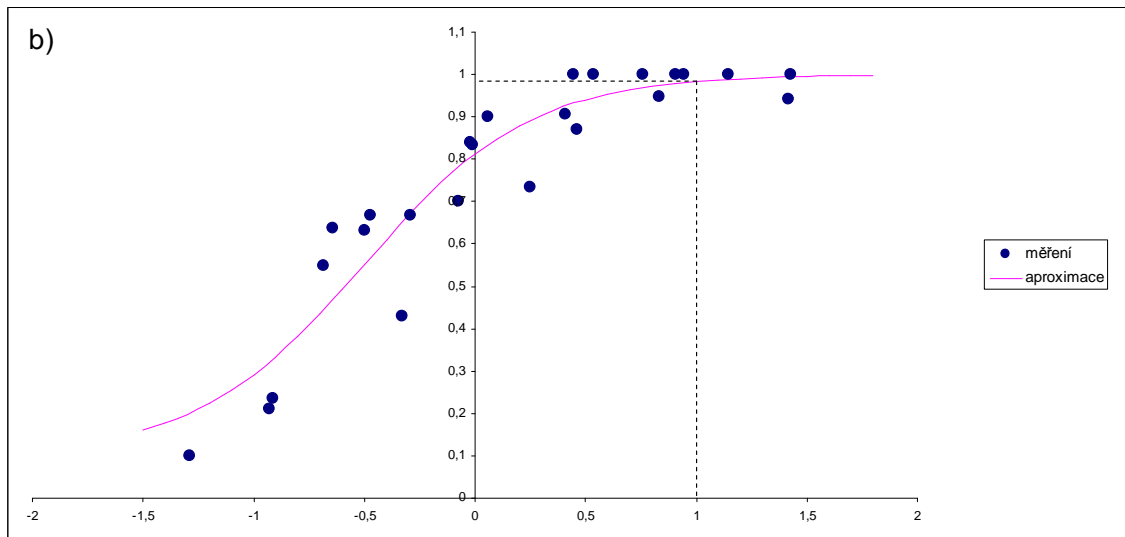
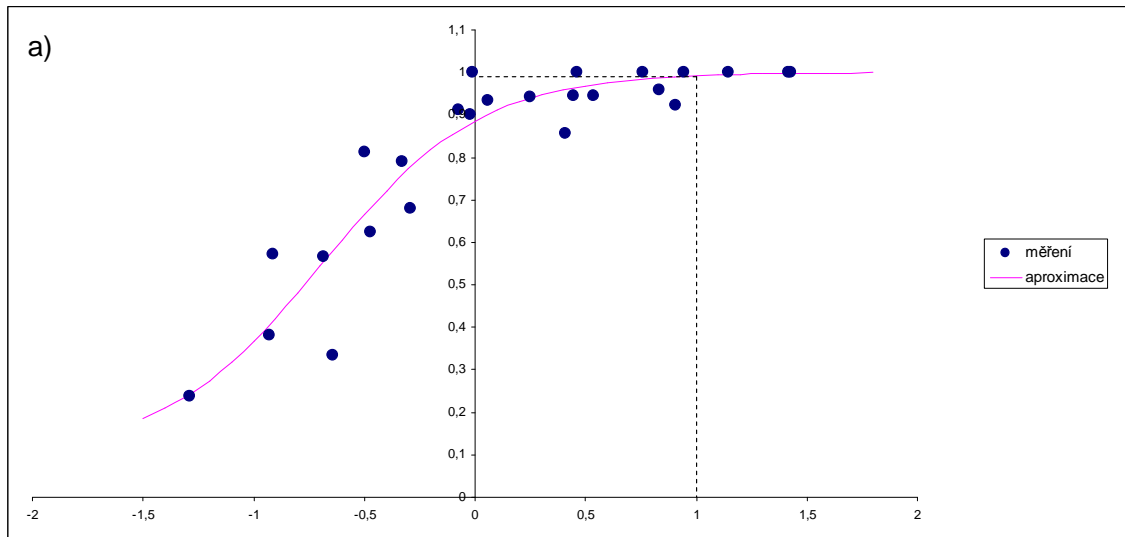
Obr. 19: Dílčí psychometrická funkce pro písmeno a) C, b) D



Obr. 20: Dílčí psychometrická funkce pro písmeno a) H, b) K, c) N



Obr. 21: Dílčí psychometrická funkce pro písmeno a) O, b) R, c) S



Obr. 22: Dílčí psychometrická funkce pro písmeno a) V, b) Z

4.1.4 Diskuze

Zjištěné čitelnosti písmen sady Sloan letters vykazují poměrně velký rozptyl. Nejčitelnějšími písmeny jsou písmena V a Z, která dosahují takřka 100% čitelnosti. Tato vysoká čitelnost je způsobena pravděpodobně specifickým vzhledem obou písmen. Oba znaky mají ostré hrany, což napomáhá ke snazší identifikaci. Ostrými hranami podobné písmeno K dosahuje také nadprůměrné čitelnosti, avšak rozdíl oproti písmenům V a Z je zřejmý. Rozdíl může být způsoben vyšší mírou záměny s podobnými znaky, což jsou písmena N a H. Právě tato dvě písmena vykazují téměř shodnou čitelnost, což je způsobeno skoro identickým tvarem, s rozdílem pouze

ve sklonu vnitřní linie písmene. Obě písmena tak byla mezi sebou často zaměněna. V druhé polovině tabulky 6 vykazují písmena již podprůměrnou čitelnost. Všech pět písmen – D, R, S, C, O si je navzájem velmi podobných, zejména svými zaoblenými a okrouhlými tvary. Např. písmena R a S, která byla často zaměňována, jsou si velmi podobná. Stejně tak písmena D, C a O mají téměř totožnou podobu, zejména díky jejich kruhovitému tvaru. Velmi nízká čitelnost písmene O je způsobena pravděpodobně zaměnitelností hlavně s písmeny D a C. Výsledky tak přinesly dvě extrémní hodnoty – vysokou čitelnost písmen V a Z a naopak velmi nízkou čitelnost písmene O.

Obdobné experimenty byly provedeny Sloanem [26] a Reichem s Bedellem [9]. Výsledky jejich experimentů již byly zmíněny v tabulce 3 (kapitola 1.3.3). I vzhledem k podobné metodice měření a vyhodnocení budou výsledky porovnávány především s výsledky experimentu Reicha a Bedella. Průměrná čitelnost písmen Sloan letters dosáhla v našem experimentu velmi podobné hodnoty jako ve dvou předchozích experimentech. Rozsah čitelností mezi nejvíce a nejméně čitelným písmenem dosáhl identické hodnoty 0,378 jako ve studii Reicha a Bedella. Naopak ve Sloanově výzkumu byl rozsah čitelností podstatně nižší. Při srovnání výsledků čitelnosti jednotlivých písmen se potvrzuje snížená čitelnost písmen s kruhovitými a zaoblenými tvary, zejména u písmen S, O, C a D, naopak písmena s ostrými hranami (Z) byla čitelná podstatně více. Výjimku tvoří v obou předchozích experimentech písmeno V, které vykazovalo na rozdíl od našeho experimentu spíše průměrnou čitelnost.

Zjištěné čitelnosti písmen Sloan letters potvrdily a ověřily výsledky dvou předchozích experimentů. Znepokojivý je však zejména rozsah čitelností písmen, který dosahuje v naší i Reichově a Bedellově studii vysoké hodnoty 0,378. Jak bylo uvedeno v kapitole 1.3.3, každý řádek na optotypu by měl být průměrně stejně čitelný, což v případě náhodně generovaných řádků počítačového optotypu není zaručené. Bylo by vhodné ověřit složení řádků na optotypech a zjistit tak průměrnou čitelnost jednotlivých řádků. K tomu mohou být využity výsledky naší práce.

Výsledky výzkumu jasně ukazují, že písmena s ostrými hranami (V, Z) jsou výrazně čitelnější než písmena s kulatými tvary (D, R, S, C, O), protože kulaté tvary značně omezují jejich identifikaci. Mezi sebou často zaměňovaná písmena (K, N, H) mají průměrnou čitelnost.

4.2 Srovnání konturové interakce a crowding fenoménu

4.2.1 Cíle praktické části

Cílem druhého experimentu bylo porovnat efekty způsobené působením konturové interakce a crowding fenoménu. Jak již bylo napsáno v teoretické části této práce, konturová interakce vzniká pouze na základě působení okolních kontur (inhibice, integrace), zatímco efekt crowding fenoménu je ovlivněn právě konturovou interakcí a navíc také fixačními pohyby očí (inhibice) a rozdělením pozornosti mezi ostatní znaky (prostá záměna). Na základě porovnání těchto dvou efektů bylo cílem ověřit vliv okolí prezentovaných písmen na jejich čitelnost, porovnat intenzitu konturové interakce a crowding fenoménu a zjistit, zda se konturová interakce podílí na crowding fenoménu. Předpokládá se, že crowding fenomén, jehož je konturová interakce součástí, bude mít větší negativní vliv na čitelnost znaků než samotná konturová interakce. Na vliv konturové interakce a crowding fenoménu na vidění byla provedena řada výzkumů [8, 14, 17, 18], ty byly ovšem zaměřeny jen na jeden či druhý efekt. Danilova a Bondarko provedly experiment [27], který se oběma efektům věnoval a zjišťoval vliv jednotlivých faktorů na jejich vznik. Na základě jejich výsledků dochází ke vzniku konturové interakce a crowding fenoménu kombinací různých faktorů, nikoliv působením jen jedním z nich.

4.2.2 Statistický soubor a metodika

Figuranti

Měření pro druhou část výzkumu se účastnili totožní figuranti jako v prvním experimentu, kterému se věnuje kapitola 4.1. Oba experimenty spolu totiž úzce souvisí a je tedy vhodné oba provádět v návaznosti za sebou. Figuranti navíc během prvního experimentu získali zkušenosti s metodikou měření a seznámili se i s prezentovanou sadou písmen Sloan letters, což výrazně urychlilo a usnadnilo průběh měření.

Metodika měření

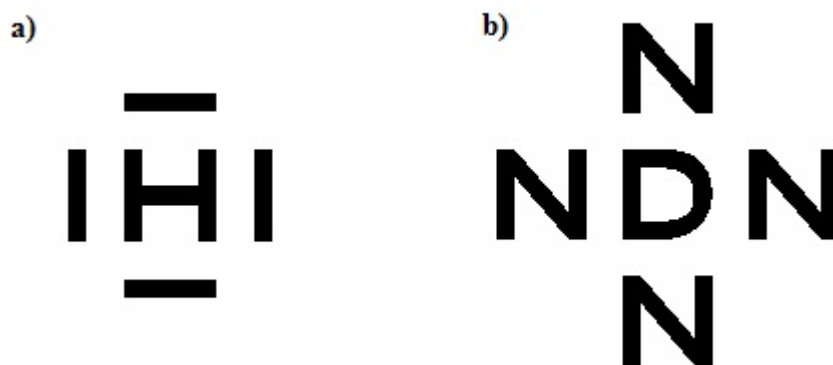
Měření probíhalo na u každého figuranta individuálně stanovené výchozí hladině logMÚR, která odpovídala celkové úspěšnosti v rozlišení znaků mezi 75 % až 85 %. Tato hladina byla převzata z předchozího experimentu a v průběhu tohoto měření pouze kontrolně ověřována. Po ověření hladiny se přistoupilo k měření vlivu konturové

interakce a crowding fenoménu na čitelnost písmen. Následující měření u obou efektů probíhala již jen při této hodnotě logMÚR. Figurantům byla opět prezentována sada deseti písmen Sloan letters, které měli figuranti za úkol správně rozlišit. Rozlišitelnost prezentovaných písmen však byla snížena jejich okolím, a to buď konturami nebo jinými písmeny. Stejně jako v předchozím experimentu, měření probíhalo monokulárně s centrální fixací. Vyšetřovací vzdálenost byla taktéž nastavena na 12 metrů (pomocí zrcadla) za využití stejného monitoru jako v prvním experimentu (kapitola 4.1.2). Pro účely experimentu byly vytvořeny dva programy, pomocí kterých byly figurantům prezentovány znaky s konturami, respektive s jinými písmeny. Znaky byly vybírány zcela náhodně, přičemž stejný znak nebyl prezentován dvakrát po sobě.

Měření vlivu konturové interakce na rozlišitelnost písmen probíhalo při různých hodnotách separací, tedy při různé vzdálenosti kontur od fixovaného písmene. Centrálně fixované písmeno bylo obklopeno konturami ze všech čtyř stran – zprava, zleva, shora a zespodu (obr. 23a). Šířka kontury odpovídala šířce detailu znaku (1/5 šířka celého znaku), délka kontury odpovídala šířce celého znaku. Hodnoty separace byly v našem případě brány jako vzdálenost edge to edge, tedy od hrany kontury ke hraně znaku a tyto hodnoty byly vztaženy k šířce prezentovaného písmene. Měření probíhalo při šesti různých separacích, a to v 10 % šířky znaku (0,5x šířka detailu), ve 20 % (1x šířka detailu), ve 40 % (2x šířka detailu), v 60 % (3x šířka detailu), v 80 % (4x šířka detailu) a ve 100 % šířky znaku (5x šířka detailu). Pořadí zmíněných separací bylo voleno náhodně na základě generace náhodných čísel v programu MS Excel. Pro každou hodnotu separace bylo provedeno jedno měření, ve kterém měli figuranti identifikovat 100 prezentovaných písmen. Během každého měření následovala po prezentaci zhruba 50ti znaků velmi krátká přestávka (cca 10 sekund). Průběžně byla ověřována hladina, zda nedošlo ke změně vlivem únavy nebo efektem učení se. Nemohl-li figurant znak vůbec identifikovat, byl znak hádán. Po zjištění počtu správných odpovědí (v %) pro všechny hodnoty separace a po kontrole hladiny následovalo obdobné měření při působení crowding fenoménu.

Měření vlivu crowding fenoménu na rozlišitelnost znaků probíhalo za totožných podmínek jako při měření konturové interakce. Jediný rozdíl spočíval v okolí prezentovaných písmen. Namísto konturami byl fixovaný znak ze všech čtyř stran obklopen písmeny (obr. 23b). Docházelo tak k již zmíněnému crowding fenoménu. Zatímco na místě centrálního znaku (target) se náhodně objevovalo všech deset písmen sady Sloan letters, v jeho okolí se na místě distraktoru střídala pouze 4 písmena této

sady, a to D, K, N a O, přičemž všechny 4 distraktory byly při prezentaci jednoho znaku shodné a zároveň se neshodovaly s centrálním písmenem, např. pokud bylo na místě fixovaného znaku písmeno D, toto písmeno se v tento okamžik neobjevilo jako distraktor (viz obr. 23b). Bylo zajištěno, aby nebyl jeden distraktor prezentován dvakrát po sobě. Měření probíhalo s totožnou hodnotou logMÚR, jejíž hladina se opět průběžně kontrolovala. Hodnoty separace písmene od okolních písmen byly opět 10 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % a 100 % šířky znaku a pořadí separací bylo voleno náhodně. Při každé hodnotě separace bylo provedeno jedno měření se 100 prezentovanými písmeny, které měli figuranti za úkol správně identifikovat. Při malých separacích, při kterých byla rozlišitelnost písmen výrazně snížena, museli figuranti písmena hádat.



Obr. 23: a) Písmeno obklopené konturami,
b) písmeno obklopené jinými písmeny (distraktory)

Metodika vyhodnocení

Z naměřených dat byly pomocí programu vygenerovány adresáře s maticemi a na jejich základě byly v programu MS Excel vytvořeny grafy, které porovnávaly právě konturovou interakci a crowding fenomén. Výsledkům se věnuje kapitola 4.2.3.

Programem vygenerované chybové matice podávaly informace o prezentovaném písmenu a o odpovědi figuranta. Prezentované náhodné znaky tvořily řádky, odpovědi figurantů tvořily sloupce. Na diagonále matice tak byly zaznamenány počty správných odpovědí pro každé písmeno, nad diagonálou a pod ní byly zapsány počty zaměněných znaků za jiné pro každé písmeno.

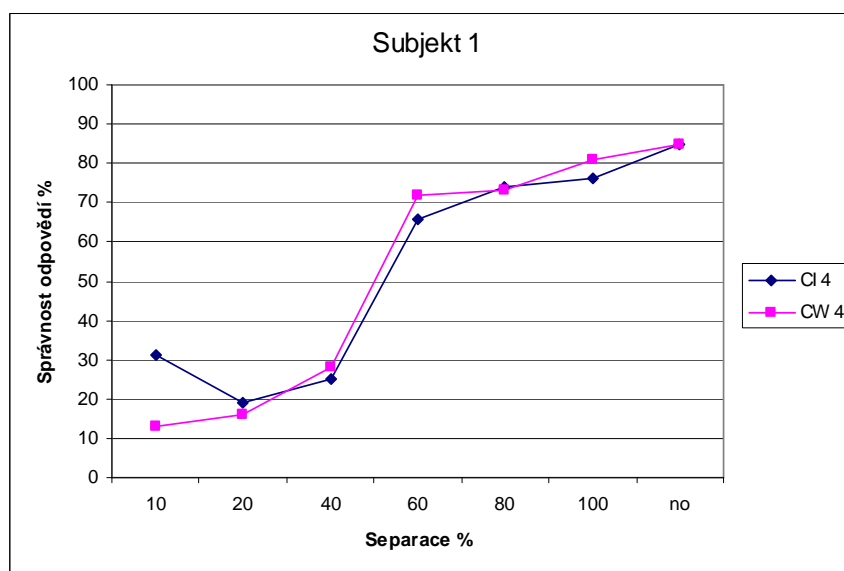
Výsledné hodnoty získané pro konturovou interakci a crowding fenomén byly srovnány pomocí analýzy rozptylu metodou ANOVA s opakovaným měřením na hladině významnosti $p = 0,05$.

4.2.3 Výsledky

Pro každý subjekt byl vytvořen graf, do kterého byla nanesena data jak pro konturovou interakci, tak pro crowding fenomén, aby byl případný rozdíl mezi oběma efekty názorný. Na obrázcích 24 až 28 jsou tyto grafy vyobrazeny pro každý subjekt zvlášť. Následně byla data od všech subjektů shromážděna a na základě těchto dat byl sestaven jeden graf s celkovými výsledky (obr. 29).

Subjekt 1

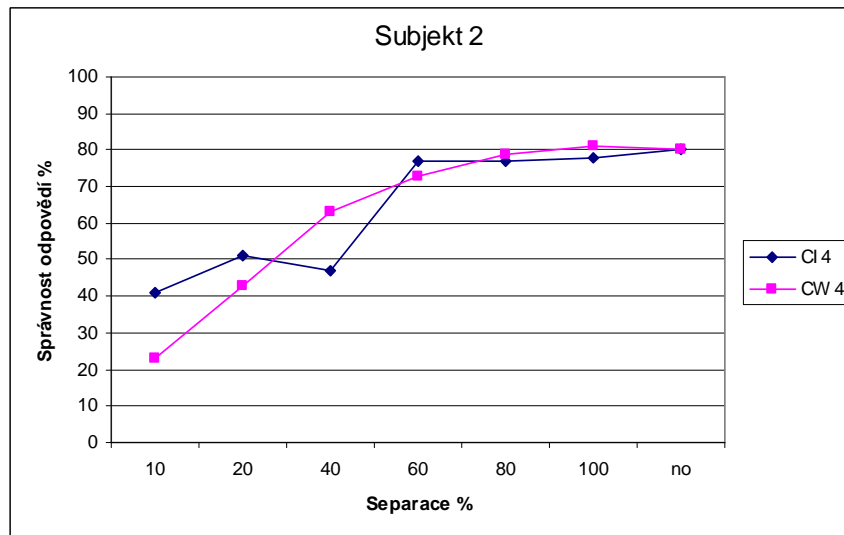
U subjektu 1 probíhaly konturová interakce i crowding fenomén s téměř stejnou intenzitou, značný rozdíl nastal až při separaci 10 %, při které vidění více ovlivňoval crowding fenomén. (obr. 24). Výrazný vliv obou efektů na vidění nastal při separaci 40 % a menší.



Obr. 24: Průběh křivek konturové interakce a crowding fenoménu pro subjekt 1

Subjekt 2

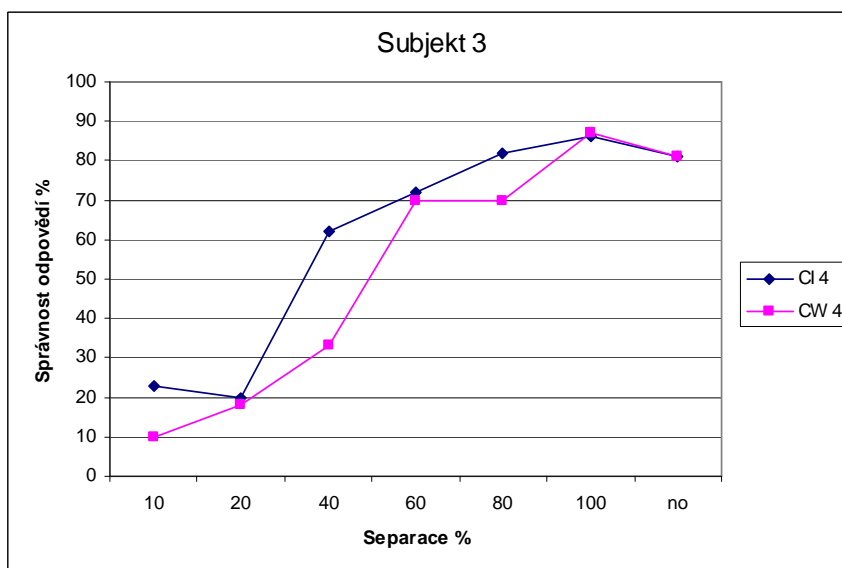
Stejně jako u předchozího subjektu, tak i u subjektu 2 nastal značný vliv obou efektů na vidění při separaci 40 % a menší (obr. 25). Při téže separaci došlo mezi oběma efekty k rozdílu, při kterém nastala větší intenzita konturové interakce. Tento výsledek však mohl být způsoben chybou při měření vlivem únavy zraku. Naopak při separaci 10 % se projevila větší intenzita crowding fenoménu.



Obr. 25: Průběh křivek konturové interakce a crowding fenoménu pro subjekt 2

Subjekt 3

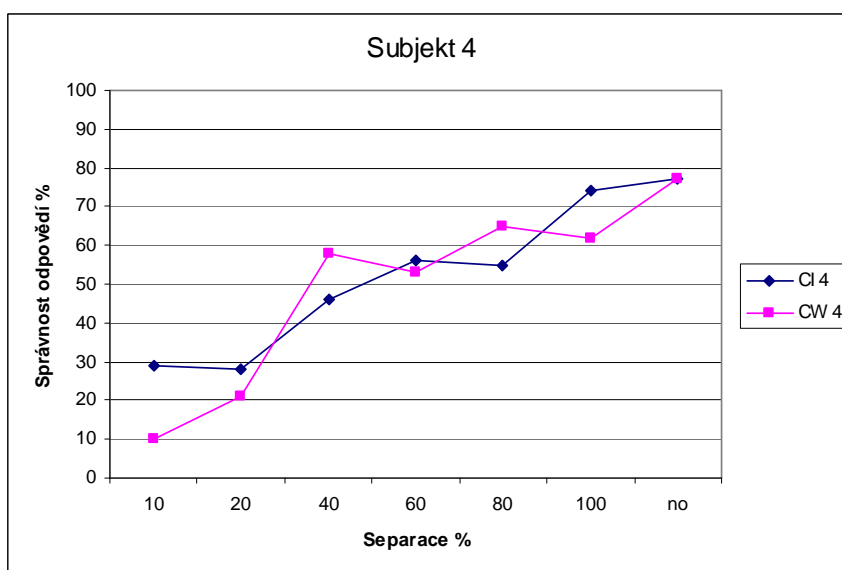
U subjektu 3 lze pozorovat menší rozdíl v intenzitě již při separaci 80 %, výraznější rozdíl však nastal při 40% separaci (obr. 26). Vliv konturové interakce na vidění se tak tentokrát projevila výrazněji až při separaci 20 %, vliv crowding fenoménu již při 40 %.



Obr. 26: Průběh křivek konturové interakce a crowding fenoménu pro subjekt 3

Subjekt 4

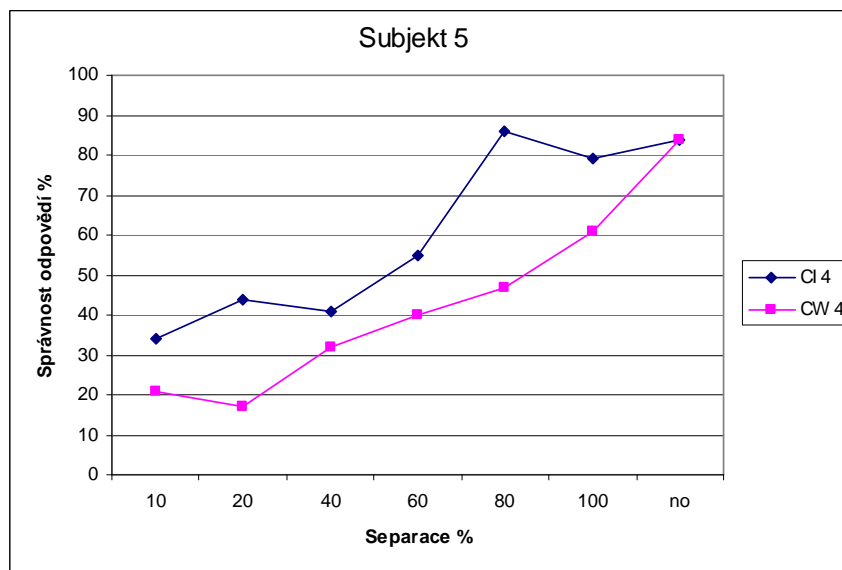
Z obrázku 27 je zřejmé „proplétání“ dat pro konturovou interakci a crowding fenomén. Větší rozdíl mezi oběma efekty nastal při 40% separaci, při které konturová interakce snižovala schopnost správně identifikovat písmeno více než crowding fenomén. Při separaci 20 % tuto schopnost výrazně redukovaly již oba efekty. Největší rozdíl je patrný při separaci 10 %, při které se projevila větší intenzita crowding fenoménu.



Obr. 27: Průběh křivek konturové interakce a crowding fenoménu pro subjekt 4

Subjekt 5

U subjektu 5 došlo k rozdílu v intenzitě mezi konturovou interakcí a crowding fenoménem již při maximální separaci 100 %, přičemž mnohem výraznější vliv crowdingu nastal při všech užitých separacích, největší při 80% separaci. Jak je vidět na obrázku 28, křivka odpovídající datům pro crowding fenomén se v grafu nachází celá pod křivkou konturové interakce. U subjektu 5 tak crowding začal výrazně působit již při separaci 100 %, konturová interakce až při 60% separaci.



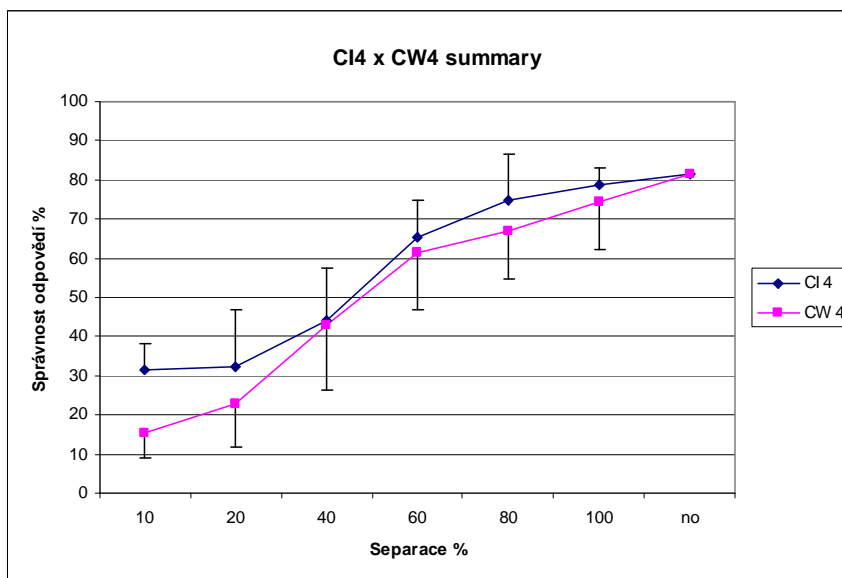
Obr. 28: Průběh křivek konturové interakce a crowding fenoménu pro subjekt 5

Celkové výsledky

Výsledný graf (obr. 29) naznačuje velmi podobný průběh křivek pro konturovou interakci a pro crowding fenomén, a tedy i podobný vliv těchto efektů na vidění. Malý rozdíl je patrný při separaci 80 %, kdy crowding fenomén působí na vidění více negativně než konturová interakce. Větší rozdíl vlivu nastal až při menších separacích, a to při 20 % a 10 %, při kterých se projevila větší intenzita crowding fenoménu. Rozsah obou efektů se neliší, strmý pokles křivek nastává v obou případech u separace 60 %.

Na základě analýzy rozptylu metodou dvoufaktorová ANOVA s opakovaným měřením na hladině významnosti $p = 0,05$ se prokázal významný vliv separace ($p < 10^{-10}$). V případě obou křivek ale nebyl prokázán významný vliv typu distraktoru (kontury nebo písmena), ani interakce tohoto faktoru se separací. Vzhledem k tomu, že při separaci 10 % je na grafu patrný výrazný rozdíl mezi konturovou

interakcí a crowding fenoménem, byla konkrétně tato separace samostatně hodnocena jednofaktorovou ANOVOU s opakováním. V tomto případě je rozdíl mezi oběma hodnotami významný ($p = 000252$). Podrobná analýza obou jevů při této separaci je provedena pomocí tzv. chybových matic v následujícím odstavci.



Obr. 29: Celkové výsledky pro konturovou interakci a crowding fenomén. Svislé úsečky reprezentují směrodatné odchylky naměřených hodnot.

Záměnnost znaků

Jak již bylo napsáno v kapitole 4.2.2, průběh měření byl pomocí programu zaznamenáván do matic, které byly poté převedeny na relativní hodnoty (tzv. chybové matice), pomocí kterých se snadno určovala záměnnost jednotlivých písmen nebo skupiny písmen použité sady znaků.

Následující matice (tabulky 7bc) byly získány při separaci 10 %, u které byl rozdíl mezi konturovou interakcí a crowding fenoménem nejvýraznější. Pro srovnání je zobrazena i matice získaná při měření bez distraktorů (tabulka 7a). Na diagonálách matic jsou zaznamenány relativní hodnoty správných odpovědí, nad a pod diagonálami jsou zapsány relativní hodnoty záměn. Jednotlivá políčka jsou zbarvena dle hodnoty (viz legenda). Díky barevnému odlišení tak lze ze všech matic vyčíst informace o záměnnosti konkrétních písmen za jiné. Lze pak srovnávat konkrétní záměny při konturové interakci s totožnými záměnami při crowding fenoménu.

Při konturové interakci byla nejčastěji zaměňována písmena H za prezentované písmeno N; N za H; C za D; O za C; N za O; D za Z (vždy první písmeno z uvedené

dvojice označuje znak, který byl chybně vyřknut při prezentaci druhého znaku z téže dvojice). Při crowding fenoménu docházelo k nejčastějším záměnám písmen C a N za prezentované písmeno K; D a R za prezentované N; D za O; N za S; R za N; V za prezentované písmeno Z. Nejčastější záměny pro jednotlivá písmena jsou pro konturovou interakci i crowding fenomén přehledně zapsány v tabulce 8. Jelikož nižší relativní hodnoty záměn (od 0,001 do 0,199) mohou být výrazně ovlivněny faktorem náhody, detailnějšímu rozboru tak budou podrobeny záměny s vyšší relativní hodnotou, které jsou způsobeny již systematickými chybami. Právě tyto záměny jsou v tabulce 8 vyznačeny žlutě. Zdůvodněním těchto záměn se věnuje diskuse v kapitole 4.2.4.

Dále byl u konturové interakce a crowding fenoménu sledován poměr záměn za znaky, které vystupují jako distraktory (D, K, N, O), a záměn za ostatní znaky (C, H, R, S, V, Z), a to z důvodu možnosti vyšší záměnnosti písmen právě za distraktory u crowding fenoménu. Součet hodnot relativního počtu záměn za písmena D, K, N a O při konturové interakci je 3,56382. Tuto hodnotu vydělíme čtyřmi a získáme tak průměrnou hodnotu pro jeden distraktor – parametr $a_{CI} = 0,890955$. Totéž je provedeno pro šest ostatních písmen. Součet relativních hodnot je 3,377225 a průměrná hodnota pro jedno písmeno této skupiny je $b_{CI} = 0,562871$. Následný poměr a_{CI}/b_{CI} udává míru podílu jedné ze skupin na celkové záměnnosti písmen při konturové interakci, a je roven hodnotě 1,582876. Obdobně jsou spočítány parametry týkající se záměn při crowding fenoménu. Součet hodnot relativního počtu záměn za distraktory je 3,980769, průměrná hodnota pro jeden distraktor $a_{CW} = 0,995192$. Součet hodnot relativního počtu záměn za ostatní znaky je 4,53081, průměrná hodnota pro jedno písmeno $b_{CW} = 0,755135$. Hodnoty a_{CW} a b_{CW} jsou opět dány do poměru, který je roven hodnotě 1,3179. Oba poměry (pro CI a CW) pak vyjadřují, jak velké zastoupení v záměnnosti mají distraktory vzhledem k ostatním znakům. U konturové interakce je tento poměr vyšší. Relativní hodnoty počtu záměn pro jednotlivá písmena jsou uvedeny v tabulce 9, poměry a průměrné hodnoty záměn jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 10.

a)

	C	D	H	K	N	O	R	S	V	Z
C	0,62963	0,074074	0	0,074074	0	0,185185	0	0,018519	0	0,018519
D	0	0,933333	0	0	0	0,022222	0,022222	0	0	0,022222
H	0	0	0,847458	0	0,135593	0	0	0	0,016949	0
K	0	0	0	0,918367	0,020408	0	0,020408	0	0,020408	0,020408
N	0	0	0,125	0,020833	0,854167	0	0	0	0	0
O	0	0,173077	0	0	0,019231	0,769231	0	0,038462	0	0
R	0	0	0,06383	0,021277	0,276596	0	0,638298	0	0	0
S	0,020408	0,122449	0	0,020408	0	0,040816	0,081633	0,612245	0	0,102041
V	0	0	0	0	0,018868	0	0	0	0,981132	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	0,022727	0	0,977273

b)

	C	D	H	K	N	O	R	S	V	Z
C	0,357143	0,071429	0,047619	0,142857	0,02381	0,214286	0,047619	0,047619	0	0,047619
D	0,27027	0,081081	0,027027	0,135135	0,135135	0,108108	0,108108	0,027027	0	0,108108
H	0	0,081633	0,346939	0	0,306122	0,081633	0,081633	0,040816	0,061224	0
K	0,032787	0,081967	0,016393	0,491803	0,065574	0,016393	0,131148	0,065574	0,016393	0,081967
N	0	0,018182	0,272727	0,072727	0,272727	0,145455	0,072727	0,036364	0,109091	0
O	0,122449	0,081633	0,061224	0,081633	0,204082	0,142857	0,081633	0,081633	0,040816	0,102041
R	0	0,056604	0,169811	0,132075	0,132075	0,037736	0,264151	0,169811	0	0,037736
S	0,017241	0,155172	0,034483	0,034483	0,034483	0,155172	0,068966	0,413793	0,017241	0,068966
V	0,056604	0,075472	0,037736	0,037736	0,169811	0,056604	0,188679	0,018868	0,339623	0,018868
Z	0,023256	0,209302	0	0,093023	0,046512	0,069767	0,116279	0,069767	0,023256	0,348837

c)

	C	D	H	K	N	O	R	S	V	Z
C	0,090909	0,054545	0,163636	0,145455	0,145455	0,109091	0,018182	0,072727	0,127273	0,072727
D	0,108696	0,173913	0,173913	0,065217	0,130435	0,086957	0,065217	0,043478	0,086957	0,065217
H	0,040816	0,122449	0,326531	0,122449	0,081633	0,040816	0,081633	0,020408	0,122449	0,040816
K	0,222222	0,044444	0,088889	0,155556	0,222222	0,111111	0,088889	0,022222	0,022222	0,022222
N	0,022222	0,244444	0,088889	0,133333	0,022222	0,066667	0,2	0,066667	0,111111	0,044444
O	0,016667	0,216667	0,15	0,116667	0,066667	0,1	0,083333	0,116667	0,083333	0,05
R	0,042553	0,106383	0,106383	0,042553	0,12766	0,12766	0,085106	0,106383	0,106383	0,148936
S	0,042553	0,085106	0,06383	0,106383	0,212766	0,085106	0,12766	0,170213	0,042553	0,06383
V	0,031746	0,047619	0,095238	0,095238	0,142857	0,079365	0,079365	0,047619	0,31746	0,063492
Z	0,023256	0,093023	0,093023	0,069767	0,139535	0,093023	0,093023	0,116279	0,232558	0,046512

Tabulka 7: Celková chybová matice při měření a) bez distraktorů, b) u konturové interakce při separaci 10 %, c) u crowding fenoménu při separaci 10 %

0,001 - 0,049
0,05 - 0,099
0,10 - 0,199
0,20 - 0,299
0,30 - 0,399

Legenda

Prezentovaný znak	Nejčastější záměna při CI	Nejčastější záměna při CW
D	C	H
O	N	D
R	H, S	Z
N	H	D, R
V	R	N
H	N	D, K, V
Z	D	V
C	O	H
S	D, O	N
K	R	C, N

Tabulka 8: Nejčastější záměny prezentovaných znaků při konturové interakci a crowding fenoménu

Písmeno	R_{CI}	R_{CW}
C	0,522607	0,550731
D	0,831393	1,014682
H	0,667021	1,023801
K	0,72967	0,897063
N	1,117604	1,269228
O	0,885154	0,799796
R	0,896791	0,837302
S	0,557479	0,61245
V	0,268022	0,934839
Z	0,465304	0,571686

Tabulka 9: Relativní počty záměn prezentovaných znaků za dané písmeno při konturové interakci (R_{CI}) a crowding fenoménu (R_{CW})

a_{CI}	0,890955
b_{CI}	0,562871
a_{CW}	0,995192
b_{CW}	0,755135
a_{CI}/ b_{CI}	1,582876
a_{CW}/ b_{CW}	1,3179

Tabulka 10: Průměrné hodnoty záměn za písmena dané skupiny

4.2.4 Diskuze

Získané výsledky jasně ukazují velmi zásadní vliv separace fixovaného znaku a distraktoru na jeho čitelnost, což potvrdila i analýza rozptylu (dvoufaktorová ANOVA). Pokud subjekt fixuje zcela izolovaný znak, pak čitelnost tohoto znaku není snižována. Při existenci doprovodných kontur nebo jiných znaků se tak čitelnost výrazně snižuje. Všechny tyto vlivy jsou zřejmé z grafu na obrázku 29. Při separacích 100 %, 80 %, 60 % a 40 % mají křivky konturové interakce a crowding fenoménu téměř stejný průběh, což znamená prakticky stejný vliv obou těchto faktorů na rozpoznání prezentovaných znaků. Očekávaný výraznější vliv crowding fenoménu než konturové interakce se projevil až při separaci 20 % a zejména při separaci 10 %. Celkové výsledky však bohužel větší intenzitu crowding fenoménu neprokázaly. Jak již bylo zmíněno a vysvětleno v předchozí kapitole, nejprůkaznější výsledky se projeví právě při separaci 10 %.

Při vyhodnocení výsledků se předpokládala větší záměnnost za distraktory při crowding fenoménu než za téže písmena při konturové interakci, jak předpokládají některé modely crowding fenoménu. Vyšší záměnnost za distraktory při crowding fenoménu sice nastala, ale stejně tak se zvýšila i záměnnost za ostatní znaky. Poměr mezi záměnností skupiny distraktorů a ostatních znaků je dokonce větší při konturové interakci, což znamená překvapivě větší podíl těchto čtyř písmen na záměnnosti písmen vlivem tohoto faktoru než vlivem crowding fenoménu. V případě konkrétních písmen nastal mírný nárůst počtu záměn prezentovaných znaků za písmena C, D, K, N, S a Z. Naopak mírný pokles byl u písmen O a R. Překvapivě velmi výrazný nárůst hodnoty nastal u písmen H a V (viz tabulka 9). Nelze tak jasně prokázat, že častěji dochází k záměnám prezentovaných písmen za D, K, N a O u crowding fenoménu než u konturové interakce, protože záměna distraktorů za prezentovaná písmena je překryta jinými jevy. U crowding fenoménu se tak projevuje zejména míšení znaků vlivem inhibice a integrace (viz další odstavec) než prostá záměna centrálního a periferního znaku.

Jak již bylo pospáno v kapitole 2, záměna písmen při konturové interakci může být způsobena inhibicí, integrací a náhodnou chybou; při crowding fenoménu navíc i prostou záměnou. Při konturové interakci docházelo k inhibici při záměně písmene C za prezentované písmeno D, kdy útlumem pravé části znaku D, která je nejbližší konturám, mohlo dojít k chybnému vjemu písmene C. Dále mohlo docházet k inhibici

centrální části znaku a následné záměně za znak s podobnými okraji (N za H a H za N). K integraci kontur s promítaným znakem mohlo dojít při záměně písmene O za prezentované písmeno C. Kombinací obou jevů pak mohlo dojít k záměnám N za O a D za Z. Při crowding fenoménu docházelo ke zcela jiným záměnám. Ty záměny, které často nastaly při konturové interakci, se při crowding fenoménu vyskytovaly v mnohem menší míře. U crowding fenoménu lze procesem inhibice zdůvodnit záměny písmene C za prezentovaný znak K; D za N; N za K; N za S; R za N a V za Z. Integrace pak nastala u záměn písmene D za O a společně s inhibicí u záměny N za prezentované K a také v případě N za S.

Při pohledu na chybové matice v tabulkách 7a, 7b a 7c je zřejmý vliv přítomnosti distraktorů na záměnnost písmen. Zatímco při prezentaci izolovaných písmen (tabulka 7a) nedocházelo k téměř žádným systematickým záměnám, ale spíše k záměnám vlivem náhody (přibližně hodnoty od 0,001 do 0,199), při měření s okolními distraktory (tabulky 7b a 7c) relativní hodnoty záměn výrazně narostly. Tyto záměny lze jednoznačně připsat konturové interakci a crowding fenoménu. Tímto se prokázal vliv okolí znaků na jejich čitelnost.

Další odlišnosti lze nalézt při porovnání chybových matic konturové interakce a crowding fenoménu. Většina záměn, ke kterým docházelo při konturové interakci, se vyskytovala i při crowding fenoménu. Při crowding fenoménu k těmto záměnám dochází častěji než u konturové interakce, zároveň je z chybové matice crowding fenoménu zřejmý velký nárůst náhodných jevů. Záměny, které při konturové interakci vůbec neprobíhaly (bílá políčka nad a pod diagonálou), se u crowding fenoménu naopak vyskytovaly. Tyto záměny tak lze jednoznačně připsat vlivu crowding fenoménu. Sice u některých záměn je vyšší relativní hodnota při konturové interakci, ale tyto jevy lze připsat náhodě. Původní předpoklad o podílu konturové interakce na crowding fenoménu tak nebyl vyvrácen, nicméně pro jeho přímé potvrzení by bylo třeba provést podrobnější analýzu obou jevů, např. při hodnotě separace 10 % nebo 20 %.

Vlivu okolí fixovaného znaku se v minulosti věnovalo mnoho studií. Flom [8] svoji hypotézu ověřoval na amblyopických očích, u kterých se vliv okolí projevuje s větší intenzitou. Podobným experimentům se věnovali také Heath, Takahashi a Flom [17] a Liu s Arditi [18]. Ve všech těchto studiích se potvrdila hypotéza o vlivu okolí znaku na jeho čitelnost. Bylo také potvrzeno, že pokud se separace mezi fixovaným znakem a jeho okolím snižuje, snižuje se také čitelnost tohoto znaku. Tyto procesy potvrdil i náš experiment. Danilova a Bondarko [27] prováděli měření při konturové interakci

i crowding fenoménu a zjišťovali vliv jednotlivých efektů. Jejich studie se mimo jiné věnovala i srovnání intenzity konturové interakce a crowding fenoménu. Dle jejich výsledků mají oba efekty přibližně stejný rozsah i intenzitu, která se začíná výrazněji lišit až při nejmenších separacích. Náš experiment tak potvrdil i tyto výsledky. Výše zmíněné experimenty však využívaly jinou metodiku a sadu prezentovaných znaků, s našimi výsledky je tak nelze detailněji srovnávat.

Získané výsledky vysvětlují dnes častý problém, při kterém jsou mnohdy důležitá sdělení obtížně čitelná a rozeznatelná. Jestliže je v bezprostřední blízkosti textu nevhodné okolí, stává se tento text obtížněji rozeznatelným. Na základě našich výsledků je tak možné určit, jaká hodnota separace je vhodná a která již snižuje rozlišení textu. To je velmi důležité např. při sestavování dětských učebnic, knih a slabikářů. Poruchy učení mohou být podpořeny právě nevhodně umístěnými texty nebo obrázky v učebnicích, což by mohlo mít za následek snížení pozornosti a větší chybovost při čtení.

Výsledky experimentu ukazují výrazný vliv separace na čitelnost prezentovaných písmen při konturové interakci i crowding fenoménu a jasně tak ukazuje zásadní vliv okolí znaku na jeho čitelnost. Oba dva efekty mají dle naší studie podobný rozsah i intenzitu při jednotlivých separacích s výjimkou dvou nejmenších, při kterých se projevila větší intenzita crowding fenoménu. Z uvedených výsledků tedy nelze vyloučit, že konturová interakce tvoří podmnožinu crowding fenoménu, což bylo předpokládáno. Při crowding fenoménu se neprojevila přímá záměnnost za znaky D, K, N, O (distraktory). V záměnnosti za konkrétní písmena se konturová interakce a crowding fenomén značně liší.

Závěr

V teoretické části této diplomové práce byly shrnuty dosud vypracované studie týkající se vlivu velikosti a okolí optotypových znaků na jejich čitelnost. Teoretická část se věnovala zrakové ostrosti, definici visu, rozlišovacím mezím a velmi podrobně popisovala konstrukci optotypů, optotypových znaků a jejich čitelnost. Obšrně se věnovala dvěma efektům, ke kterým při nevhodně konstruovaných optotypech dochází – konturové interakci a crowding fenoménu. Stručně byla popsána a vysvětlena psychometrická funkce, která byla stěžejní pro vyhodnocení části výsledků v experimentální části.

Výsledky experimentu zkoumajícího vliv velikosti znaků na jejich čitelnost poukázaly na znepokojivé rozdíly v čitelnosti jednotlivých písmen sady Sloan letters. Tyto rozdíly mohou totiž způsobit nestabilní výsledky při měření zrakové ostrosti, pokud budou mít řádky na optotypu navzájem výrazně jinou průměrnou čitelnost. Při srovnání s výsledky obdobného experimentu byla zjištěna značná shoda. Prozkoumání dnes užívaných optotypů a porovnání čitelnosti jednotlivých řádků by mohlo být náplní dalšího výzkumu.

Ve druhém experimentu byl ověřen výrazný vliv okolí znaků na jejich čitelnost. Pokud se v blízkosti fixovaného znaku nachází kontury či jiný znak, čitelnost fixovaného znaku klesá, a to se snižující se separací. Při srovnání intenzity konturové interakce a crowding fenoménu jsme došli k závěru, že výraznější vliv na snížení čitelnosti má při menších separacích crowding fenomén. Při větších separacích se větší vliv crowding fenoménu výrazněji neprokázal. Na základě těchto výsledků tak nebylo prokázáno, že by konturová interakce nebyla součástí crowding fenoménu a nepodílela se tak na jeho vzniku.

Náš výzkum tak potvrdil, jak důležitý je pro lidské oči vzhled písma, jeho velikost a okolí. Sdělování informací ve formě textu je dnes stále velmi užívaným typem komunikace, ať už ve škole, v práci, při řízení vozidla nebo při čtení novin. Texty jsou často velmi malé, nevhodně umístěné a obklopené zbytečnými konturami či jinými texty, přitom se jedná o důležitá sdělení, jako jsou dopravní značky, příbalové letáky, návody, učebnice nebo články. Zejména nevhodný vzhled textu a jeho okolí ve slabikářích, ze kterých se děti učí číst, může výrazně ovlivnit učení a vývoj dítěte, zejména pokud trpí vývojovou poruchou učení.

SEZNAM LITERATURY

- [1] EPERJESI, F., RUNDSTRÖM MICHELLE, M. *Practical Binocular Vision Assessment*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2004. ISBN 0 7506 5010 9.
- [2] GROSVENOR, T. *Primary Care Optometry, fifth edition*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2006. ISBN 0750675756.
- [3] BENJAMIN, J. W. *Borish's Clinical Refraction, second edition*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2006. ISBN 978 0 7506 7524 6.
- [4] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to Visual Optics*. Canterbury: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 9780900099281.
- [5] NORTON, T. T., CORLISS, D. A., BAILEY, J. E. *The Psychophysical Measurement of Visual Function*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2002. ISBN 0750699353.
- [6] PLUHÁČEK, F. *Fyziologická optika – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2010.
- [7] WESTHEIMER, G. 1979. *Scaling of visual acuity measurements*. Arch Ophthalmol 1979, 97:327-330.
- [8] FLOM, M. C. *Contour Interaction and the Crowding Effect*. Problems in Optometry, 1991. Vol. 3, No. 2.
- [9] REICH, L. N., BEDELL, H. E. *Relative Legibility and Confusions of Letter Acuity Targets in the Peripheral and Central Retina*. Optometry and Vision Science 2000, 77:270-275.
- [10] ELLIOT, D. B. *Clinical Procedures in Primary Eye Care*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2007. ISBN 0-7506-5527-5.

- [11] JACOBS, R. J. *Visual resolution and contour interaction in the fovea and periphery*. Vis Res 1979, 19:1187.
- [12] KORTE, W. Z Psychol 1923, 93:17.
- [13] AVERBACH, E., CORIELL, A. S. Bell System Tech J 1961, 40:309.
- [14] HESS, R. F., DAKIN, S. C., KAPOOR, N. *The foveal 'crowding' effect: Physics or physiology?* Vision Research, 2000, 365–370.
- [15] SIDEROV, J., WAUGH, S. J., BEDELL, H. E. *Foveal contour interaction for low contrast acuity targets*. Vision Research 2013, 77, 10–13.
- [16] 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, 89, 90-95.
- [17] FLOM, M. C., HEATH, G., TAKAHASHI, E. *Contour interaction and visual resolution: contralateral effects*. Science 1963, 142:979.
- [18] LIU, L., ARDITI, A. *How Crowding Affects Letter Confusion*. Optometry and Vision Science 2001, 78:50–55.
- [19] MÜLLER, P. *Über das Sehen der Amblyopen*. Ophthalmologica 1951, 121:143
- [20] STUART, J. A., BURIAN, H. M. *A study of separation difficulty*. Am J Ophthalmol 1962, 53:471.
- [21] ATKINSON, J., PIMM-SMITH, E., HARDING, G., BRADDICK, O. *Visual crowding in young children*. Jay B, ed. Doc Ophthalmol Proc. Boston: Junk Publishers Series, 1986, 45:201.
- [22] FLOM, M. C., WEYMOUTH, F. W., KAHNEMAN, D. *Visual resolution and contour interaction*. J Opt Soc Am 1963, 53:1026.

- [23] KLEIN, S. A. *Measuring, estimating, and understanding the psychometric function: A commentary*. Perception & Psychophysics 2001, 63 (8), 1421-1455.
- [24] BAILEY, I. L., LOVIE, I. E. *New design principles for visual acuity letter charts*. Am J Optom Physiol Opt, 1976, 53:740-745.
- [25] BENNETT, A. G. *Ophthalmic test types*. Br J Physiol Opt, 1965, 22:238-271.
- [26] SLOAN, L. L., ROWLAND, W. M., ALTMAN, A. *Comparison of three types of test target for the measurement of visual acuity*. Q Rev Ophthalmol 1952, 8:4-16.
- [27] DANILOVA, M., V., BONDARKO, V., M. *Foveal contour interactions and crowding effects at the resolution limit of the visual system*. J Vis. 2009, 7(2): 25.1–2518. doi:10.1167/7.2.25.
- [28] SIMUNOVIC M. P., CALVER R. *Crowding effect under scotopic condition*, Vision Research 44 2004, 963-969.