

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

VPLYV ŠTRUKTÚRY OPTOTYPOV NA MERANIE ZRAKOVEJ OSTROSTI

Diplomová práca

VYPRACOVAL:

Bc. Andrea Sláviková

Odbor 5345R008 OPTOMETRIE

študijný rok 2017/2018

VEDÚCI DIPLOMOVEJ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že nasledujúcu diplomovú prácu som vypracovala samostatne pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. s použitím literatúry uvedenej na konci práce.

V Olomouci dňa 10.4.2018

Bc. Andrea Sláviková

Pod'akovanie

Touto cestou by som chcela poďakovať RNDr. Mgr. Františkovi Pluháčkovi, Ph.D. za odborné vedenie diplomovej práce a za poskytnutie rád a pripomienok, ktoré mi pri písaní práce veľmi pomohli.

Táto práca vznikla za podpory projektov IGA P'f UP s názvom „Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2018_007 a č. IGA_PrF_2017_003.

Obsah

Úvod.....	6
1. Zrková ostrosť	7
1.1. Rozlišovacia medza oka	7
1.1.1. Uhlová rozlišovacia medza	8
1.1.2. Noniová rozlišovacia medza	9
1.1.3. Minimum legibile	10
1.2. Vízus	10
2. Vyšetrenie zrakovkej ostrosti.....	11
2.1. Zásady konštrukcie optotypov	11
2.1.1. Znaký na optotypoch	12
2.1.2. Progresia písmen a vzdialenosti medzi riadkami a znakmi	16
2.1.3. Vzájomné vzdialenosti medzi znakmi a riadkami	16
2.1.4. Jas a kontrast optotypov	17
2.2. Typy optotypov	17
2.2.1. Snellenove optotypy	17
2.2.2. LogMAR optotypy, Bailey – Lovie dizajn	19
2.3. Formáty optotypov	19
2.4. Možnosti zápisu zrakovkej ostrosti	20
2.4.1. Snellenov zlomok	20
2.4.2. Zápis desatinným číslom (decimálny zápis)	21
2.4.3. MAR, logMAR	21
2.4.4. Prahová interpolačná metóda	22
2.4.5. Špeciálne zápisy zrakovkej ostrosti	23
2.5. Opakovateľnosť merania zrakovkej ostrosti	24
3. Kontúrová interakcia a crowding fenomén.....	26

3.1. Crowding efekt.....	27
3.1.1. Horizontálny a vertikálny crowding efekt v klinickej praxi.....	29
3.2. Kontúrová interakcia.....	32
3.3. Teórie vzniku crowding efektu a kontúrovej interakcie	34
4. Experimentálna štúdia vplyvu štruktúry optotypov na meranie zrakovéj ostrosti..	36
4.1. Štatistický súbor a metodika	36
4.1.1. Probandi	36
4.1.2. Metodika	36
4.1.3. Štatistické spracovanie.....	39
4.2. Výsledky	40
4.2.1. Vplyv orientácie optotypov a ich separácie na zmeranú zrakovú ostrosť.....	40
4.2.2. Opakovateľnosť merania v závislosti na orientácii optotypov a separácii znakov.....	44
4.3. Diskusia.....	49
Záver	52
Literatúra.....	53

Úvod

V praxi optometristov alebo oftalmológov je jednou z prvých činností pri príchode pacienta zistenie jeho zrakovej ostrosti, ktorá nám zhodnotí celkový zrakový systém. Pomôckou pri meraní naturálnej zrakovej ostrosti alebo pri subjektívnom meraní zraku je optotyp. Tvorbe optotypov sa venovali rôzne štúdie, ktoré sa snažili ich stále vylepšovať a zdokonaľovať. Menili sa znaky či symboly, počty znakov v riadkoch, ich vzájomné vzdialenosti alebo ich progresia. V súčasnosti už existujú určité normy, podľa ktorých sa tvoria optotypy tak, aby bolo meranie zraku čo najpresnejšie a aby sa minimalizovali chyby pri meraní zrakovej ostrosti. Práve úlohou prvej a druhej kapitoly teoretickej časti je oboznámiť so zrakovou ostrosťou a jej meraním a zároveň uviesť rôzne spôsoby, ktorými sa dá nameraná zraková ostrosť zapísať. Podstatná časť druhej kapitoly rozoberá aj problematiku optotypov, znaky na optotypoch, progresiu písmen či jas a kontrast optotypov. To, ako sú optotypy konštruované a ako sa dodržiavajú zásady ich tvorby, ovplyvňuje vznik crowding efektu a kontúrovej interakcie pri meraní zrakovej ostrosti. Pokiaľ nie sú dodržiavané správne vzdialenosti medzi jednotlivými znakmi, tak dochádza ku crowding fenoménu alebo kontúrovej interakcii. Znaky alebo rôzne kontúry, ktoré sa nachádzajú v určitej kritickej vzdialenosti od seba, sa navzájom ovplyvňujú a dochádza k zhoršeniu čitateľnosti. Crowding fenomén a kontúrová interakcia sú bližšie vysvetlené v tretej kapitole teoretickej časti. Teoretická časť práce obsahuje doteraz publikované štúdie, ktoré sa zaoberajú súvisiacimi témami. Ťažiskom práce je experimentálne zisťovanie vplyvu štruktúry optotypov na meranie zrakovej ostrosti a vplyv separácie znakov na meranie zrakovej ostrosti. Výsledky praktickej časti sú porovnávané s výsledkami z doteraz vykonaných a zverejnených štúdií. Zraková ostrosť sa meria štandardne na optotypoch, ktoré majú znaky usporiadané v riadkoch. V tejto diplomovej práci sa porovnávali optotypy, ktoré mali znaky v riadkoch a v stĺpcoch. Horizontálne aj vertikálne optotypy mali tri rôzne separácie znakov, to znamená, že znaky boli v štandardnej vzdialenosti od seba alebo boli bližšie pri sebe. Cieľom práce je zistiť, či pri čítaní znakov v riadkoch a stĺpcoch dochádza k zmene zrakovej ostrosti a zistiť opakovateľnosť týchto meraní. Experimentálna časť zahŕňa aj crowding fenomén, pretože pri rôznych separáciách dochádza k horšej čitateľnosti znakov práve kvôli vzniku crowding efektu.

1. Zraková ostrosť

Jedným z dôležitých ukazovateľov kvality videnia je zraková ostrosť, ktorá sa obvykle definuje v súvislosti s rozlišovacou schopnosťou oka, to znamená schopnosťou oka vidieť dva samostatné objekty ako oddelené.

Zraková ostrosť sa rozdeľuje na centrálnu a periférnu. Pokiaľ obraz sledovaného predmetu dopadá do fovey a jej najbližšieho okolia na sietnici, tak je to centrálna zraková ostrosť. O periférnej zrakovej ostrosti hovoríme vtedy, ak obraz sledovaného predmetu dopadá mimo oblasť žltej škvrny, teda na perifériu sietnice.

Normálna zraková ostrosť je daná transparentnosťou optických médií oka, ich fyziologickou lomivosťou, normálnou funkciou foveolárnych čapíkov, centrálnou fixáciou oka a normálnou činnosťou zrakového nervu, zrakovej dráhy a zrakového kôrového centra. Zraková ostrosť závisí na jase pozorovaných predmetov, na vzdialenosti predmetov od sietnice, na kontraste predmetov oproti okolitému prostrediu, na veľkosti zrenice (ideálna veľkosť zrenice je od 2 do 5 mm) a veľkosti refrakčnej chyby. [1, 2]

1.1. Rozlišovacia medza oka

Rozlišovacia hranica oka je ovplyvnená optickým a neurálnym (fyziologickým) obmedzením. Sledovaný bod sa zobrazí na sietnici emetropického oka ako malý ohybový (difrakčný) krúžok. Centrálna oblasť (maximum) tohto obrazca sa nazýva Airyho disk. Jeho uhlový priemer je [2, 3]

$$\omega = 2,44 \lambda/p,$$

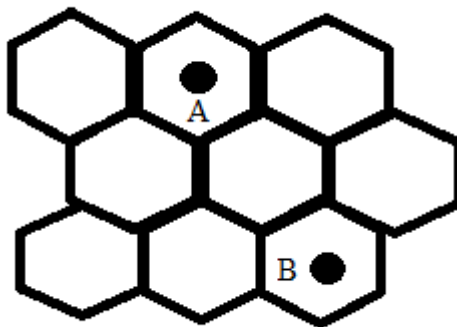
kde λ je vlnová dĺžka svetla a p je priemer zrenice. Keď je kvalita optického zobrazenia obmedzená len difrakciou, Raleighovo kritérium pre rozlíšenie hovorí, že dva difrakčné krúžky môžu byť rozlíšené ako dva len vtedy, keď stred jedného z nich leží na okraji

druhého (centrálne maximum intenzity jedného ohybového obrazu padne do prvého minima druhého ohybového obrazu). Takže uhol medzi sledovanými bodmi je

$$\beta = 1,22 \lambda/p.$$

Zo vzorca je zrejmé, že veľký vplyv má veľkosť zrenice. Priemerná veľkosť zrenice je okolo 4 mm. Ak sa vezme do úvahy maximálna citlivosť oka, ktorá je v oblasti vlnových dĺžok 555 nm, tak pre daný priemer zrenice platí, že $\beta = 0,35'$.

Fyziologické alebo neurálne obmedzenie je dané štruktúrou sietnice, hustotou čapíkov. Vo foveolárnej oblasti sa dá dosiahnuť najlepšie rozlíšenie z celej sietnice. Dva body sa dajú od seba rozlíšiť len vtedy, ak medzi ich obrazmi na sietnici leží aspoň jeden čapík, ktorý nie je podráždený svetlom (pozri obr. 1). Veľkosť jedného čapíka je približne 5 μm . [2, 3]



Obr. 1 Schematická štruktúra sietnice – čapíky. Obrazy A a B dvoch bodov premietané na sietnici budú rozlíšené, pretože medzi nimi leží jeden nepodráždený čapík.

1.1.1. Uhlová rozlišovacia medza

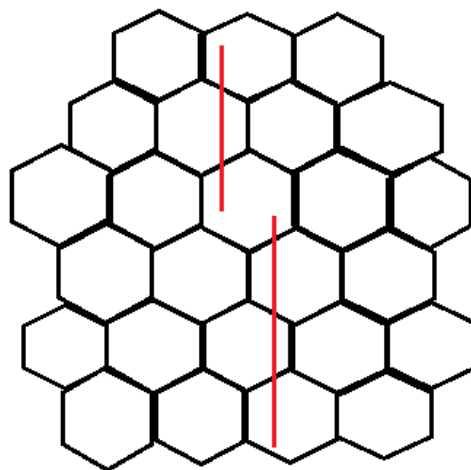
Minimálna rozlišovacia schopnosť oka (minimum separabile) je daná pozorovacím uhlom dvoch bodov v priestore, ktoré je oko schopné rozoznať ako dva. Najmenšia uhlová vzdialenosť dvoch bodov, ktoré oko ešte vie rozlíšiť ako dva body sa nazýva minimálne uhlové rozlíšenie – *MÚR*. V anglickej literatúre sa používa označenie *MAR*

(minimum angle of resolution). Toto označenie bude používané v tejto diplomovej práci. Minimálne uhlové rozlíšenie je za fyziologických podmienok $1'$, pretože veľkosť jedného čapíka je priemerne $5\ \mu\text{m}$ a vzdialenosť sietnice od obrazového uzlového bodu asi $16,67\ \text{mm}$. Táto hodnota sa považuje za referenčnú. [4]

Prevažne v experimentoch alebo klinických štúdiách sa používa namiesto *MAR* jeho logaritmus, $\log\text{MAR}$. Je výhodný hlavne pri použití tzv. logaritmicky radeného optotypu, pozri podkapitola 2.2.2.

1.1.2. Noniová rozlišovacia medza

Minimálna uhlová vzdialenosť dvoch rovnobežných úsečiek, ktoré na seba zdanlivo nadväzujú a budú ešte rozlíšené ako dve, sa nazýva noniová rozlišovacia medza (pozri obr. 2). Dá sa charakterizovať aj ako schopnosť oka vyhodnotiť koincidenciu (náväznosť) dvoch priamych čiar. Často sa označuje aj ako Vernierova zrková ostrosť. Dosahuje hodnôt $5''\sim 10''$, čo sú podstatne lepšie hodnoty ako uhlové rozlíšenie. Medzi úsečkami nemusí byť voľný čapík. Stačí, ak sa ich koncové body neprekrývajú a neležia v jednom rade čapíkov. [4]



Obr. 2 Noniová rozlišovacia medza.

1.1.3. Minimum legibile

Pri čítaní súvislých textov na blízku vzdialenosť sa používa termín minimum legibile alebo schopnosť čítania. Ide o prahovú hodnotu správneho rozpoznania reťazcov písmen (slov) v celom bloku textu, je to prah pre pochopenie obsahu čítaného textu. Na vyšetrowanie sa používajú Jaegrove tabuľky, ktoré obsahujú riadky so súvislým a zmysluplným textom. [5]

1.2. Vízus

V klinickej praxi sa obvykle namiesto parametru MAR alebo $\log MAR$ využíva na zápis zrakovej ostrosti vízus V . Vízus je bezrozmerná veličina, ktorá porovnáva referenčnú hodnotu MAR s konkrétnou nameranou hodnotou daného človeka, [6]

$$V = \frac{1'}{MAR} .$$

Takto definovaný vízus je možné zapísať vo forme desatinného čísla, prípadne vo forme zlomku (pozri podkapitola 2.4.). Z uvedenej definície tiež vyplýva prepočtový vzťah medzi V a $\log MAR$

$$\log V = - \log MAR .$$

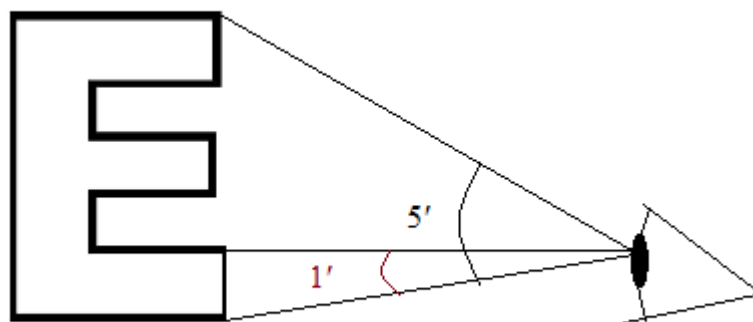
2. Vyšetrenie zrakovej ostrosti

Meranie zrakovej ostrosti patrí medzi najzákladnejšie vyšetrenie v praxi optometristu a oftalmológa. Je základným ukazovateľom stavu zraku daného človeka. Na stanovenie vízu sa používajú sady znakov alebo písmen, ktoré sú usporiadané do riadkov a veľkosť týchto znakov sa v každom nasledujúcom riadku znižuje. Takéto sady sa nazývajú optotypy. Pacientovou úlohou je správne prečítať písmená alebo správne identifikovať znaky. Riadok sa považuje za prečítaný, pokiaľ bolo aspoň 60 % znakov správne prečítaných. Podľa veľkosti najmenšieho vyšetrovaným ešte prečítaného riadku sa stanoví hodnota vízu. Vzťah medzi veľkosťou riadku, respektíve znakov v riadku, je uvedený v nasledujúcich podkapitolách.

Optotypy slúžia na zisťovanie vízu na diaľku aj na blízko. Optotypy na diaľku sa nachádzajú vo vzdialenosti 5 až 6 m, aby akomodácia bola čo najnižšia. Pre stanovenie uhlovej zrakovej ostrosti (*MAR*) sú optotypy zložené z jednotlivých znakov, ktoré môžu byť písmená, čísla, Landoltove prstence, Pflügerove háky a pri malých deťoch sa používajú sady obrázkov. Najčastejšie z nich sú popísané v podkapitole 2.1.1. Ak sa vyšetruje minimum legibile, namiesto jednotlivých písmen sa používajú slová alebo text. Tento parameter sa hodnotí obyčajne v súvislosti s videním na blízko. Vzhľadom na zameranie experimentálnej časti práce bude v nasledujúcom texte bližšie popísaná konštrukcia optotypov určených na vyšetrenie *MAR*, prípadne odvodených parametrov.

2.1. Zásady konštrukcie optotypov

Pri konštrukcii optotypov sa zvyčajne uvažuje, že znak je rozlíšený, ak je rozlíšený jeho detail. Napríklad Snellenove optotypy sú konštruované tak, že jednotlivé znaky na optotypoch sa dajú rozlíšiť práve vtedy, ak je znak viditeľný pod uhlom 5' a jeho jednotlivé detaily sú tak viditeľné pod uhlom 1' (pozri obr. 3 a podkapitola 2.2.1.). Hodnota *MAR* tak odpovedá uhlovej veľkosti jednotlivých detailov práve rozlíšeného optotypového znaku.



Obr. 3 Znak sledovaný pod uhlom 5'.

Aj optotypy prešli postupným vývojom a zdokonalením, najmodernejšie optotypy by mali brať ohľad na tieto faktory, ktoré môžu ovplyvniť meranie zrakovej ostrosti [7]:

1. vzhľad, typ znakov a ich relatívna čitateľnosť,
2. postupná progresia znakov,
3. medzery medzi znakmi a jednotlivými riadkami,
4. kontrast medzi písmenami a pozadím,
5. jas optotypu.

2.1.1. Znaky na optotypoch

Dizajn aj výber písmen sa neustále menil. Jedny z prvých znakov na optotypoch boli konštruované vo veľkosti 5x5, to znamená 5 dielikov na výšku a 5 na šírku, pričom tento štandard zaviedol Snell. Ďalšia možnosť je veľkosť 5x4, teda 5 dielikov na výšku a 4 na šírku (obr. 4), prípadne aj inak. [8]

Nie všetky písmená majú rovnakú čitateľnosť a ich čitateľnosť sa líši aj podľa štýlu písma. Na charakteristiku čitateľnosti jednotlivých znakov sa zaviedol pojem relatívna

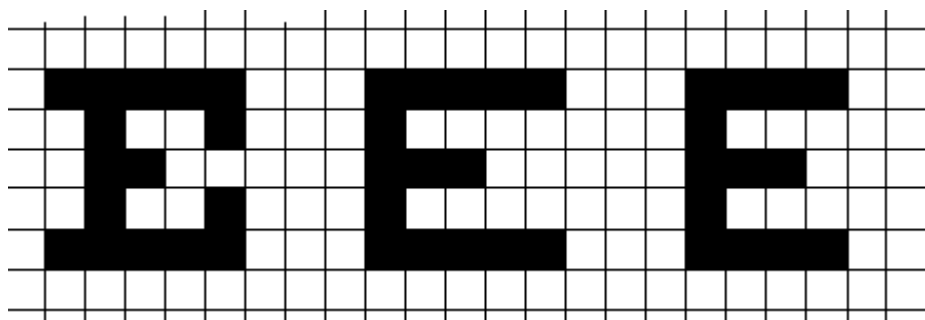
čitateľnosť, ktorá sa používa pri porovnávaní a štandardizovaní štýlov písmen. Pri konštrukcii optotypov je dôležité, aby bola priemerná čitateľnosť znakov podobná na každej úrovni ostrosti, teda v každom riadku. [3, 7]

V nasledujúcej tabuľke č. 1 sú uvedené čitateľnosti Sloan letters podľa dvoch štúdií, jednou je štúdia Sloana a kol. a druhá od Reicha a Bedella. V oboch štúdiách je čitateľnosť vyjadrená percentuálnym podielom správnych odpovedí, teda pravdepodobnosťou, s akou bol znak správne rozlíšený.

Znak	Čitateľnosť v % (Sloan)	Čitateľnosť v % (Bedell a Reich)
Z	94,0	91,3
N	91,6	92,5
H	89,3	84,6
R	86,3	91,6
V	84,6	78,5
K	82,1	83,9
D	79,5	54,8
C	71,4	86,4
O	71,0	61,4
S	70,6	82,4

Tab. 1 Čitateľnosť Sloan letters v percentách. [9]

Písmená môžu byť písané dvomi spôsobmi, a to ako pätkové písmo (serif) alebo bezpätkové (sans-serif). V súčasnosti sa preferujú písmená bezpätkové (pozri obr. 4). [3, 7]



Obr. 4 Príklad písmena E zapísaného pomocou pätkového písmena v rastri 5x5, bezpätkového písmena v rastri 5x5 a bezpätkového písmena v rastri 5x4.

Zásadou je, aby sa písmená v riadku neopakovali, ak je to možné. Výhodou optotypov, ktoré obsahujú väčšie množstvo rôznych znakov je ich variabilita a znížená šanca na uhádnutie prezentovaného znaku. Štatisticky je pravdepodobnosť hľadania rovná prevrátenej hodnote počtu používaných znakov. Vyšetrovaní často nevedia, že v optotypoch sa nepoužíva všetkých 26 písmen abecedy, a preto je táto pravdepodobnosť uhádnutia podstatne nižšia (26 písmen abecedy, takže pravdepodobnosť je 1/26).

Sloanove písmená

V súčasnosti sa pomerne často môžeme stretnúť s optotypmi, v ktorých sú použité Sloanove písmená (Sloan letters). Sú konštruované v pomere 5x5 a sú bezpätkové. Sloan používal v optotypoch týchto 10 znakov: C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z. Každý z týchto znakov má svoju špecifickú konštrukciu, uhol a zakrivenie. Často sa používajú v prípade merania pre vedecké účely a štúdie. Taktiež sú využité v experimentálnej časti diplomovej práce. [3]

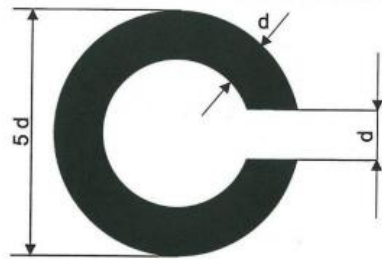
Britské písmená (British letters)

Britské písmená sú konštruované v mriežke 5x4 a obsahujú týchto 10 znakov: D, E, F, N, H, P, R, U, V, Z. Britský štandard sa v roku 2003 zmenil a optotypy sú konštruované z 12 bezpätkových písmen a sú konštruované v pomere 5x5. Päť znakov je totožných so Sloanovými znakmi (C, H, N, V, Z). V sade sa používajú aj písmená K a R, ktoré majú oproti Sloan letters inú konštrukciu (iné uhly medzi nožičkami) a taktiež písmeno D má iné zakrivenie. V sade sú ešte písmená E, F, P, U. [3]

Landoltove prstence

Landoltove prstence sú optotypy, ktoré sa často používajú pri pacientoch, ktorí nevedia čítať. Súčasne je to znak, ktorý je na vyšetrovanie vízu stanovený európskou normou EN ISO 8596:2009. Landoltov prstenec je neúplný kruh s vnútorným priemerom rovným päťnásobku hrúbky čiary, z ktorej je konštruovaný, pričom sa v ňom nachádza medzera s veľkosťou rovnou hrúbke čiary (pozri obr. 5). Pripomína písmeno C, a preto sa často nazýva aj Landoltovo C. Podobne ako Sloanove písmená, je konštruovaný v pomere 5x5, 5 dielikov na šírku a 5 na výšku. Pri meraní na tomto optotype je pacient vyzvaný, aby ukázal alebo povedal, kde sa nachádza medzera – hore, dole, vpravo,

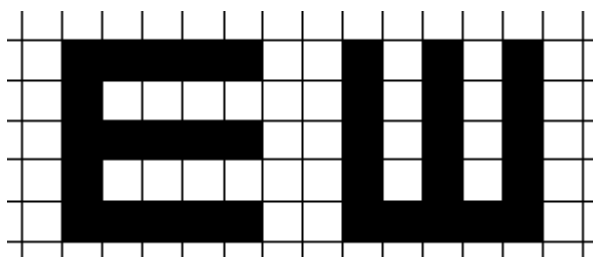
vľavo. Medzera môže byť v štyroch alebo niekedy až v ôsmich polohách (základné polohy a šikmé). Poloha medzery je rovnako identifikovateľná vo všetkých polohách, takže čitateľnosť znakov je rovnaká, ale je tam vyššia pravdepodobnosť (0,25), že vyšetrovaný len odhadol miesto medzery. Landoltove optotypy začínajú na veľkosti 6/60 a najmenšie prstence majú veľkosť 6/6. [3]



Obr. 5 Landoltov prstenec s veľkosťou detailu d . [10]

Pflügerove háky, E háky

Tak ako Landoltove prstence, tak aj optotyp s Pflügerovými hákmi sa využíva na zistenie vízu u ľudí, ktorí nevedia čítať (niekedy sa tento znak volá aj „negramotné E“) alebo v krajine, kde sú znaky abecedy odlišné oproti znakom, ktoré využíva väčšina krajín (napríklad v Číne alebo v Rusku). Tieto optotypy obsahujú znak E napísaný vo veľkosti 5 dielikov na 5 dielikov, ktorý môže byť rôzne otočený. Vyšetrovaný je vyzvaný, aby identifikoval, ako je znak otočený (kam smerujú končatiny písmena). Využívajú sa štyri základné smery - hore, dole, doľava, doprava alebo osem smerov, ktoré sú rozšírené o šikmé smery. [3]



Obr. 6 Pflügerove háky.

2.1.2. Progresia písmen a vzdialenosti medzi riadkami a znakmi

Klasický Snellenov optotyp bol navrhnutý tak, aby písmená boli rozlíšené okom s vízom 1 na vzdialenosti 60, 36, 24, 18, 12, 9, 6 a 5 metrov. Považuje sa to za prvý optotyp s progresiou znakov. Progresia bola vybraná empiricky.

Ďalšími boli optotypy, ktoré mali zmenu vízu podľa aritmetického radu. Rozdiel vízu medzi jednotlivými riadkami má konštantnú hodnotu 0,1. Optotyp sa skladá z týchto riadkov: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0. Členenie v oblasti nízkeho vízu je príliš riedke, takže sledovanie zmien vo víze nie je presné. Riadky pre lepší vízus sú zase naopak veľmi husté. [11]

V súčasnosti sa preferujú optotypy s logaritmickou (resp. geometrickou) postupnosťou, ktoré lepšie odpovedajú tzv. Weber-Fechnerovému zákonu. Ten hovorí, že ak podnet rastie geometrickým radom, tak vnem rastie aritmetickým radom. Preto je vhodné meniť veľkosť znakov práve radom geometrickým. Pokiaľ sa namiesto obvyklého vízu V použije označenie zrakovej ostrosti pomocou $\log MAR$, tak sa geometrický rad v hodnotách V transformuje na aritmetický rad v hodnotách $\log MAR$. Norma stanovuje, že minimálny rozsah veľkostí písmen musí byť od $\log MAR -0,1$ po $\log MAR 1,0$. Minimálne odstupňovanie veľkosti písmen nesmie byť väčšie než 0,1 $\log MAR$ medzi $\log MAR -0,1$ a $\log MAR 0,4$. Pokiaľ sa meria vízus v logaritmických jednotkách, tak je možné meniť veľkosť znakov vždy o rovnakú logaritmickú jednotku. [7]

Pre vyšetrovaciu vzdialenosť 6 m teda progresia veľkosti znakov odpovedá riadkom videným z týchto vzdialeností 6,0; 7,5; 9,5; 12; 15; 19; 24; 30; 38; 48; 60; 75; 95. [3]

2.1.3. Vzájomné vzdialenosti medzi znakmi a riadkami

Rozstup medzi jednotlivými znakmi v riadkoch a tiež aj rozstup medzi riadkami je veľmi dôležitý, pretože ovplyvňuje čitateľnosť týchto znakov. Pri nevhodnej vzdialenosti dochádza k vzniku kontúrovej interakcie a crowding fenoménu (tejto téme sa venuje kapitola 3). Voľba rozstupového pomeru je viac-menej ľubovoľná, ale

odporúča sa, aby priestor medzi susednými riadkami a tiež medzi príslušnými písmenami bol rovný šírke písma. Zraková ostrosť je lepšia, ak je medzera širšia. [3]

2.1.4. Jas a kontrast optotypov

Pre väčšinu účelov sa meranie zrakovej ostrosti vykonáva pri stredných fotopických jasoch. Odporúčaný štandardizovaný rozsah jasů optotypu je od 85 do 300 cd/m² (klinická tolerancia je od 80 do 320 cd/m²). [3]

Kontrast je ďalšia premenná, ktorá ovplyvňuje ostrosť zraku. Väčšinou sa používajú optotypy, ktoré majú vysoký stupeň kontrastu. Do popredia sa dostáva aj meranie zrakovej ostrosti s nízkym kontrastným (sivým) optotypom, hlavne u pacientov s ochoreniami rohovky. Optotyp, ktorý má nízký kontrast, môže pomôcť aj pri diagnostike začínajúcej katarakty, kde je zraková ostrosť ešte normálna, ale práve na takomto optotype sa prejaví. Zraková ostrosť s nízkym kontrastom a jej rozdiel od ostrosti zraku s vysokým kontrastom sa často považujú za mieru citlivosti na kontrast. [12]

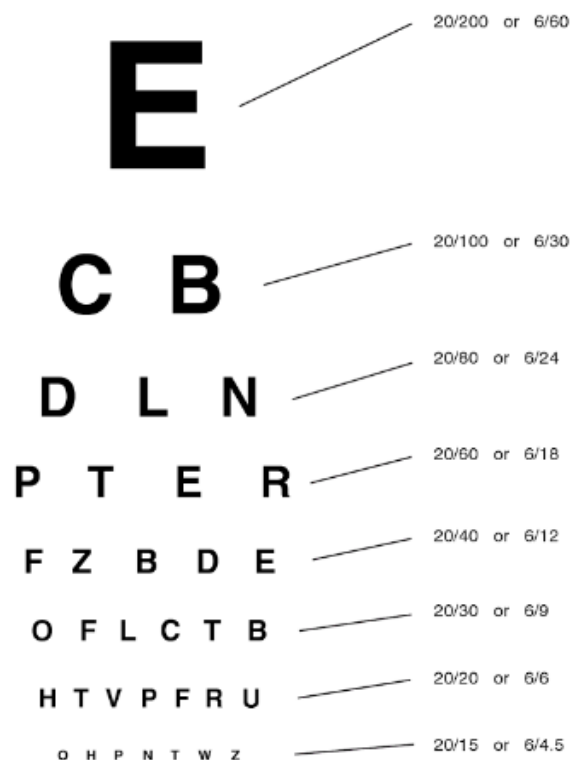
2.2. Typy optotypov

2.2.1. Snellenove optotypy

Zraková ostrosť ako základný kameň hodnotenia zraku sa meria od roku 1862, keď Herman Snellen z Utrechtu skonštruoval prvé optotypy – Snellenove tabuľky zrakovej ostrosti. Počas 1. svetovej vojny bolo potrebné vytvoriť štandardy na hodnotenie zraku vojenských jednotiek a keďže Snellenove optotypy boli dlhodobo akceptované, tak sa podľa nich začal vyhodnocovať vízus a jeho hodnota 20/20 (v našich podmienkach 6/6, Snellen používal ako jednotku vzdialenosti ft = feet= stopa, 20 ft je cca 6 m) sa stala referenčným meradlom vízu. Snellenove optotypy sú tvorené tmavými písmenami na

bielom pozadí, ktoré sú empiricky zoradené (pozri podkapitola 2.1.2.). Klasická konštrukcia Snellenovho optotypu je prezentovaná na obr. 7. Pôvodné Snellenove optotypy majú niekoľko nedostatkov [11, 13]:

1. Na väčšine Snellenových optotypoch sa nenachádza rovnaký počet znakov v riadkoch. Preto aj počet chýb pri čítaní znakov pre rôzny riadok má iný význam.
2. Progresia veľkosti písmen neodpovedá presne logaritmickému (geometrickej) stupnici (pozri podkapitola 2.1.2.). Obvyklé radenie hodnôt vízu pre vyšetrovaciu vzdialenosť 6 m je 6/60, 6/30, 6/24, 6/18, 6/15, 6/12, 6/9, 6/6, 6/4, pre 5 m je 5/50, 5/30, 5/20, 5/15, 5/10, 5/7,5, 5/5, 5/4 (vízus sa väčšinou udáva v tvare zlomku, pozri podkapitola 2.4.).
3. Snellen využíva v tabuľkách rôzne znaky, ktorých čitateľnosť sa od seba výrazne líši. A alebo L je ľahšie čitateľné ako E, a tým pádom niektoré riadky môžu byť horšie čitateľné, pretože je v nich viac znakov, ktoré sa dajú ťažšie čítať alebo naopak sú lepšie identifikovateľné, pretože obsahujú znaky, ktoré sa čítajú lepšie.



Obr. 7 Snellenov optotyp. [2]

2.2.2. LogMAR optotypy, Bailey – Lovie dizajn

V poslednej dobe sa preferujú LogMAR optotypy, ktoré sú konštruované na základe týchto princípov:

- V každom riadku je rovnaký počet písmen, ktoré sú oddelené medzerou, ktorá sa svojou veľkosťou rovná veľkosti písmena.
- Vzďialenosť medzi riadkami je rovná výške písmena z nižšieho riadku.
- Veľkosť písmen sa zväčšuje geometrickým radom, ktorý odpovedá 0,1 logMAR.

Vzhľadom k vyššie uvedeným vlastnostiam optotyp umožňuje priradiť každému písmenu príslušnú hodnotu vízu (pri piatich znakov na riadok je to hodnota 0,02 logMAR) a dá sa tak presnejšie stanoviť hodnota vízu (pozri podkapitola 2.4.4). [1]

Medzi konkrétnych zástupcov patrí tzv. Bailey – Lovie optotyp. K zásadám na tvorbu logMAR optotypu je pridaná ešte požiadavka na rovnaké priemerné čitateľnosti znakov. Konkrétne sa používa 5 znakov v riadku, pričom originál obsahuje British letters. Na základe Bailey –Lovieho optotypu vznikol v roku 1982 aj optotyp používaný pri skorej detekcii a pri sledovaní progresie diabetickej retinopatie (ETDRS – Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study), ale tu je rozdiel vo využívaní písmen. ETDRS využíva Sloanove písmená. Tieto optotypy sa stali štandardom na meranie zrakovej ostrosti pre klinické účely. [3, 14]

2.3. Formáty optotypov

Na vyšetovanie zrakovej ostrosti sa môžu využívať optotypy v rôznom prevedení, a to v tlačenej verzii, optotypy premietané cez projektor alebo LCD optotypy. Panel s optotypom, premietacie plátno pre projektor alebo obrazovka k LCD optotypu sa nachádza od vyšetovaného 5 až 6 m, ale keď rozmery miestnosti neumožňujú požadovanú skúšobnú vzdialenosť, zrkadlá sa môžu použiť na predĺženie vzdialenosti.

Tlačené optotypy sa nachádzajú v rôznych formách. Mnohé sú vytlačené na nepriehľadnej karte alebo plaste a sú priamo osvetlené. Ostatné sú vytlačené na priesvitnom materiáli a osvetľované zozadu (spätné osvetlenie). Ich veľkou nevýhodou je nemennosť znakov, a preto si treba dávať pozor pri čítaní či naozaj vyšetrovateľ vidí znaky, alebo si len zapamätal ich poradie.

Pri projekčnom optotype je nutné, aby plátno, na ktoré sa premieta, bolo vo vzdialenosti, na ktorú bol tento optotyp konštruovaný (väčšinou 6 m). Ak vyšetrovacia vzdialenosť bude iná, tak je nutný prepočet zrakovej ostrosti, pretože to nebude zodpovedať hodnotám priradeným k jednotlivým riadkom.

LCD optotyp majú oproti predchádzajúcim možnostiam množstvo výhod. Ponúkajú väčší výber rôznych optotypov, písmená v riadkoch sa dajú neustále obmieňať alebo sa dá meniť kontrast. [3]

2.4. Možnosti zápisu zrakovej ostrosti

Zraková ostrosť sa dá vyjadriť pomocou *MAR* a *logMAR* alebo pomocou vízu. Vízus sa uvádza vo forme desatinného čísla či zlomku (tzv. Snellenov zlomok). Často sa pri veľmi zlej zrakovej ostrosti využívajú špeciálne typy zápisu.

2.4.1. Snellenov zlomok

Snellen charakterizovala zrakovú ostrosť ako pomer vzdialeností:

$$V = \frac{\text{vyšetrovacia vzdialenosť}}{\text{číslo riadku}}$$

Zvyčajná vyšetrovacia vzdialenosť je 6 m, prípadne 5 m. Ako číslo riadku sa berie vzdialenosť, pri ktorej je znak na optotype videný pod uhlom 5' (detail je teda videný pod uhlom 1'), resp. je riadok rozlíšený okom s vízom 1. Tento vzťah sa dá odvodiť

z pôvodnej definície vízu (pozri podkapitola 1.2.). Pacient s vízom 1, resp. s $MAR = 1'$ by mal znak na optotype, ktorý má veľkosť $5'$, vidieť zo vzdialenosti 6 m, takže jeho vízus sa zapíše ako 6/6. V zahraničnej literatúre sa môžeme stretnúť s týmto metrickým systémom alebo s anglickým systémom, kde sa namiesto metrov používajú stopy, takže vízus 6/6 sa zapisuje ako 20/20. U mladých ľudí často býva vízus aj lepší ako 6/6. [7]

2.4.2. Zápis desatinným číslom (decimálny zápis)

Ak poznáme zápis zrakovej ostrosti Snellenovým zlomkom, tak zodpovedajúca zrková ostrosť zapísaná desatinným číslom je určená vydelením čitateľa Snellenovho zlomku jeho menovateľom. Napríklad 6/6 je desatinným číslom 1,0 alebo zrková ostrosť 6/30 je 0,2 a 6/60 je 0,1. [2]

V komunikácii s pacientmi sa z praktických dôvodov radšej využíva prepočet na percentá. Vízus 1 je 100 %, vízus 0,5 je 50 %. Decimálny zápis sa používa hlavne v európskych krajinách. Nevýhodou je, že sa tam neuvádza vyšetrovacía vzdialenosť ako pri Snellenovom zlomku, takže poskytuje menej informácií o podmienkach vyšetrenia. [3]

2.4.3. MAR , $\log MAR$

Uhlová veľkosť detailu najmenšieho rozpoznaného znaku na optotype sa používa na zapisovanie vízu. Uhlová veľkosť detailu znaku je $1/5$ jeho výšky. Napr. vízus 6/6 sa týmto spôsobom zapisuje ako $MAR = 1'$ alebo pre 6/60 je MAR rovné $10'$.

Zápis pomocou $\log MAR$ je ďalším spôsobom zápisu a vychádza zo znalosti hodnoty MAR . Zrková ostrosť zapísaná ako 6/6 je pri zápise pomocou MAR rovná $1'$, ak použijeme zápis pomocou $\log MAR$, tak $\log_{10}(1,0)$ sa rovná 0,0. Ak by zrková ostrosť bola vyššia ako $1'$, tak ja $\log MAR$ bude mať vyššie hodnoty. Naopak zase, ak bude

zrková ostrosť ešte lepšia ako 1' (6/6), tak bude mať $\log MAR$ záporné hodnoty (napr. vízus 6/4,8 alebo $MAR = 0,8'$ sa v logaritmickej zápise píše ako $\log_{10}(0,8) = -0,10$). [3]

V tabuľke 2 je uvedený zápis zrakovej ostrosti štyrmi základnými možnosťami (Snellenov zlomok, decimálny zápis, MAR a $\log MAR$), ktoré boli popísané v týchto podkapitolách.

Snellenov zlomok	Decimálny zápis	MAR	$\log MAR$
6/3	2,00	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	0,160	6,3	0,80
6/48	0,125	8,0	0,90
6/60	0,100	10,0	1,00
6/75	0,080	12,5	1,10
6/95	0,063	16	1,20
6/120	0,050	20	1,30
6/150	0,040	25	1,40
6/190	0,032	32	1,50
6/240	0,025	40	1,60
6/300	0,020	50	1,70
6/380	0,016	63	1,80
6/480	0,013	80	1,90
6/600	0,010	100	2,00

Tab. 2 Zápis vízu rôznymi spôsobmi.

2.4.4. Prahová interpolačná metóda

Každému písmenu v riadku sa dá priradiť určitá hodnota, a tak je meranie zrakovej ostrosti citlivejšie. Pri zápise zrakovej ostrosti Snellenovým zlomkom sa používajú ešte

indexy s + alebo – na označenie prečítaného alebo neprečítaného písmena na ďalšom riadku, napr. vyšetovaný správne prečítal riadok 6/6 a z ďalšieho prečítal správne už len 2 písmená, takže sa to môže zapísať ako $6/6^{+2}$. Je dôležité, aby na každom riadku bol rovnaký počet písmen, pretože potom nemajú na všetkých úrovniach znaky rovnakú hodnotu.

Ak sa zrková ostrosť meria na logMAR optotypoch, tak je počet znakov v riadku rovnaký, väčšinou je to 5 znakov. Uhlová veľkosť optotypových znakov sa mení na riadku vždy o hodnotu 0,1 logMAR, takže každý znak má rovnakú hodnotu a to 0,02 logMAR. Za každé ďalšie prečítané písmeno z nasledujúceho riadku sa k logMAR skóre pripočíta alebo odpočíta ešte hodnota 0,02. Napríklad ak vyšetovaný správne prečíta znaky v riadku, ktorý je označený 0,3 logMAR a 1 znak z riadku 0,2 logMAR, tak výsledný vízus bude $\logMAR = 0,3 - 0,02 = 0,28$. [3]

2.4.5. Špeciálne zápisy zrakovej ostrosti

Pri pacientoch so zrkovou ostrosťou horšou ako 1/60 sa používajú na zistenie a zapisovanie zrakovej ostrosti špeciálne metódy, ako napríklad prsty, pohyb a svetlocit s projekciou, detailne sa tejto téme venuje publikácia [15].

Ak pacient nevie správne identifikovať na optotype znaky, ktoré odpovedajú vízu 1/60, tak sa pacientovi ukážu prsty a pacient je požiadaný, aby odpovedal, koľko prstov vidí. Medzi prstami musí byť medzera na šírku jedného prstu. Ruka sa drží bez pohybu a musí byť kontrastná, pozadie za rukou nesmie byť veľmi štruktúrované lebo členité. Nevyšetrované oko je zakryté. Opakuje sa to asi 5-krát, aby sa vylúčilo hádanie, vždy sa zvolí iný počet prstov. Takéto meranie sa začína na vzdialenosť 1 m, pokiaľ nie sú správne určené aspoň 3 ukazovania, tak sa vzdialenosť skraca na 60 cm a potom na 30 cm. Výsledný vízus sa zapisuje vo forme vzdialenosti, z ktorej pacient správne určil prsty, napríklad 60 cm/prsty.

Pokiaľ pacient nevie ani z 30 cm správne určiť počet ukazovaných prstov, tak sa rukou začne hýbať. Meranie je na 60 cm, rukou sa pohybuje v základných smeroch a pacient

je vyzvaný, aby povedal, kedy sa ruka hýbe a v ktorom smere sa hýbe. Meranie sa opakuje 5-krát. Ak pacient správne reaguje, tak sa vízus zapisuje vo forme V: pohyb.

Ďalšou špeciálnou metódou je vyšetrenie svetlocitu a svetlocitu s projekciou. Vyšetrenie svetlocitu prebieha v zatemnenej miestnosti bodovým zdrojom svetla. Svetlom sa svieti priamo do stredu zrenice a mimo oko. Vyšetrovaný odpovedá, kedy sa mu svieti do oka a kedy nie. Vyšetrenie sa opakuje minimálne 5-krát. Ak pacient správne odpovie 4-krát z 5 pokusov, tak sa vízus zapisuje vo forme V: svetlocit. Pokiaľ pacient svetlo vidí, tak pri ďalšom meraní sa skúša svietiť do oka z rôznych smerov do stredu zrenice. Pacient určuje z ktorého smeru sa naňho svieti. Pri správnom určení aspoň troch z piatich meraní, sa vízus zapíše ako V: svetlocit s projekciou. Niekedy sa využíva zápis aj vo forme certa a incerta (istý a neistý). Pacientovi, ktorý reaguje na svetlo, ale nie je si úplne istý smerom, odkiaľ prichádza svetlo, sa vízus môže zapísať ako V: svetlocit s projekciou incerta.

2.5. Opakovateľnosť merania zrakovej ostrosti

Je dôležité, aby hodnoty nameranej zrakovej ostrosti boli presné, opakovateľné a bez vplyvu negatívnych faktorov, ktoré môžu významne ovplyvniť výslednú nameranú hodnotu zrakovej ostrosti. Najčastejšie sa na vyšetrovanie zrakovej ostrosti využívajú vyššie spomenuté optotypy, Snellenov a logMAR (konkrétne EDTRS). Opakované meranie toho istého figuranta na tom istom optotype za tých istých podmienok by malo vykazovať nulové rozdiely. Bolo ale zistené, že ETDRS (celkovo sa dá povedať logMAR optotypy) majú v porovnaní so Snellenovým optotypom väčšiu spoľahlivosť a opakovateľnosť. V súvislosti s opakovateľnosťou sa hovorí o test-retest variabilite (TRV) v spojení s Bland-Altmanovou metódou (pozri podkapitola 4.1.3.). Opakovateľnosti Sloan letters sa venovala aj štúdia Veselého a Synka [16]. Zrakovú ostrosť testovali opakovane u 36 figurantoch celoriadkovou metódou na Snellenovom optotype a interpolačnou prahovou metódou (pozri 2.4.4.) na Snellenovom optotype a na EDTRS optotype. Výsledky vyhodnocovali metódou Bland-Altman. Štúdiou dokázali, že najlepšia opakovateľnosť a spoľahlivosť bola pri interpolačnej prahovej metóde na optotype ETDRS, kde na hladine 95% bol nameraný interval spoľahlivosti \pm

0,08 logMAR, takže maximálny rozptyl hodnôt meraných opakovane je na stanovenej štatistickej hladine na úrovni maximálne ± 4 znaky. Pri celoriadkovej metóde na Snellenovom optotype bola hodnota koeficientu opakovateľnosti CoR $\pm 0,11$ logMAR (viac ako ± 5 znakov). Najhorší výsledok CoR $\pm 0,20$ (± 10 znakov) bol dosiahnutý pri meraní na Snellenovom optotype za použitia prahovej interpolačnej metódy.

Podobné výsledky publikovali vo svojej štúdií aj Laidlaw a kol. [17], ktorí opätovne merali zrakovú ostrosť u detí s amblyopiou na dvoch optotypoch – Snellenov a ETDRS. Najhoršiu opakovateľnosť zistili na Snellenovom optotype (CoR $\pm 0,29$). Na optotype ETDRS za použitia prahovej interpolačnej metódy je CoR $\pm 0,14$.

Dokonca pri štúdií Vanden Boscha a Walla bola hodnota TRV pri použití interpolačnej metódy na optotype ETDRS pod hodnotu $\pm 0,04$ logMAR, čo odpovedá 2 optotypovým znakom. [18]

Z uvedených štúdií vyplýva, že najvhodnejšie optotypy na meranie zrakovej ostrosti sú ETDRS optotypy a na zápis zrakovej ostrosti je najpresnejšia prahová interpolačná metóda.

3. Kontúrová interakcia a crowding fenomén

Schopnosť správne identifikovať znak na optotype je ovplyvnená aj prítomnosťou okolitých znakov, písmen, kontúr, symbolov. Preto je pri zostavovaní optotypov dôležité zachovávať určité vzdialenosti medzi jednotlivými znakmi a medzi riadkami (pozri podkapitola 2.1.3.), aby bola dobrá čitateľnosť znakov. Čitateľnosť môže ovplyvniť aj okolie optotypu, napríklad jeho orámovanie. Týmto javom sa hovorí kontúrová interakcia a crowding fenomén alebo crowding efekt. Ak je pozorovaný znak obklopený jednoduchými líniami (kontúrami), jedná sa o kontúrovú interakciu. Pokiaľ je znak obklopený zložitejšími útvarmi, ktoré sú typovo podobné alebo rovnaké ako sledovaný znak, ide o crowding. Crowding efekt je zložitejší jav, ktorý zahŕňa aj kontúrovú interakciu. Tieto javy sa vyskytujú u emetropov aj ametropov, ale výraznejšie sa prejavujú u ľudí s amblyopiou alebo makulárnou degeneráciou. Zrková ostrosť sa môže hodnotiť aj bez prítomnosti crowding efektu a kontúrovej interakcii, pokiaľ sa použijú samostatne prezentované písmená na pozadí bez blízkych obrysov. Dá sa povedať, že oko má dve zrkové ostrosti. Jedna je pri použití klasických optotypov, kde je prezentovaných viac písmen alebo pri použití samostatných znakov bez vplyvov okolia. [19]

Oba javy sú často charakterizované pomocou rozsahu (angl. extent) a veľkosti (magnitúdy). Niekedy sa namiesto pojmu magnitúda používa intenzita. Maximálna vzdialenosť obrysov od fixovaného znaku, pri ktorom už je pozorovaný vplyv kontúrovej interakcie alebo crowdingu, sa nazýva rozsah alebo kritická vzdialenosť. V roku 1970 Bouma (Boumov zákon) na základe svojich výsledkov určil kritickú vzdialenosť. Pre úplnú izoláciu znaku pri excentricite ϕ by žiadne iné znaky nemali byť prítomné v rozmedzí $0,5'$. Neskôr znížil svoj odhad na $0,4'$. Tento zákon ale aj tak neplatí úplne. [20] Veľkosť alebo intenzita je miera poklesu rozlíšiteľnosti znaku pri maximálnom vplyve kontúrovej interakcie. Výsledné hodnoty pre rozsah sa v rôznych štúdiách menia, pretože záleží na miere, v ktorej sa uvádza separácia znakov. Môže to byť miera relatívna (obvyčajne v % z veľkosti pozorovaného znaku) alebo absolútna (obvyčajne v uhlových minútach). Separácia môže byť meraná od stredu znaku po stred okolitého znaku (tento postup sa uplatňuje zvyčajne pri crowding fenoméne a označuje

sa ako center-to-center), prípadne od hrany znaku po hranu okolitého znaku či kontúry (zvyčajne pri kontúrovej interakcii a označuje sa ako edge-to-edge).

3.1. Crowding efekt

Jedna z prvých definícií crowding efektu vyšla v roku 1923. Wilhelm Korte ho charakterizoval ako tlak na obe strany slova, ktorý má sklon k jeho stlačeniu. Potom silnejšie (dominantnejšie) písmená rozdrvila slabšie. [21]

V súvislosti s klinickým vyšetrovaním zrakovej ostrosti sa v súčasnosti crowding efekt alebo crowding fenomén (crowding znamená z angličtina nahustenie, zhlukovanie, tlačenie) definuje ako problém alebo neschopnosť rozlišovať malé znaky na optotypoch, keď sú prezentované vedľa seba v rade, prípadne nad sebou. Tým sa vyvolá vizuálna interakcia medzi týmito znakmi. Zatiaľ, čo tie isté znaky v rovnakej veľkosti prezentované osobitne proti jednotnému pozadiu, sú rozlíšené. To znamená, že ak je znak obklopený inými podobnými znakmi, tak hovoríme o crowding efekte. Crowding fenomén je všadeprítomný pri priestorovom videní. Nemusí sa jednať len o písmená alebo čísla, ale sťažuje vnímanie akýchkoľvek pozorovaných objektov. Crowding fenomén zahŕňa kontúrovú interakciu (pozri podkapitola 3.2.), fixačné pohyby očí a pozorovacie faktory. [22]

V priebehu posledných približne 80 rokov vyšlo množstvo štúdií, ktoré sa zaoberajú crowding efektom a pochopenie alebo vysvetlenie crowdingu môže viesť k lepšiemu pochopeniu procesov týkajúcich sa rozpoznávania objektov.

V roku 1962 vyšla štúdia Stuarta a Buriana [23] zameraná na vyšetovanie rozdielov v zrakovej ostrosti u normálnych a amblyopických očí. Pacienti s amblyopiou vedú správne identifikovať aj menšie znaky, ak sú prezentované jednotlivo na jednotnom pozadí, ale pokiaľ sú symboly prezentované v rade, tak musia byť väčšie, aby ich daný pacient s amblyopickým okom vedel správne prečítať. Vysvetliť túto zaujímavosť amblyopického oka rozoznať menšie izolované znaky a neschopnosť rozoznať písmená rovnakej veľkosti pri zoradení písmen do riadkov a stĺpcov by bolo posunom v chápaní mechanizmu strabickéj amblyopie. Výsledky naznačili, že ide o univerzálny jav

kvantitatívne súvisiaci s úrovňou ostrosti zraku, to znamená, že všetky senzorické javy pozorované u strabických pacientov sú nadsadením už existujúcich fyziologických javov. To znamená, že nielen amblyopické oko má dve hodnoty zrakovej ostrosti, ale taktiež aj oko s normálnym videním. U amblyopického oka je tento efekt výraznejší.

V šesťdesiatych rokoch minulého storočia vedci Flom, Heath a Takahashi [24] zistili, že crowding nastáva vtedy, keď je testovaná značka aj okolité znaky, ktoré ju obklopujú, prezentované rôznym očiam, t.j. dichopticky. V roku 1994 boli tieto výsledky potvrdené Tripathym a Levim [25]. Taktiež zistili, že rovnako silný crowding efekt ako pri prezentácii znaku jednému oku a okoliu druhému oku nastáva, keď je testovacia značka a okolité znaky prezentované tomu istému oku. Tieto štúdie a ešte množstvo iných sa prikláňa k nervovému základu vzniku, napríklad výzkum Floma z roku 1991 [26]. Výsledky z tohto výskumu poukazujú na inhibičný efekt crowding efektu a kontúrovej interakcie, ktorý musí byť nervový a supraretinálny. Vzhľadom na anatomickú architektúru vizuálneho systému sa preukázalo, že crowding sa deje po tom, ako sú signály z oboch očí spojené - v corpus geniculatum laterale alebo v tylovom laloku mozgu. Ďalšie teórie vzniku crowdingu sú spomenuté v podkapitole 3.3.

Ďalšie štúdie sa venovali crowding efektu a jeho výskytu pri periférnom a centrálnom videní. Viacero štúdií (napr. Flom a kolektív v roku 1963 alebo Liu a Arditi v roku 2000) potvrdilo, že pri centrálnom videní (foveálnom) sa crowding objavuje len vo veľmi malých rozstupoch (asi 4–6 uhlových minút) alebo sa vo fovey vôbec nevyskytuje. Pri periférnom videní sa znak obklopený inými znakmi stáva ťažko rozpoznateľný. [20]

Periférne videnie bolo väčšinou charakterizované znížením rozlíšenia alebo kontrastnej citlivosti kvôli zvyšujúcej sa excentricite. Rozpoznanie samostatného písmena a ťažkosti pri identifikácii toho istého písmena pri jeho obklopení inými znakmi naznačuje, že crowding nie je len vedľajším produktom zníženej ostrosti zraku v periférii.

Priestorový rozsah crowding efektu sa v rôznych štúdiách líši. Ako už bolo v úvode kapitoly spomínané, záleží na to, aká technika je použitá (edge-to-edge alebo center-to-center). Napríklad Toet a Levi [27] určili priestorový rozsah crowdingu ako 0,5 násobok excentricity, použili metódu merania center-to-center. Levi a kolektív [28] použili

metódu edge-to-edge a udávajú hodnotu priestorového rozsahu crowdingu ako 0,1násobok excentricity. Priestorový rozsah crowdingu v periférii spadá do rozsahu 0,1-0,5násobku excentricity.

Vznik a veľkosť crowding efektu bol skúmaný aj pri rôznom kontraste a jase. V niektorých štúdiách je pri nízkom kontraste crowding efekt menej výrazný alebo sa vôbec neobjavuje ako pri vysokom kontraste. Takéto výsledky uvádzajú vo svojej štúdii napríklad Kothe a Regan [29]. Naopak zase štúdia Tripathyho a Cavanagha [30] uvádza, že boli pozorované silné účinky crowdingu aj pri nízkom kontraste. Rozdielne výsledky štúdií sú zapríčinené tým, že Tripathy a Cavanagha merali crowding v periférii a Kothe a Regan sa zamerali na foveolárne videnie.

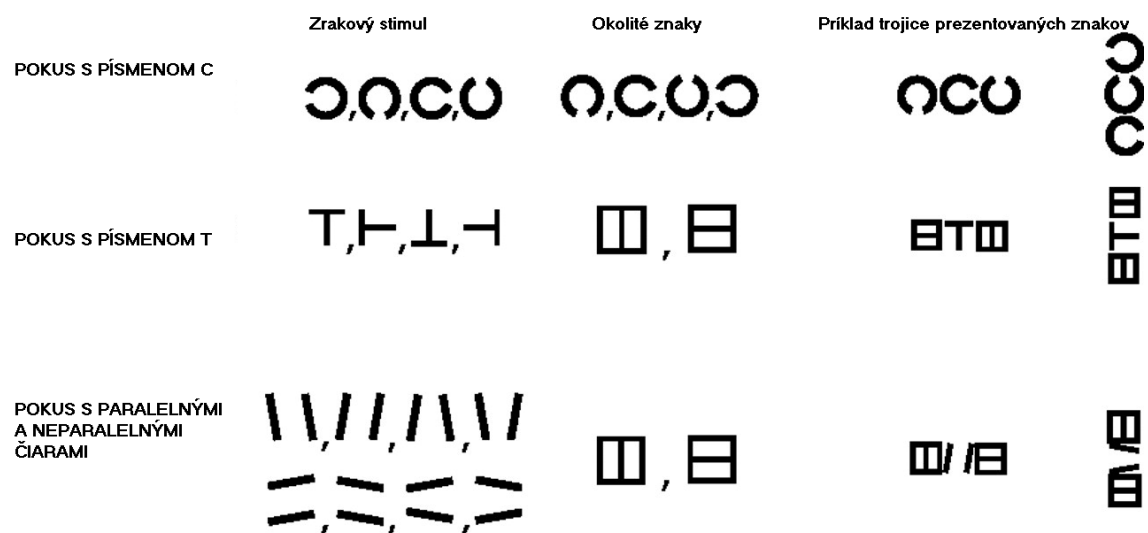
Mechanizmus crowding fenoménu nie je doteraz zistení. Existuje viacero teórií, ktoré sa ho snažia vysvetliť. Často sa spomínajú dve teórie, a to substitúcia (nahradenie) a pooling (spájanie). Substitúcia je jav, pri ktorom je namiesto centrálného znaku prečítaný znak okolitý. Tento jav môže mať pôvod v nepozornosti a náhodných drobných očných pohyboch, ktorých príčinou je, že sa oko zameria na okolitý znak a nie na centrálny. Pozorovaný znak je vždy obklopený znakmi, ktoré sú si podobné. Opäť vplyvom náhodných očných pohybov a ďalších efektov môže byť subjektívna odozva zrakového systému kombináciou centrálného znaku a okolitého znaku, ktorá je na základe podobnosti zrakovým systémom klasifikovaná ako jeden z množiny pozorovaných znakov. Tento jav je označovaný ako pooling alebo spájanie. Ďalším typom chýb sú zámeny vychádzajúce z podobnosti znakov. Niektoré znaky majú viac spoločných črt a preto sa môže stať, že fixovaný znak obklopený inými znakmi, je stále zamieňaný za jeden a ten istý znak, poprípade skupinu znakov a to s určitou pravdepodobnosťou. Táto chyba v rozpoznávaní sa vyskytuje i pri pozorovaní samostatných znakov a pri crowdingu sa môže kombinovať s predošlými javmi. [31]

3.1.1. Horizontálny a vertikálny crowding efekt v klinickej praxi

V dobe písania tejto diplomovej práce bola publikovaná len jedna štúdia, ktorá by sa zaoberala vertikálnym a horizontálnym crowdingom. Feng, Jiang a He [32] skúmali

crowding na troch typoch znakov, a to na písmene C, písmene T a na paralelných alebo neparalelných dvojiciach čiar. Výskumu sa zúčastnilo 8 ľudí pri použití písmena C a 6 ľudí pri použití písmena T a čiar.

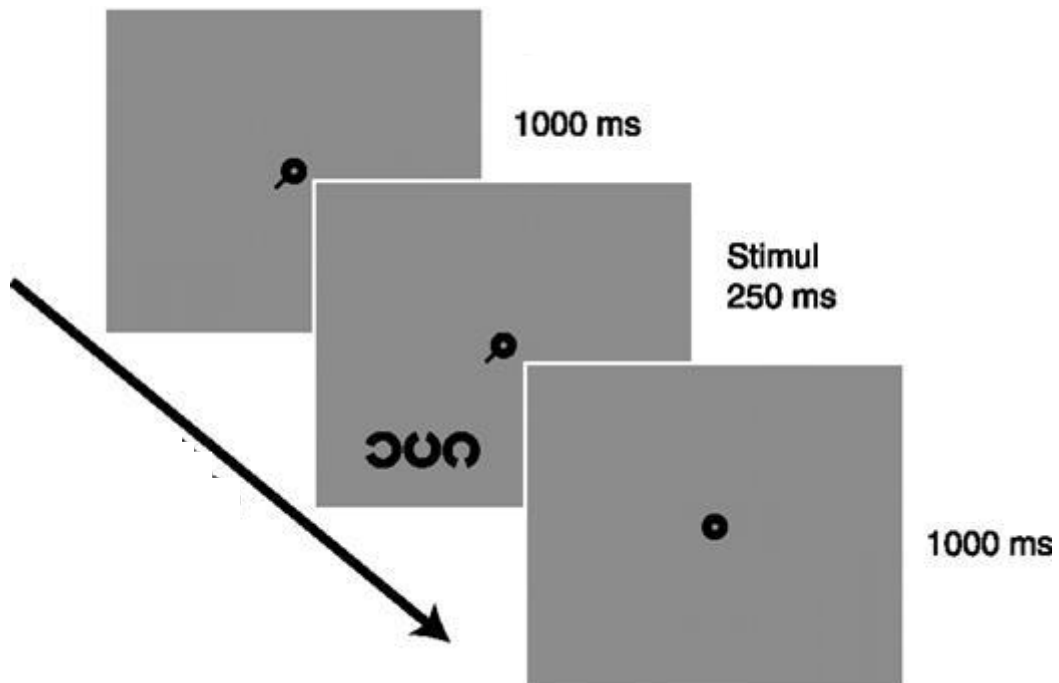
Prvý výskum bol s písmenom C, ktoré bolo orientované do jedného zo štyroch základných smerov. Ako okolité znaky použili ďalšie dve C, ktoré boli orientované buď vertikálne alebo horizontálne a orientácia medzery bola do jedného zo základných smerov (hore, dole, doľava, doprava). Každý z okolitých znakov mohol byť orientovaný rôzne (pozri obr. 8). V druhom experimente sa ako zrakový stimul použilo písmeno T, ktoré mohlo byť otočené taktiež do štyroch smerov. Jeho okolité znaky sú nazvané ako squared-theta (pozri obr. 8). V poslednom experimente sa používajú dvojice čiar, ktoré sú paralelné alebo neparalelné a sú obklopené rovnakými symbolmi ako pri písmene T (pozri obr. 8).



Obr. 8 Použité znaky v experimentoch, ich okolité znaky a príklad vertikálneho a horizontálneho usporiadania.

V priebehu trvania experimentu bol prezentovaný centrálny tmavý disk s dierkou, ktorý slúžil ako fixačný bod. Počas experimentu boli znaky usporiadané horizontálne alebo vertikálne a boli prezentované na jednotnom sivom pozadí. Probandi sedeli 50 cm od monitora a sledovali ho binokulárne. Trojica znakov bola prezentovaná v jednom zo

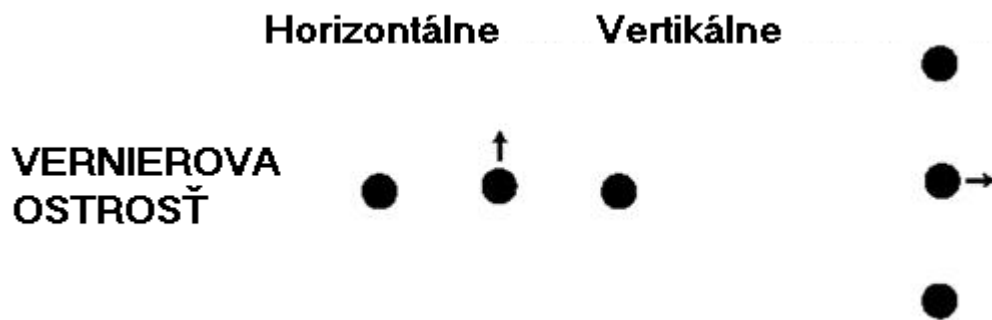
štyroch kvadrantov zorného poľa pri prvom experimente. Pri druhom a treťom experimente sa zobrazovali znaky v treťom a štvrtom kvadrante. Na začiatku experimentu bola pri fixačnom bode čiara, ktorá ukazovala na kvadrant, v ktorom bude prezentovaný podnet. Každý zo znakov bol prezentovaný 8-krát (4 kvadranty x 2 usporiadania). Samotné meranie nasledovalo tak, že bol ukázaný fixačný bod na sivom pozadí po dobu 1 000 ms, potom po dobu 250 ms boli prezentované znaky (pozri obr. 9). Pozorovatelia stlačili jedno zo štyroch smerových tlačidiel na označenie orientácie písmena C alebo T a pri sledovaní dvojice čiar stlačili jeden z dvoch klávesov na označenie paralelného alebo neparalelného postavenia čiar.



Obr. 9 Schematické znázornenie jedného merania.

Dáta boli spracované metódou ANOVA. Výsledky pre všetky tri experimenty preukázali, že podnety zoradené vertikálne boli rozlíšené lepšie než horizontálne. To znamená, že výraznejší crowding nastáva pri horizontálnej konfigurácii. Tento výsledok bol zhodný vo všetkých štyroch kvadrantoch zorného poľa.

Druhá časť tejto štúdie sa zamerala na Vernierovu zrkovú ostrosť, ktorá mala preskúmať, či tlmiaci efekt zistený v prvej časti je špecifický pre crowding alebo kvôli horizontálnej a vertikálnej asymetrii zrkovej ostrosti. Experimentu sa zúčastnilo 8 probandov, ktorí sledovali trojbodový test s rovnakým usporiadaním ako v prvej časti výskumu. Tri bodky boli usporiadané vertikálne alebo horizontálne. Centrálna bodka mohla byť voči ostatným dvom mierne posunutá, doľava alebo doprava pri vertikálnom usporiadaní a nahor alebo nadol pri horizontálnom usporiadaní (pozri obr. 10). Probandi zase stláčaním kláves na označenie smeru určili, kde bola centrálna bodka posunutá. V tomto experimente neboli nájdené žiadne významné rozdiely v priestorovom usporiadaní (vertikálne vs. horizontálne) a vizuálnom poli (štyri kvadranty). Hoci rozdiel medzi horizontálnymi a vertikálnymi meraniami nedosiahol štatistickú významnosť, zdá sa že Vernierova ostrosť bola o niečo lepšia pri horizontálnej ako pri vertikálnej konfigurácii.

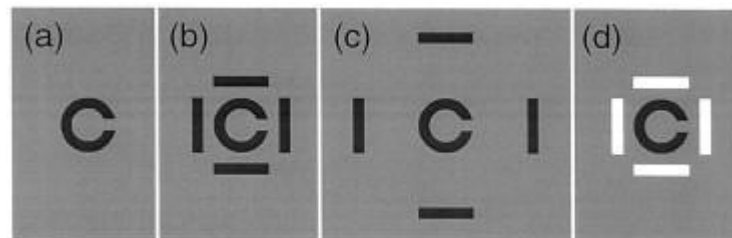


Obr. 10 Stimuly použité v druhej časti experimentu na Vernierovu ostrosť.

3.2. Kontúrová interakcia

Zníženie účinku crowding efektu je použitý na meranie zrkovej ostrosti optotyp s jedným izolovaným písmenom, ale aj vtedy meraná zrková ostrosť závisí od blízkosti okolitých okrajov alebo obrysov v okolí optotypu. Znak je obklopený inými kontúrami, ktoré zhoršia jeho čitateľnosť. Účinok týchto obrysov na meranú ostrosť sa nazýva kontúrová interakcia. Kontúrová interakcia je jav, ktorý spadá pod crowding efekt. [26, 31]

Podobne ako o crowding efekte, tak aj o kontúrovej interakcii vyšlo množstvo štúdií. Jednou z prvých bola práca Mertona C. Floma a kolektívu v roku 1963 [33]. Na svoju štúdiu použili optotyp s Landoltovými kruhmi v štyroch základných smeroch, ktoré boli obklopené štyrmi tangenciálnymi čiernymi kontúrami v rôznej vzdialenosti (separáciách) od znaku. Vzdialenosť bola meraná od hrany znaku po hranu kontúry. Takto obklopený Landoltov kruh je najjednoduchším znázornením kontúrovej interakcie (pozri obr. 11). Porovnávali vplyv kontúr na čitateľnosť znakov u amblyopických a zdravých očí. Čierne kontúry nemali na rozpoznanie Landoltovho C žiaden vplyv, keď boli veľmi vzdialené, degradácia rozpoznávania sa začala objavovať až keď bola separácia približne 2 až 4 uhlové minúty od Landoltovho C. Bolo zistené, že maximálna separácia kontúr, ktorá poskytuje interakciu, je úmerná *MAR*, prípadne dvojnásobku *MAR*. To bolo zistené pre zdravé oči, naopak u amblyopických očí nastal vplyv kontúrovej interakcie už pri 23 uhlových minútach. Zaujímavosťou bolo aj to, že keď boli kontúry už v tesnej blízkosti k Landoltovému C, čitateľnosť sa zlepšila ako pre zdravé oči, tak aj pre amblyopické oči. [26, 33]



Obr. 11 Znázornenie kontúrovej interakcie. [34]

Na kontúrovú interakciu má výraznejší vplyv aj kontrast. Simmers a kol. [35] vo svojej štúdiu zisťovali vplyv kontrastu na kontúrovú interakciu u normálnych a amblyopických očí. Zistili, že kontúrová interakcia je výraznejšia pri optotypoch s vyšším kontrastom. Pri použití optotypov s nízkym kontrastom nedochádza k takej výraznej interakcii. Naopak zase výsledky zo štúdie Siderova a kol. [36] naznačujú, že veľkosť a uhlový rozsah kontúrovej interakcie sú približne rovnaké pri optotypoch s vysokým a nízkym kontrastom. Rozsah interakcie pre Sloan letters s vysokým a nízkym kontrastom zostáva

medzi 3' až 5' napriek rozdielu 0,4 logMAR vo veľkosti sledovaných znakov pri vysokom a nízkom kontraste. Dôvodom pre takto rozdielne výsledky medzi týmito štúdiami je, že predchádzajúci autori prezentovali optotypy s vysokým a nízkym kontrastom s rovnako proporcionálnym rozstupom medzi sledovaným znakom a jeho okolím. Siderov a kol. [37] okrem kontrastu skúmali v druhej štúdii aj vplyv jasú na kontúrovú interakciu. Bolo zistené, že rozsah foveolárnej kontúrovej interakcie je konštantný pre znaky s rôznym jasom a veľkosť kontúrovej interakcie sa systematicky znižuje s klesajúcim jasom.

Tak ako už bolo spomenuté, kontúrová interakcie je v periférii a v centre sietnice rozdielna. Averbach a Coriell [38] prezentovali subjektom dva riadky, v ktorých bolo zhodne po osem písmen s rovnakou veľkosťou. Jednotlivé písmená boli od seba vzdialené na veľkosť práve jedného z nich. Proband fixoval na stred riadku. Samostatne prezentované písmená boli všetky prečítané so 100 % pravdepodobnosťou. Pri prezentácii celého riadku čitateľnosť znakov klesala. Písmená v strede riadku, kde proband fixoval, boli prečítané najlepšie, znaky v periférii boli identifikované horšie. Posledná písmená v riadkoch boli prečítané lepšie. Výsledky ukazujú na jasný pokles čitateľnosti znakov v oblasti periférie pri pevnej fixácii a pri zložitejšom zobrazení.

3.3. Teórie vzniku crowding efektu a kontúrovej interakcie

V kapitole 3.1. o crowding efekte je spomínaný pri výskume Floma z roku 1991 [26] nervový základ vzniku crowdingu. Crowding teda vzniká po spojení signálov z oboch očí. V kapitole 3.1. je spomenutá aj teória spájania a substitúcie.

Naopak zase Hess a kol. [39] sa prikláňajú k fyzikálnemu vysvetleniu kontúrovej interakcie (fyzika stimulu). Podľa tejto štúdie za znížením zrakového výkonu stojí interferencia testovanej značky a jej kontúr. Energia kmitočtového pásma, ktorá je zodpovedná za vnímanie znakov, sa zvýši na vyššie priestorové frekvencie, na ktoré už fovea nie je taká citlivá. Za prítomnosti kontúr je kritická priestorová frekvencia pre rozlíšenie znakov posunutá do vyšších frekvencií, ktoré sú rozlišovacím limitom

zrakového systému. Toto fyzikálne vysvetlenie platí čiastočne pre crowding vo fovey, ale nie pre periférny crowding.

Ďalším možným vysvetlením crowdingu a zároveň aj kontúrovej interakcie (keďže je súčasťou crowdingu) je teória receptívnych polí. Dochádza k prekrytiu testovaného znaku aj okolitých znakov, pretože všetky spadajú do rovnakého receptívneho poľa. Rozsah priestorovej interakcie závisí na veľkosti tohto receptívneho poľa, ktoré je najcitlivejšie na testovaný znak. Zraková ostrosť v periférii klesá, čo by mohlo súvisieť s rozsiahlejšími receptívnymi poľami v periférii a to by vysvetlilo aj väčší rozsah periférneho crowdingu. V receptívnych poliach dochádza k inhibícii. Pokiaľ podnet dopadne do periférie receptívneho poľa, inhibuje sa centrálna časť (OFF-centre receptívne pole) a zhorší sa tak rozlíšiteľnosť centrálného znaku. [20]

4. Experimentálna štúdia vplyvu štruktúry optotypov na meranie zrakovéj ostrosti

Cieľom praktickej časti diplomovej práce bolo meranie zrakovéj ostrosti za použitia sady optotypov, ktoré mali horizontálne a vertikálne usporiadanie znakov. Jednotlivé optotypy sa odlišovali okrem usporiadania aj vzájomnou vzdialenosťou znakov, kde pri bližšom usporiadaní znakov dochádzalo k vzniku crowding fenoménu, ktorý ovplyvnil meranú zrakovú ostrosť. Pri klinickom testovaní zrakovéj ostrosti sú obvyčajne používané optotypy usporiadané do riadkov. Toto usporiadanie korešponduje so zvyklosťou čítať horizontálny text. Na základe publikácie Freemana [40] očakávame, že zraková ostrosť meraná na horizontálnych optotypoch bude lepšia ako na vertikálnych. S prihliadnutím na výsledky [32] sa dá očakávať, že zraková ostrosť sa bude zmenou separácie meniť inak pri vertikálnom a horizontálnom usporiadaní.

4.1. Štatistický súbor a metodika

4.1.1. Probandi

Štúdie sa zúčastnilo tridsať figurantov (28 žien a 2 muži) vo veku od 20 do 27 rokov, všetko študenti Univerzity Palackého v Olomouci. Požiadavky na figurantov boli len dve, a to zraková ostrosť (s korekciou alebo bez) aspoň 0,0 logMAR (6/6) a oči bez očných patológií alebo stavov, ktoré ovplyvňujú kvalitu videnia. Každý proband bol poučený o priebehu merania a podpísal informovaný súhlas o účasti na výskume.

4.1.2. Metodika

Meranie prebiehalo v laboratóriu na katedre optiky Přírodovědeckej fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Ako už bolo spomenuté vyššie, každý figurant bol poučený

o priebehu merania a bol zoznamovaný s optotypmi. Každé meranie prebiehalo za tých istých podmienok, optotyp bol vzdialený od figuranta 6 metrov a boli dodržané tie isté svetelné podmienky – zatemnené okná a rozsvietené všetky svetlá v miestnosti. Tieto podmienky zodpovedali bežným zrakovým podmienkam. Figurant bol fixovaný v opierke a optotyp čítal pravým okom, pričom ľavé oko bolo zakryté tak, aby sa s ním nedalo nič čítať.

Použité optotypy

Pri meraní sa používalo 12 tlačných optotypov (čierny znaky na bielom pozadí) s horizontálnym usporiadaním a 12 s vertikálnym usporiadaním znakov. Jas pozadia bol 181 cd/m^2 . Weberov kontrast znakov definovaný ako $(L_1 - L_2)/L_2$, kde L_1 je jas znaku a L_2 je jas pozadia, bol – 93 % (záporné znamienko značí, že jas znakov bol menší ako jas pozadia). Optotypy obsahovali Sloanove písmená (pozri podkapitola 2.1.1.), na každom riadku alebo v každom stĺpci bolo 5 písmen. Týchto 12 optotypov bolo ešte rozdelených do 3 skupín podľa rozstupu písmen, a to rozstup 1,0 t.j. na šírku písmena, $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ zo šírky písmena. Používané boli logMAR optotypy a veľkosť znakov sa menila geometrickým radom, vždy o 0,1 logMAR. Najväčšie písmená mali hodnotu 1 logMAR (6/60) a najmenšie písmená -0,3 logMAR (6/3). Celkom optotyp obsahoval 14 riadkov pri horizontálnom alebo 14 stĺpcov pri vertikálnom usporiadaní. Príklad použitých optotypov je na obr. 12.



Obr. 12 Príklad použitých horizontálnych a vertikálnych optotypov pri separácii 0,5.

Postup merania

Samotné meranie začínalo na skúšobných optotypoch, kde sa overila zrková ostrosť na 6 metrov, použil sa jeden horizontálny a jeden vertikálny optotyp s rozstupom 1,0. Tieto optotypy sa už pri ďalšom meraní u daného figuranta nepoužívali. Každému figurantovi bolo náhodne vybraných 6 optotypov na jedno meranie, z toho 3 optotypy boli horizontálne a 3 vertikálne a bol zastúpený každý z rozstupov písmen. Pri samotnom meraní boli figurantovi prezentované optotypy v náhodnom poradí.

Figurant čítal znaky zľava doprava pri horizontálnych optotypoch a zhora nadol pri vertikálnych optotypoch. Písmena sa čítali za sebou tak, ako nasledujú na optotype. Ak mal figurant problém dané písmeno prečítať, tak bol vyzvaný, aby hádal, o ktorý znak ide. Štartovacia pozícia na čítanie znakov bola 0,3 logMAR pre rozstup 1,0, pri rozstupe $\frac{3}{4}$ to bolo 0,4 logMAR a pre rozstup $\frac{1}{2}$ to bolo 0,5 logMAR alebo viac (dôležité bolo, aby prvý riadok alebo stĺpec, ktorý sa čítal, bol prečítaný správne). Pokiaľ figurant urobil 3 alebo menej chýb v riadku alebo stĺpci, pokračoval v čítaní menších písmen

v nasledujúcom riadku alebo stĺpci. Ak už urobil 4 chyby alebo 5, teda neprečítal správne ani jeden znak, tak sa meranie zastavilo. Vždy sa čítal celý riadok, aj keď figurant urobil chyby hneď v prvých štyroch písmenách, musel dočítať aj to posledné piate písmeno.

Pre každý tlačенý optotyp sa vytvorila tabuľka v programe Microsoft Excel, v ktorej boli prepísané znaky z optotypu. Následne sa tieto tabuľky vytlačili a výsledky meraní boli do nich zaznamenávané.

Pre stanovenie opakovateľnosti bolo celé vyššie popísané meranie u každého probanda zopakované znovu v iný deň. Optotypy, ktoré už proband videl a čítal z nich pri prvom meraní, boli vylúčené a bolo mu vybraných iných 6 optotypov.

Stanovenie zrakovej ostrosti

U každého figuranta sa následne vyhodnotila zrková ostrosť pre každý optotyp zvlášť. Konečná zrková ostrosť vo forme $\log MAR$ bola stanovená použitím interpolačnej metódy a letter-by-letter metódy (pozri podkapitola 2.4.4.). Každé správne prečítané písmeno na každom riadku má hodnotu 0,02 $\log MAR$, ktorá bola pripočítaná k výslednému vízu za každé ďalšie prečítané písmeno. Uvažované boli len riadky, na ktorých prečítal aspoň tri znaky a riadok nasledujúci (o 0,1 $\log MAR$ menší).

4.1.3. Štatistické spracovanie

Priemerné hodnoty a smerodajné odchýlky meraných dát boli spracované v programe MS Excel. Pre priemerné hodnoty boli stanovené ich štandardné chyby (určené ako podiel smerodajnej odchýlky dát a odmocniny z počtu meraní).

Porovnanie optotypov

Rozdiely medzi jednotlivými podmienkami boli hodnotené metódou ANOVA pre opakované meranie (program STATISTICA 12) na hladine významnosti 5 %. V texte

sú tiež uvádzané medzné hodnoty hladiny významnosti p , pri ktorých by bola rovnosť práve zamietnutá.

Opakovateľnosť

Hodnoty z prvého a druhého merania sa najprv porovnali párovým t-testom na hladine významnosti 5 %. Vyhodnotenie bolo pre všetky separácie a typy optotypov. Opakovateľnosť bola ďalej analyzovaná Bland-Altmanovou metódou, ktorá vyhodnocuje závislosť rozdielu dvoch po sebe idúcich meraní od ich aritmetického priemeru. Pre každého probanda a každú podmienku (napríklad horizontálny optotyp so separáciou 1) sa vypočítal priemer a rozdiel. Spočítal sa priemerný rozdiel, smerodajná odchýlka (SD) a koeficient opakovateľnosti CoR ($1,96 \times SD$) pre všetkých probandov a danú podmienku. Vlastná opakovateľnosť sa vyhodnocovala na základe veľkosti 95 % konfidenčného intervalu (interval, v ktorom sa nachádza 95 % všetkých sledovaných rozdielových hodnôt), medze intervalu boli stanovené ako priemerná hodnota rozdielu $\pm 1,96 \times SD$. Z výsledkov sa vykreslil graf závislosti rozdielu od priemeru, zaznamenal sa aj priemerný rozdiel a 95 % konfidenčný interval (priemerný rozdiel \pm CoR).

4.2. Výsledky

4.2.1. Vplyv orientácie optotypov a ich separácie na zmeranú zrakovú ostrosť

Z nameraných výsledných vízov bola vypočítaná priemerná hodnota. Výsledky pre prvé a druhé meranie sú vedené v tabuľkách 3 - 6, graficky sú znázornené na obr. 13. Rozdiely $\log MAR$ zistené na oboch typoch optotypoch pri zhodnej separácii znakov uvádza tabuľka 7.

Prvé merenie [logMAR]	H	Rozstup 1,0	Rozstup $\frac{3}{4}$	Rozstup $\frac{1}{2}$
	priemer	-0,144	-0,121	-0,096
	smerodajná odchýlka	0,064	0,063	0,069
	štandardná chyba priemeru	0,012	0,011	0,013

Tab. 3 Priemerné hodnoty, smerodajné odchýlky dát a štandardné chyby priemeru nameranej zrakovej ostrosti vo forme logMAR pre prvé meranie na horizontálne usporiadaných optotypoch.

Prvé merenie [logMAR]	V	Rozstup 1,0	Rozstup $\frac{3}{4}$	Rozstup $\frac{1}{2}$
	priemer	-0,11	-0,09	-0,057
	smerodajná odchýlka	0,072	0,068	0,080
	štandardná chyba priemeru	0,013	0,012	0,015

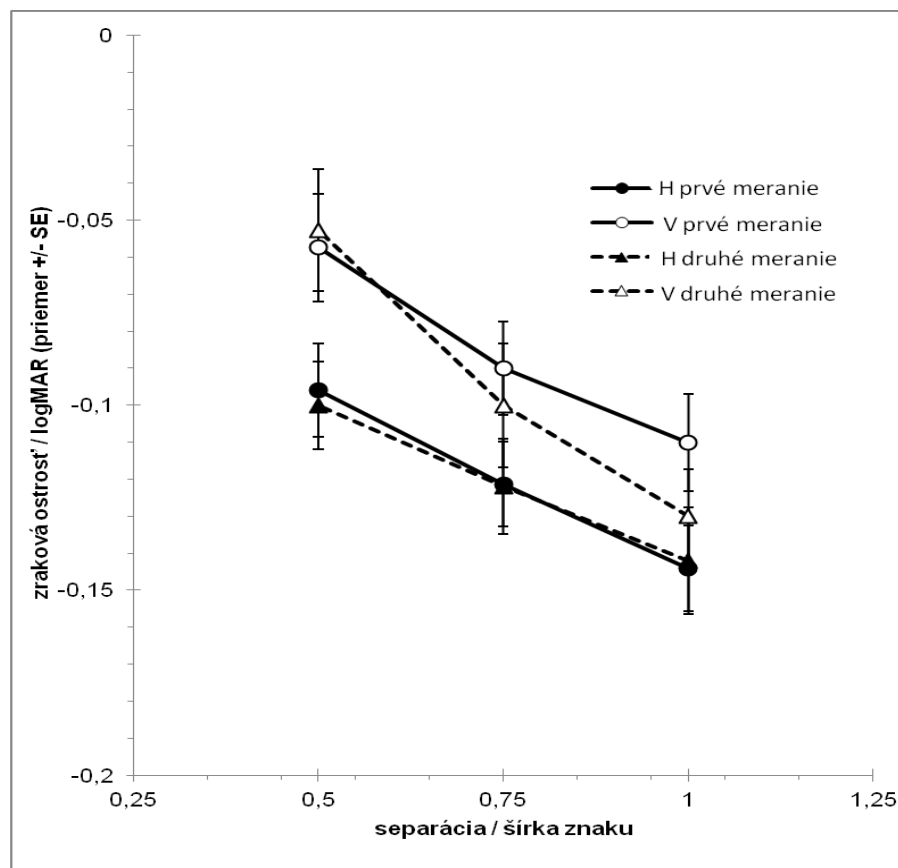
Tab. 4 Priemerné hodnoty, smerodajné odchýlky dát a štandardné chyby priemeru nameranej zrakovej ostrosti vo forme logMAR pre prvé meranie na vertikálne usporiadaných optotypoch.

Druhé merenie [logMAR]	H	Rozstup 1,0	Rozstup $\frac{3}{4}$	Rozstup $\frac{1}{2}$
	priemer	-0,142	-0,122	-0,1
	smerodajná odchýlka	0,078	0,071	0,065
	štandardná chyba priemeru	0,014	0,013	0,012

Tab. 5 Priemerné hodnoty, smerodajné odchýlky dát a štandardné chyby priemeru nameranej zrakovej ostrosti vo forme logMAR pre druhé meranie na horizontálne usporiadaných optotypoch.

Druhé meranie [logMAR]	V	Rozstup 1,0	Rozstup $\frac{3}{4}$	Rozstup $\frac{1}{2}$
	priemer	-0,13	-0,1	-0,053
	smerodajná odchýlka	0,070	0,091	0,090
	štandardná chyba priemeru	0,013	0,017	0,017

Tab. 6 Priemerné hodnoty, smerodajné odchýlky dát a štandardné chyby priemeru nameranej zrakovej ostrosti vo forme logMAR pre druhé meranie na vertikálne usporiadaných optotypoch.



Obr. 13 Závislosť priemernej zrakovej ostrosti v logMAR na separácii znakov pre prvé (kolieska) a druhé (trojuholníky) merania v prípade horizontálnej (čierne znaky) a vertikálnej (biele znaky) orientácie optotypov. Veľkosť úsečiek odpovedá dvojnásobku štandardnej chyby priemernej hodnoty.

	Prvé meranie			Druhé meranie		
	Separácia 1	Separácia $\frac{3}{4}$	Separácia $\frac{1}{2}$	Separácia 1	Separácia $\frac{3}{4}$	Separácia $\frac{1}{2}$
Priemer z rozdielu medzi H a V optotypom	-0,034	-0,031	-0,039	0,012	0,022	0,047
Smerodajná odchýlka	0,050	0,044	0,063	0,050	0,054	0,064

Tab. 7 Priemerné rozdiely logMAR zistené na oboch typoch optotypov pri zhodnej separácii znakov.

Z obrázku 13 a tabuliek 3 – 6 a 7 je zjavné, že zraková ostrosť pre vertikálne optotypy bola v priemere (cez všetky separácie a obe merania) o 0,04 logMAR horšia ako u horizontálnych optotypov. Ako pre vertikálne, tak i pre horizontálne optotypy sa s klesajúcou vzdialenosťou zraková ostrosť zhoršovala. Toto zhoršenie (nárast logMAR) sa javí u oboch typov optotypov pre prvé meranie približne rovnaké, druhé meranie vykazuje mierne strmší priebeh závislosti zmeny logMAR na separácii u vertikálne orientovaných znakov. Medzi vertikálnymi a horizontálnymi znakmi je v druhom meraní menší rozdiel v logMAR pri separácii 1, s rastúcou separáciou potom mierne rastie. Vo všetkých prípadoch sa zdá byť závislosť logMAR od separácie približne lineárna.

Prevedená analýza metódou ANOVA pre opakované meranie preukázala (podľa očakávania) štatisticky významný vplyv separácie ($p = 5,1 \times 10^{-10}$ pre prvé meranie a $p = 2,5 \times 10^{-11}$ pre druhé meranie). Ďalej bol potvrdený rozdiel medzi vertikálnymi a horizontálnymi optotypmi ($p = 2,4 \times 10^{-5}$ a $5,0 \times 10^{-4}$). Prvé meranie nevykazovalo rozdielny vplyv separácie na zrakovú ostrosť pri odlišnej orientácii optotypov ($p = 0,82$). U druhého merania bol zistený štatisticky významne odlišný vplyv separácie na vertikálnu a horizontálnu separáciu ($p = 0,028$).

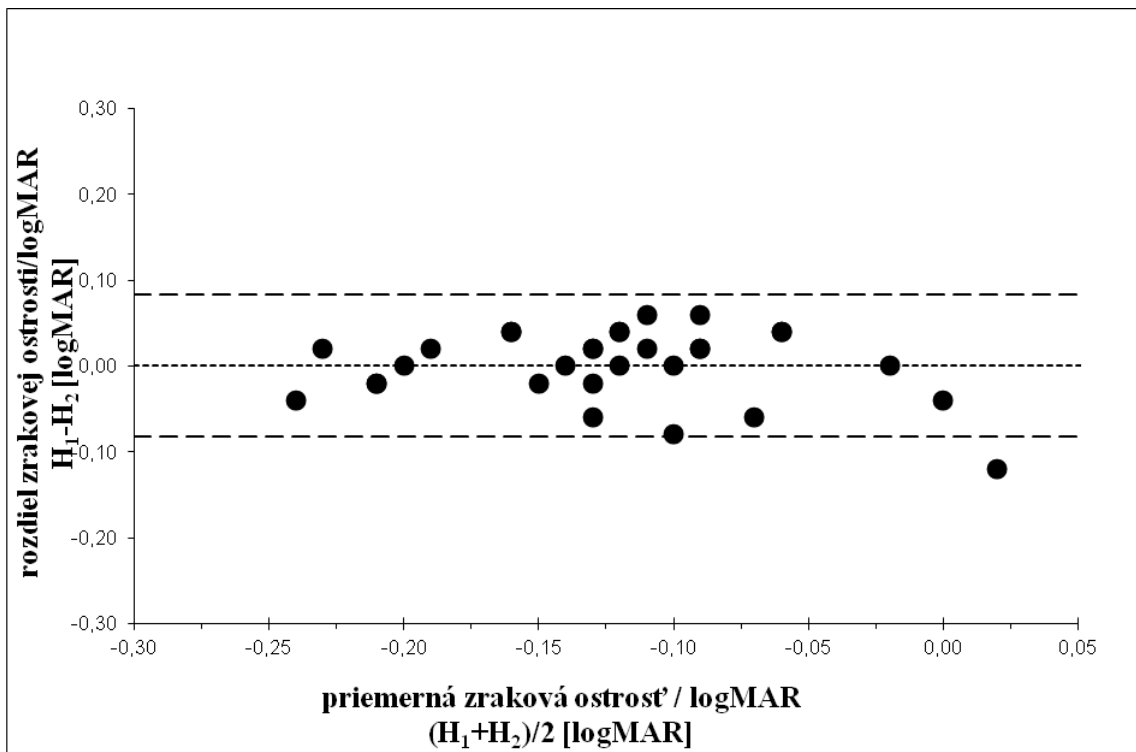
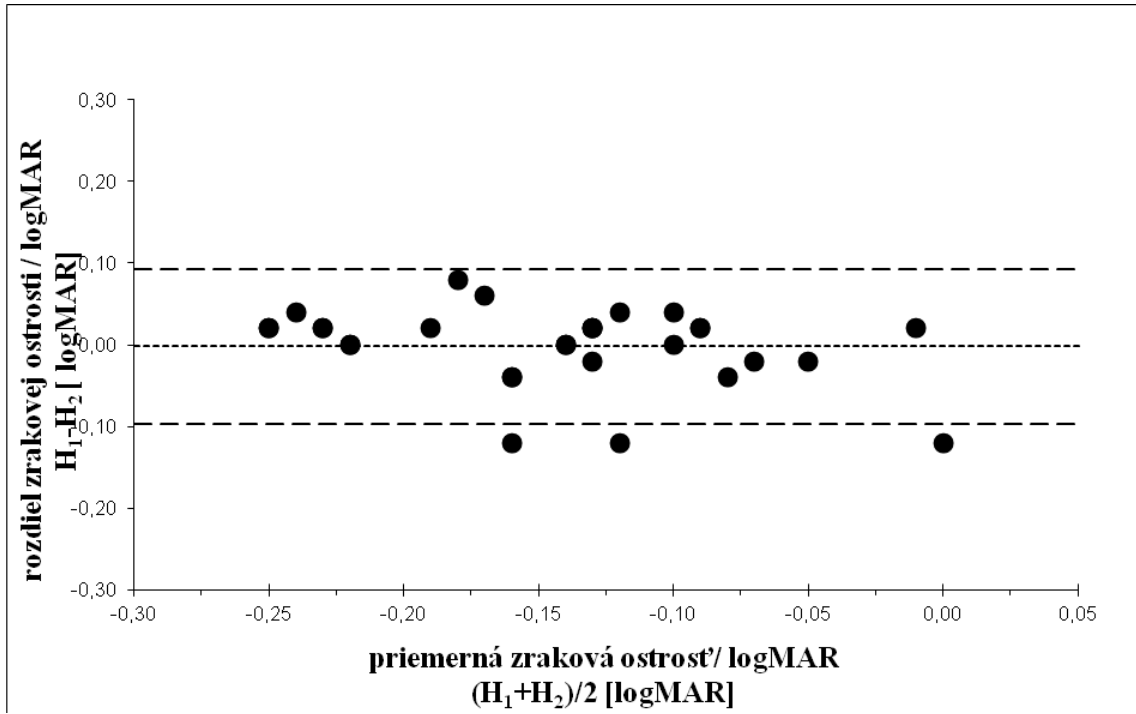
4.2.2. Opakovateľnosť merania v závislosti na orientácii optotypov a separácii znakov

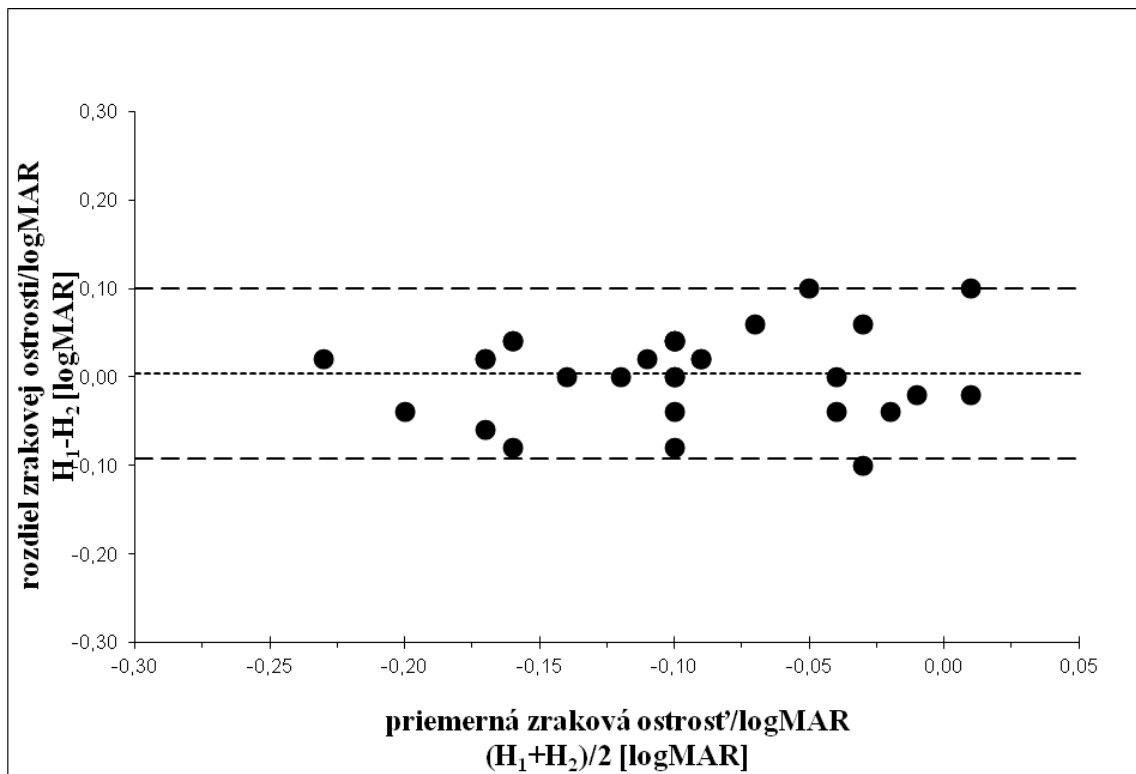
Priemerné hodnoty rozdielu zrakovej ostrosti v logMAR medzi prvým a druhým meraním sú vrátane príslušných smerodajných odchýlok a odpovedajúcich koeficientov opakovateľnosti uvedené v tabuľke 8 pre jednotlivé separácie a obe orientácie optotypov.

	Horizontálne usporiadanie optotypov			Vertikálne usporiadanie optotypov		
	Separácia 1	Separácia $\frac{3}{4}$	Separácia $\frac{1}{2}$	Separácia 1	Separácia $\frac{3}{4}$	Separácia $\frac{1}{2}$
Priemer z rozdielu zrakovej ostrosti medzi 1. a 2. meraním	-0,002	0,001	0,004	0,020	0,010	-0,005
Smerodajná odchýlka	0,049	0,043	0,049	0,051	0,067	0,097
Koeficient opakovateľnosti CoR	0,095	0,083	0,097	0,100	0,131	0,190

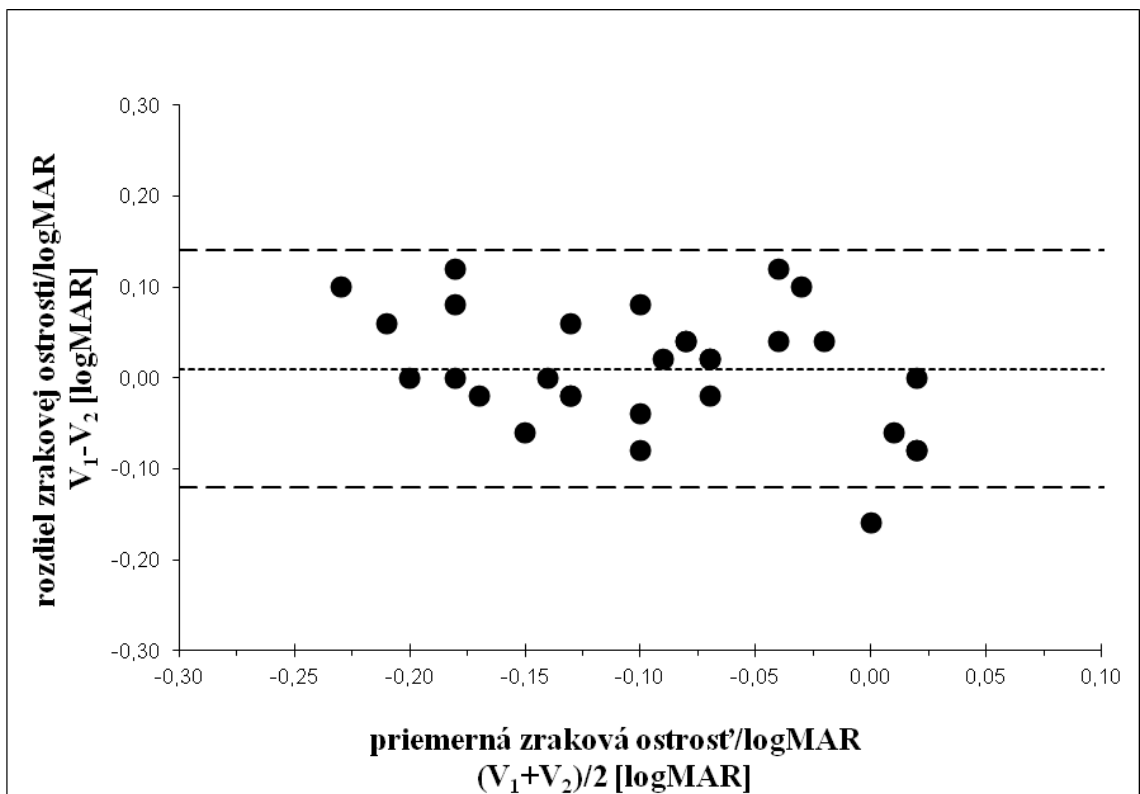
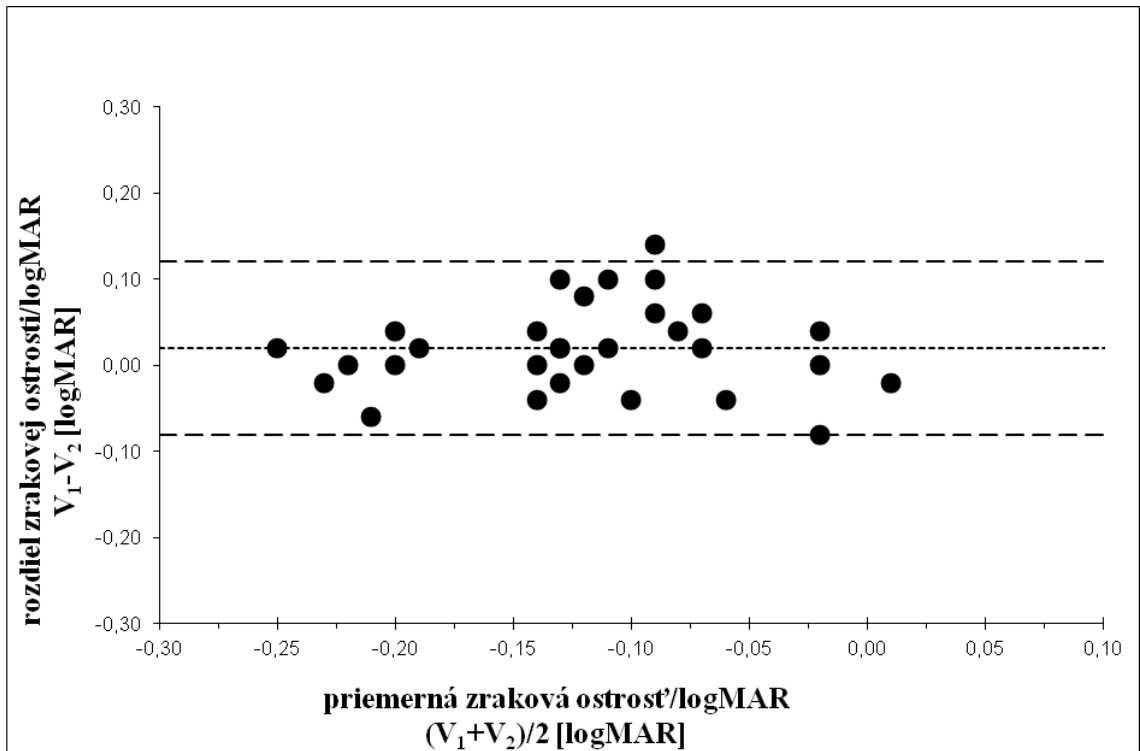
Tab. 8 Súhrn výsledkov Bland-Altmanovej analýzy.

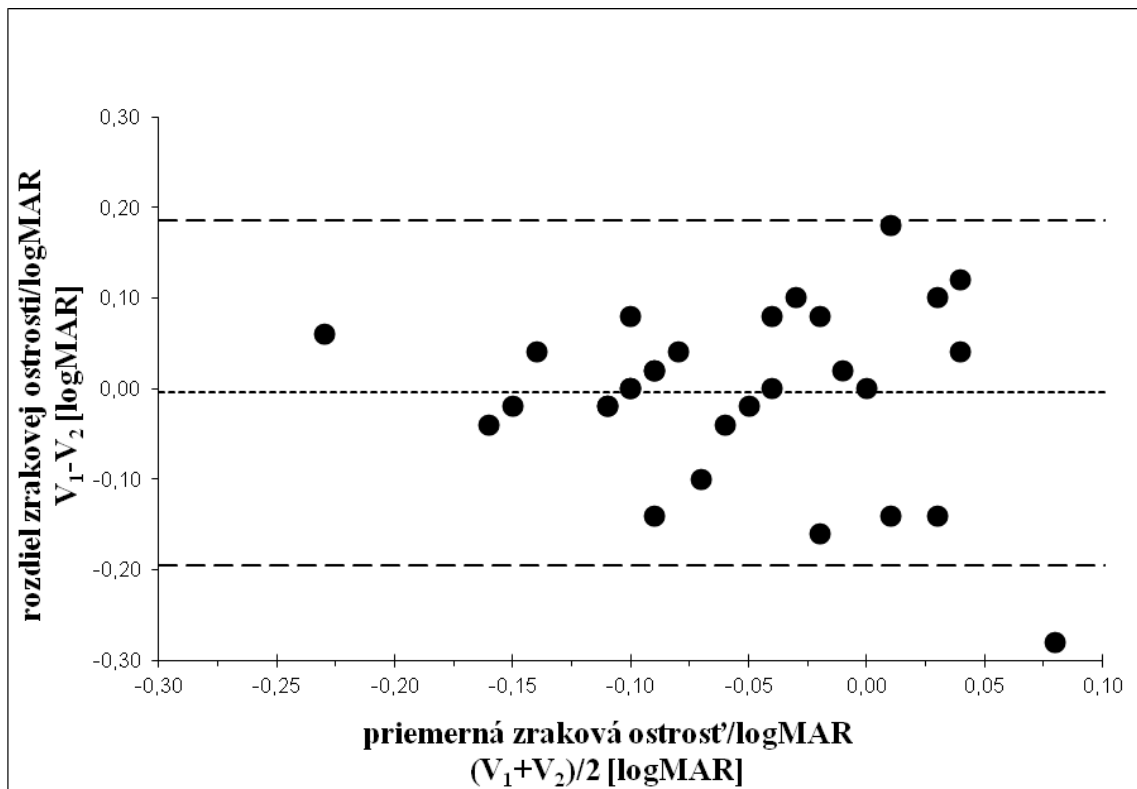
Hodnoty z prvého a druhého merania sa medzi sebou štatisticky významne nelíšia (párový t-test, vždy $p > 0,41$), okrem pomerne tesne signifikantného rozdielu pre vertikálnu orientáciu optotypov pri separácii 1 ($p = 0,041$), ktorý je však v priemere na úrovni jedného znaku (t.j. 0,02 logMAR). Grafické výstupy z Bland-Altmanovej analýzy sú zobrazené na obr. 14 pre horizontálnu a na obr. 15 pre vertikálnu orientáciu optotypov.





Obr. 14 Bland-Altmanov graf pre opakovateľnosť meraní pri rôznych separáciách horizontálneho optotypu. Kolieska reprezentujú rozdiely v zrakovéj ostrości medzi prvým a druhým meraním vynesené v závislosti od priemeru oboch meraní jednotlivých probandov; bodkovaná čiara predstavuje priemerný rozdiel všetkých probandov, čiarkované línie vymedzujú 95 % konfidenčný interval. Veličiny H_1 a H_2 predstavujú horizontálnu zrakovú ostrosť v prvom a druhom meraní.





Obr. 15 Bland-Altmanov graf pre opakovateľnosť meraní pri rôznych separáciách vertikálneho optotypu. Kolieska reprezentujú rozdiely v zrakovej ostrosti medzi prvým a druhým meraním vynesené v závislosti od priemeru oboch meraní jednotlivých probandov; bodkovaná čiara predstavuje priemerný rozdiel všetkých probandov, čiarkované línie vymedzujú 95 % konfidenčný interval. Veličiny V_1 a V_2 predstavujú vertikálnu zrakovú ostrosť v prvom a druhom meraní.

Z veľkosti CoR a z porovnania konfidenčných intervalov na obr. 14 a 15 vyplýva, že opakovateľnosť pre horizontálnu orientáciu optotypov sa s klesajúcou separáciou znakov výrazne nemení, t.j. crowding má na opakovateľnosť zanedbateľný vplyv, priemerná veľkosť CoR odpovedá približne rozdielu logMAR jedného riadku (0,09 logMAR). V prípade vertikálnej orientácie sa dá pozorovať zhoršenie opakovateľnosti (nárast CoR) s klesajúcou separáciou, pričom sa CoR zväčší medzi najmenšou a najväčšou separáciou takmer dvojnásobne. Opakovateľnosť u vertikálnych optotypov je v prípade separácie 1 zrovnateľná s horizontálnymi optotypmi, u ďalších separácií je už horšia (t.j. CoR resp. rozsah konfidenčných intervalov je v grafoch väčší).

4.3. Diskusia

Získané výsledky ukazujú, že zrková ostrosť pri vertikálnych optotypoch bola pri všetkých separáciách horšia ako pri horizontálnych optotypoch (priemerne o 0,04 logMAR). Rozdiel je štatisticky významný, ale klinická významnosť je v priemere zanedbateľná, pretože pre jednotlivé podmienky sa pohybuje maximálne okolo hodnoty logMAR odpovedajúcej približne dvom znakom. Tieto výsledky sú v zhode so štúdiou Freemana [40], ktorá uvádza taktiež rozdiel pri meraní na vertikálnych a horizontálnych optotypoch. Výsledky tejto štúdie naznačujú, že merania zraku na horizontálnych optotypoch, ktoré obsahujú písmená, súvisí s čítacími vzormi naučenými v detstve, pretože u detí nebol zistený žiaden rozdiel v zrakovej ostrosti pri použití horizontálnych a vertikálnych optotypov.

Podľa predpokladu bol v oboch situáciách dokázaný štatisticky významný crowding efekt (pokles zrakovej ostrosti so separáciou). Pritom pri prvom meraní separácia pri vertikálnom a horizontálnom optotype nemala rozdielny vplyv. Naopak pri opakovanom (druhom) meraní bol zistený signifikantne odlišný vplyv separácie pri vertikálnom a horizontálnom optotype. Je možné, že výsledky z druhého merania vertikálne orientovaných znakov boli mierne ovplyvnené učebným efektom, kde sa proband na základe skúsenosti z predchádzajúceho merania naučil lepšie pracovať s takto orientovanými znakmi. U horizontálnych znakov sa tento efekt neprejavil, pretože čítanie horizontálneho textu je štandardná úloha. Učebný efekt sa výraznejšie prejavil u väčších separácií. Z toho sa dá usudzovať, že crowding môže mať vplyv na zmienený učebný efekt (pri vyššom crowdingu je menej efektívny). Je potrebné zdôrazniť, že v priemere zvažovaný učebný efekt predstavuje len dva znaky, takže z klinického hľadiska je zanedbateľný.

V štúdiu Feng, Jiang a He [32] bolo uverejnené, že pri vertikálnom usporiadaní bol účinok crowdingu menší ako pri horizontálnom usporiadaní. Autori štúdie uvádzajú, že možnou príčinou horších výsledkov pre horizontálne usporiadanie je to, že všetci probandi sú zvyknutí čítať vodorovne. Tým pádom je možné, že tri sledované znaky v ich štúdiu sa usporiadajú do jednej jednotky (do jedného trojslabičného slova), čo sa

pri vertikálnom usporiadaní nestane. V dôsledku toho existuje silnejšia integrácia v horizontálnom smere ako vertikálnom. Pri druhom experimente s Vernierovou zrkovou ostrosťou bolo dokázané, že zrková ostrosť pri horizontálnom a vertikálnom usporiadaní nebola veľmi štatisticky odlišná. Mierne lepšie výsledky dosiahlo horizontálne usporiadanie, čo by sa zhodovalo s našimi výsledkami. Na záver štúdie uviedli autori zaujímavú myšlienku o ich zistení o silnejšom crowdingu v horizontálnej konfigurácii. Ľuďom, ktorí používajú periférne videnie na čítanie kvôli poruche v centre (pacienti s makulárnou degeneráciou), by mohlo byť efektívnejšie prezentovať text vertikálne.

Významný rozdiel medzi našou štúdiou [32] je v inom usporiadaní, pričom v našej práci je klinicky relevantnejšie usporiadanie optotypov. Oproti [32] je v našej práci konkrétne sledovaný znak obklopený znakmi z každej strany (a to ako pri vertikálnom, tak pri horizontálnom usporiadaní), čo má za následok celkové zvýšenie crowdingu. Ďalej v publikácii [32] má proband na výber zo štyroch odpovedí na správnu identifikáciu, čo je pravdepodobnosť $1/4$, že môže uhádnuť správnu odpoveď. V našej štúdii sa používa 10 Sloan letters, čo je pravdepodobnosť $1/10$, že uhádne správny znak. Takýto rozdiel v použitých znakoch taktiež vplýva na výsledné hodnoty.

Opakovateľnosť u horizontálnych optotypov je lepšia, CoR sa pohybuje do rozdielu jedného riadku ($0,09 \log MAR$), z čoho vyplýva, že crowding má na opakovateľnosť zanedbateľný vplyv. Pri vertikálnom optotype je to obdobné pri separácii 1, ale u ostatných separácií dosahuje rozdiel až dvoch riadkov. Je tu zreteľný vplyv crowdingu na opakovateľnosť meraní u vertikálnych optotypov. Ak tieto výsledky porovnáme so štúdiami v podkapitole 2.5., ktorá sa venuje opakovateľnosti meraní, tak sme dosiahli pri horizontálnom optotype porovnateľné výsledky. Veselý a Synek [16] majú pri použití optotypu ETDRS CoR $0,08 \log MAR$, v štúdiách [17, 18] na ETDRS optotype bol CoR $\pm 0,14$ a $\pm 0,04 \log MAR$. Arditi a kol. [41] zistili, že klinicky významný test by pri opakovanom použití nemal vykazovať hodnoty vyššie ako $\pm 0,1 \log MAR$ (jeden riadok). Testy pre vyšetrenie zrakovej ostrosti, pri ktorých sú namerané hodnoty CoR vyššie sú klinicky menej spoľahlivé. Pri vertikálnych optotypoch boli hodnoty CoR rovné alebo vyššie ako $0,1 \log MAR$.

Napriek tomu, že priemerný rozdiel v zrakovej ostrosti je minimálny, vertikálne optotypy vykazujú zreteľne horšiu opakovateľnosť pri nižších separáciách. Zatiaľ čo crowding u horizontálnych optotypov zhoršuje len zrakovú ostrosť, u vertikálnych znižuje aj opakovateľnosť.

Záver

Teoretická časť tejto diplomovej práce zhrnula dosiaľ vypracované a uverejnené štúdie, ktoré sa venujú problematike optotypov, opakovateľnosti, crowding fenoménu a kontúrovej interakcii. Teoretická časť sa venovala zrakovej ostrosti, meraniu zrakovej ostrosti, možnostiam zápisu zrakovej ostrosti a podrobne popisovala konštrukciu optotypov, znaky používané na optotypochoch a opakovateľnosť meraní. Podstatná časť je venovaná crowdingu a kontúrovej interakcii, ktoré vznikajú v každodennom živote, ale taktiež pri meraní zrakovej ostrosti pri nevhodne konštruovaných optotypochoch.

Praktická časť sledovala vplyv vertikálneho a horizontálneho usporiadania optotypových znakov na zmeranú zrkovú ostrosť v kombinácii s rôznou separáciou. Výsledky experimentu potvrdili vplyv usporiadania znakov na optotypochoch na meranie zrakovej ostrosti. Na horizontálne usporiadaných optotypochoch bola v zhode s literatúrou [40] zrková ostrosť vyššia. Oproti [32] bol zistený približne rovnaký vplyv crowdingu pre horizontálnu a vertikálnu orientáciu optotypu. V druhej časti sa experiment venoval opakovateľnosti meraní, ktorá bola u horizontálnych optotypov lepšia a crowding nemal vplyv na opakovateľnosť merania zrakovej ostrosti. U vertikálnych optotypov sa pri separácii 1 opakovateľnosť približne zhodovala s horizontálnym optotypom, s klesajúcou separáciou však došlo k zreteľnému zhoršeniu. Výsledky opakovateľnosti pre horizontálne optotypy porovnané s ostatnými štúdiami sa zhodovali. Výsledky experimentu potvrdzujú, že čítanie vertikálne radených optotypov predstavuje náročnejšiu a nezvyklú zrkovú úlohu oproti čítaniu horizontálne radených znakov, čo sa odráža nielen v zhoršenej zrakovej ostrosti, ale tiež v horšej opakovateľnosti získaných výsledkov. Pre obvyklé vyšetrenie zrakovej ostrosti sa nedajú vertikálne radené optotypy odporučiť. Ako však naznačujú niektoré štúdie [32], toto usporiadanie môže mať význam v prípade špecifických porúch v zornom poli.

Literatúra

- [1] SYNEK, S., SKORKOVSKÁ, Š. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: GRADA, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2
- [2] GROSVENOR, T. *Primary Care Optometry, fifth edition*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2007. ISBN 0-7506-7575-6
- [3] BENJAMIN, J. W. *Borish's Clinical Refraction, second edition*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2006. ISBN 978- 0-7506-7524-6
- [4] POLÁŠEK, J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [5] HOLGER, D. *Die optometrische Untersuchung*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2008. ISBN 978-3-13-142232-3
- [6] PLUHÁČEK, F. *Zraková ostrost a její měření - výukové materiály k predmetu Fyziologická optika, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2013*
- [7] KEIRL, A., CHRISTIE, C. *Clinical Optics and Refraction: A Guide for Optometrists, Contact Lens Opticians and Dispensing Opticians*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences, 2007. ISBN 978 0 7506 8889 5
- [8] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to Visual Optics*. Canterbury: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 9780900099281
- [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] RUTRLE, Miloš. *Břýlová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometry a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993, ISBN 80-701-3145-4

- [11] PLUHÁČEK, F. *Zraková ostrost a refrakce – výukové materiály k predmetu Oftalmologické a optometrické přístroje II*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2015
- [12] KUCHYŇKA, P. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8
- [13] HENDEE, W. R., WELLS, P. N. T. *The Perception of Visual Information*. New York: Springer Science, 1997. ISBN 978-1-4612-7306-6
- [14] FERRIS, F., KASSOFF, A., BRESNICK et al. *New visual acuity charts for clinical research*. Am J Ophthalmol, 1982, 94: 91-96.
- [15] KOLARČÍK, Lukáš, Václav DEDEK a Michal PTÁČEK. *Příručka pro sestry v oftalmologii*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5458-1
- [16] VESELÝ, P., SYNEK, S. *Opakovatelnost a spolehlivost vyšetření zrakové ostrosti na optotypových tabulích logMAR EDTRS a Snellen*. Čes. a slov. oftalmologie, 2012, 65. ISSN 1803-6597
- [17] LAIDLAW, D., ABBOTT, A., ROSSER, D.A. *Development of a clinical feasible logMAR alternative to the Snellen chart: performance of the „compact reduced logMAR” visual acuity chart in amblyopic children*. Brit J Ophthalmol, 2003, 87: 1232-34.
- [18] VANDEN BOSCH, M.E., WALL, M. *Visual acuity scored by the letter-by-letter or probit methods has lower retest variability than line assignement method*. Eye, 1997, 11: 411-417.
- [19] LUECK HALL, A. *Functional Vision*. New York: AFB Press, 2004. ISBN 0-89128-871-6
- [20] LEVI, D. M.: *Crowding – An essential bottleneck for object recognition: A mini-review*. Vision Research, 2008, roč. 48, str. 635–654
- [21] KORTE, W. *Über die Gestaltauffassung im indirekten Sehen*. Zeitschrift für Psychologie, č. 93, 1923
- [22] MILLODOT, M. *Dictionary of Optometry and visual science*. Philadelphia: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2009. ISBN 978-0-7020-2958-5

- [23] STUART, J.A., BURIAN, H.M. *A Study of Separation Difficulty, Its Relationship to Visual Acuity in Normal and Amblyopic Eyes*. American Journal of Ophthalmology č. 53, 1962
- [24] FLOM, M. C., HEATH, G., TAKAHASHI, E. *Contour interaction and visual resolution: contralateral effects*. Science 1963, 142:979
- [25] COATES, D.R., CHUNG, S. TL. *Crowding in the S-cone pathway*. Vision Research č.122, 2016, ISSN: 0042-6989
- [26] FLOM, M. C. *Contour Interaction and the Crowding Effect*. Problems in Optometry, 1991. Vol. 3, No. 2.
- [27] TOET, A., LEVI, D.M. *The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea*. Vision Research, 1992
- [28] LEVI, D. M., HARIHARAN, S., KLEIN, S. A. *Suppressive and facilitatory spatial interactions in peripheral vision: Peripheral crowding is neither size invariant nor simple contrast masking*. Journal of Vision, 2002, roč. 2, s. 167 – 177
- [29] KOTHE, A.C., REGAN, D. *Crowding depends on contrast*. Optometry and vision science, 1990.
- [30] TRIPATHY, S., CAVANAGH, P. *The extent of crowding in peripheral vision does not scale with target size*. Vision Research, 2002.
- [31] FREEMAN, J., CHAKRAVARTHI, R., PELLI, D. G., *Substitution and pooling in crowding*. Attention, Perception, & Psychophysics, 2012. Vol. 74, ISSN: 1943-3921
- [32] FENG, CH., JIANG, Y., HE, S. *Horizontal and vertical asymmetry in visual spatial crowding effects*. Journal of Vision, 2007, roč. 7
- [33] FLOM, M.C., WEYMOUTH, F. W., KAHNEMAN, D. *Visual Resolution and Contour Interaction*. Journal of the Optical Society of America 53, 1963, 1026-1032
- [34] HESS, R. F., DAKIN, S. C., TEWFIK, M., BROWN, B. *Contour interaction in amblyopia: scale selection*. Vision research, 2001, roč. 41, s. 2285 – 2296

- [35] SIMMERS, A. J., GRAY, L. S., MCGRAW, P. V., WINN, B. *Contour interaction for high and low contrast optotypes in normal and amblyopic observers*. Ophthalmic and Physiological Optics, 1999, roč. 19, č. 3, s. 253 - 260
- [36] SIDEROV, J., WAUGH, S. J., BEDELL, H. E. *Foveal contour interaction for low contrast acuity targets*. Vision research, 2013, roč. 77, s. 10 – 13
- [37] BEDELL H. E., SIDEROV J., WAUGH S. J., ZEMANOVA R., PLUHACEK F., MUSILOVA L. *Contour Interaction for Foveal Acuity Targets of Different Luminance*. Vision Research, 2013
- [38] AVERBACH E., CORIELL A. S. *Short-term memory in vision*. Bell Systems Technical Journal. 40, 309-328
- [39] HESS, R. F., DAKIN, S. C., KAPOOR, N. *The foveal „crowding“ effect: physics or physiology?*. Vision Research, 2000, roč. 40, s. 365 – 370
- [40] FREEMAN, R. D. *Visual acuity is better for letters in rows than in columns*. Nature, vol. 286, 1980
- [41] ARDITI, A., CHO, J. *Serifs and font legibility*. Vision Research, 2005

