

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

VLIV JASU NA KONTUROVOU INTERAKCI

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Romana Zemanová

Obor 5345 OPTOMETRIE

Studijní rok: 2012/2013

VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

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

V Olomouci dne 24. 4. 2013

.....

Bc. Romana Zemanová

Poděkování

Tímto způsobem bych chtěla poděkovat zejména RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za vstřícnost, ochotu a cenné rady během zpracování diplomové práce, a také děkuji katedře optiky za pomoc s realizací výzkumu.

Diplomová práce byla podpořena z projektu PřF UP č. PrF_2012_014.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1 ÚVOD | 6 |
| 2 ZRAKOVÁ OSTROST..... | 8 |
| 2.1 Složky zrakové ostrosti..... | 8 |
| 2.1.1 Detekční zraková ostrost..... | 8 |
| 2.1.2 Lokalizační zraková ostrost | 9 |
| 2.1.3 Rozlišovací zraková ostrost | 10 |
| 2.2 Vyšetření zrakové ostrosti | 11 |
| 2.2.1 Vyšetření do dálky | 12 |
| 2.2.2 Vyšetření do blízka | 12 |
| 2.3 Záznam zrakové ostrosti | 13 |
| 2.4 Testy na vyšetření zrakové ostrosti a jejich design | 15 |
| 2.4.1 Landoltovy prstence..... | 18 |
| 2.4.2 Pflügerovy háky | 18 |
| 2.4.3 Design optotypů s písmeny | 19 |
| 2.4.4 Formáty tabulek zrakové ostrosti | 20 |
| 3 VLIV JASU NA ZRAKOVÉ VNÍMÁNÍ | 21 |
| 3.1 Receptivní pole | 21 |
| 3.2 Fotopické vidění | 22 |
| 3.3 Skotopické vidění | 23 |
| 3.4 Mezopické vidění..... | 24 |
| 3.5 Adaptace | 24 |
| 3.5.1 Adaptace na světlo | 24 |
| 3.5.2 Adaptace na tmu..... | 25 |
| 3.6 Kontrastní citlivost..... | 27 |
| 3.6.1 Vyšetření kontrastní citlivosti | 28 |

| | |
|--|----|
| 4 CROWDING FENOMÉN A KONTUROVÁ INTERAKCE..... | 30 |
| 4.1 Crowding fenomén | 30 |
| 4.2 Konturová interakce..... | 32 |
| 4.2.1 Konturová interakce u jednoduchých znaků..... | 32 |
| 4.2.2 Konturová interakce u složitého zobrazení..... | 33 |
| 4.2.3 Mechanismus vzniku konturové interakce | 34 |
| 5 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE VLIVU JASU NA KONTUROVOU INTERAKCI..... | 36 |
| 5.1 Cíl experimentální části | 36 |
| 5.2 Soubor a metodika | 36 |
| 5.2.1 Probandi | 36 |
| 5.2.2 Metodika výzkumu | 37 |
| 5.3 Výsledky | 40 |
| 5.3.1 Data jednotlivých probandů | 40 |
| 5.3.2 Komplexní data | 44 |
| 5.4 Diskuze | 45 |
| 6 ZÁVĚR..... | 48 |
| ZDROJE | 49 |
| Použitá literatura a další zdroje: | 49 |
| Obrázky..... | 51 |
| Tabulky a grafy..... | 52 |
| Přílohy..... | 53 |

1 ÚVOD

Proces vidění je komplikovaný děj, zahrnující optický aparát, receptory na sítnici, až po složité biochemické pochody probíhající v mozku. Zjednodušeně můžeme říci, že paprsek světla prochází přes optický aparát, podráždí receptory na sítnici, ty dále pošlou signál zrakovou dráhou do mozku a dojde k uvědomění si sledovaného předmětu a jeho následné identifikaci.

Správná identifikace sledovaného předmětu je závislá nejen na předchozích zkušenostech, na jejichž základě jsme schopni sledovaný objekt správně pojmenovat, ale identifikaci ovlivňuje i okolí sledovaného objektu. Rozpoznání předmětu zhoršuje zejména přítomnost znaků nebo dalších objektů v těsné blízkosti, či ve specifické vzdálenosti od objektu sledovaného. V tomto případě nastává specifický jev, který nazýváme crowding fenomén, či konturová interakce.

Pojem konturová interakce není pojmem často používaným ani v oblasti optiky a optometrie, přesto se s konturovou interakcí setkáváme v běžném životě, aniž bychom to tušili. Jedná se o ovlivnění písmene okolními znaky, pokud máme např. problém přečíst silniční značky nemusí to být vlivem špatné nebo nenošené korekce, ale může se jednat o nevhodně zvolený design písmen, přílišnou vzájemnou blízkost písmen, nebo nevhodné ohraničení použité u konkrétní značky. Zejména tímto pojmem, jeho popisem, objasněním a experimentální částí se zabývá má diplomová práce.

Následující diplomová práce je rozdělena na několik na sebe navazujících kapitol, a praktickou část zabývající se experimentální studií na téma konturové interakce. Po úvodním slovu následují základní, ale i poměrně nové informace o zrakové ostrosti. Zde se zabývám složkami zrakové ostrosti, jejím vyšetřením, designy testů, typy písmen používaných v testech a mimo jiné hodnocením zrakové ostrosti a jejím zápisem. Na zrakovou ostrost navazuje kapitola související s praktickou částí, ve které jsme používali brýle s filtry snižujícími jas, proto se v této kapitole zabývám vlivem jasů na zrakové vnímání, zde je mimo jiné popisována i adaptace na světlo a tmu, či vidění za různého jasů a kontrastní citlivost. V poslední teoretické části se věnuji konturové interakci a crowding fenoménu, jejich významem, popisem a vztahem mezi nimi. Plynule navazuji praktickou částí, ve které zjišťuji, zda skutečně dojde k poklesu identifikace písmen při prezentaci s doprovodnými konturami. Dále dokazuji přítomnost

konturové interakce za různých jasových podmínek, v absolutní hodnotě separace znaků od doprovodných kontur.

2 ZRAKOVÁ OSTROST

Zraková ostrost je schopnost oka rozlišit dva body jako dva od sebe oddělené obrazy. Výsledná hodnota udává nejmenší prostorový detail, který může být detekován, rozlišen, nebo identifikován. Výsledná zraková ostrost závisí na mnoha parametrech, mezi které patří např. vzdálenost pozorovaného předmětu od sítnice, jas předmětu, jeho kontrast vzhledem k okolním podmínkám, či velikost zornice. Větší pupily vedou k zvýšenému rozostření kvůli optickým aberacím oka, a menší pupily představují rozostření v důsledku difrakce světla. Zhoršení obrazu dosáhne minima, když je průměr pupily přibližně 2 - 3 mm. Kvalitu konečného obrazu také zhoršuje rozostření způsobené klesající průhledností očních médií, jejich špatnou lomivostí a chybami refrakce, jako je myopie, hypermetropie, astigmatismus, či nedostatečná akomodace. Se špatnou kvalitou obrazu se můžeme setkat ale i s optimální korekcí, v důsledku chromatické a monochromatické aberace oka. Zrakovou ostrost vyšetřujeme do dálky i do blízka, její hodnota se zjišťuje na speciálních tabulkách k tomuto účelu určených a je nazývána vizus. [1, 3, 4, 9]

2.1 Složky zrakové ostrosti

Celková zraková ostrost skládá ze tří hlavních složek mezi které patří detekční, lokalizační a rozlišovací složka zrakové ostrosti. Mnoho vědců se domnívá, že k určení minimální rozpoznatelné ostrosti je nutná spolupráce všech typů zrakové ostrosti. Prezentované znaky je třeba identifikovat a následně rozpoznat jejich detaily. [3]

2.1.1 Detekční zraková ostrost

Tento typ ostrosti závisí především na jasu nebo kontrastu sítnicového obrazu, nikoli na úhlové velikosti stimulu. Pokud sledujeme velmi malé objekty, tak je velikost obrazu vytvořená na sítnici omezena optikou oka. Proto se spolu se zmenšením předmětu snižuje osvětlení sítnicového obrazu a ne jeho velikost. Např. hvězda je v noci snadno viditelná kvůli své jasnosti oproti okolní ploše. Když má nebe kolem

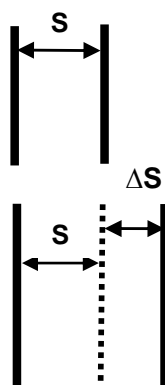
hvězdy velmi nízký jas a obraz hvězdy je centrován na fovee, tak její viditelnost závisí na absolutním prahu adaptace čípků na tmu. Díky tomu mohou být zachyceny mimořádně malé světelné zdroje, jsou-li dostatečně intenzivní. Během dne má hvězda sice stejný jas, ale obloha je jasnější než v noci, proto ve dne hvězdy nevidíme.

Na testu zkoumající detekční zrakovou ostrost musí pacient určit přítomnost či nepřítomnost určitého znaku, tečky, mřížky nebo symbolu. Tento znak je prezentován na jedné části plochy, na druhé části je stejně osvětlená prázdná oblast a pacient je požádán, aby určil, na které části plochy se nachází stimul. Tento postup využívající sinusové nebo obdélníkové mřížky často s variacemi kontrastních znaků, je používán i u testů na vyšetření kontrastní citlivosti. (viz kapitola 3.6.1) [16]

2.1.2 Lokalizační zraková ostrost

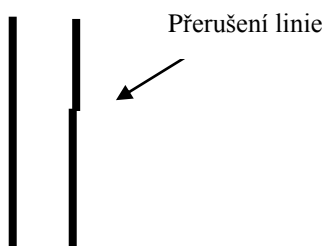
Lokalizační ostrost nám vymezuje nejmenší prostorové posunutí dvou znaků, kdy je rozlišíme jako dva jednotlivé znaky. Za optimálních podmínek lze rozlišit vysoce kontrastní znaky s mnohem jemnějším prostorovým posunem než je mezi foveálními fotoreceptory. Tato charakteristika lokalizační ostrosti vedla k jejímu anglickému označení, tzv. hyperacuity.

Mezi lokalizační ostrosti řadíme prostorovo-intervalovou ostrost a noniovou ostrost. Prostorovo-intervalová ostrost je dána nejmenší změnou v separaci dvou znaků (ΔS), které mohou být rozlišeny jako více nebo méně oddělené, než je porovnávaná separace (S) obr. 1. Nejmenší vzájemný posun dvou znaků, které je možné i po tomto posunu rozlišit jako dva neshodné znaky nazýváme noniovou ostrostí.



Obr. 1- Ilustrace prostorovo-intervalové ostrosti (1)

Testy lokalizační zrakové ostrosti spočívají např. v prezentaci dvou linií, z nichž jedna je přerušená a druhá celistvá, pacient má za úkol detekovat přítomnost přerušení. Úhlová velikost přerušení, které jsme schopni detekovat může být přibližně 2 úhlové vteřiny (obr. 2).



Obr. 2 – test noniové ZO (1)

Nervové mechanismy pro lokalizační ostrost nastávají častěji ve zrakové kůře, než na sítnici. Měření lokalizační ostrosti oka v praxi, stejně jako detekční ostrosti není běžné. [2, 3]

2.1.3 Rozlišovací zraková ostrost

Rozlišovací schopnost oka (minimum separabile) udává nejmenší úhlovou vzdálenost dvou bodů, které ještě rozlišíme jako samostatné. V tomto případě se mezi dvěma světlem stimulovanými čípkou vyskytuje jeden čípek světlem nestimulovaný. V lidském oku závisí rozlišení v centru sítnice na kvalitě optiky oka a vzdáleností mezi sousedními fotoreceptory. Minimum separabile se používá nejen k měření rozlišovací kapacity zrakového systému, ale i k posouzení výkonu a kvality systémů optických. Hodnota rozlišovací zrakové ostrosti je udávána v úhlových minutách ($'$).

Za optimálních zobrazovacích podmínek umožňuje optika oka a rozteč foveálních čípků některým jedincům rozeznat dva body nebo dva řádky, které jsou přibližně 30 - 40'' (0,5') od sebe. To je nazýváno minimálním úhlem rozlišení ($MÚR$). U některých jedinců nedosáhneme hodnoty $MÚR$ 0,5' ani s optimální korekcí jejich refrakční vady, hodnota $MÚR$ závisí na velikosti čípků v centru fovey. Ukazuje se, že velikost čípků v centru fovey je individuální, někteří lidé mají v centru fovey čípků menší, zatímco jiní větší. Předpokládáme, že fovea s menšími čípkou rozliší menší separace obrazů. Za standardní hodnotu $MÚR$ považujeme jednu úhlovou minutu (1'). Podíl této standardní hodnoty a skutečné rozlišovací meze oka se nazývá vizus V , který je za fyziologických podmínek roven 1,

$$\gamma = \frac{1'}{M\acute{U}R}.$$

Vizus může být udáván desetinným číslem nebo odpovídajícím zlomkem, viz kapitola 2.3. Rozlišovací schopnost oka závisí mimo jiné na jasu pozorovaného předmětu a na jeho kontrastu s okolním prostředím. [2, 3, 4]

2.2 Vyšetření zrakové ostrosti

Měření hodnoty zrakové ostrosti je jedním z nejdůležitějších a nejčastěji prováděných oční vyšetření. Při běžném testování zrakové ostrosti vyšetřujeme funkci sítnice v její centrální oblasti. Měření zrakové ostrosti poskytuje důležité informace o stavu zrakového orgánu vyšetřované osoby. Pokud rozlišovací schopnost oka vyšetřované osoby odpovídá standardu (schopnost rozlišit detaily o velikosti jedné minuty), nebo ho překračuje, lze předpokládat vznik jasného obrazu na sítnici, dobrý stav centrální části sítnice a následných nervových drah podílející se na zrakovém zpracování obrazu. Srovnání měření zrakové ostrosti v průběhu času poskytuje informace o stabilitě nebo změně refrakčního stavu, o stavu očních médií a struktuře zpracování obrazu.

Většina lidí si spojuje měření zrakové ostrosti s tabulkou písmen, kterou viděli v ordinaci u lékaře. Zraková ostrost ale může být posouzena i pomocí jiných znaků než písmen. Výsledky měření zrakové ostrosti pomocí několika odlišných způsobů mohou být při vzájemném srovnávání odlišné.

Ačkoli standardní rozlišovací schopnost je definována jednou úhlovou minutou ($1'$), hodně lidí má zrakovou ostrost vyšší hodnoty než je standard, ale s dokonalým zrakem se nerodíme. Při narození je hodnota visu menší než 0,1, rychle se zvyšuje až na hodnotu 0,4 v jednom roce života, postupně se zlepšuje spolu s poznáváním písmen abecedy a od školního věku se pohybuje kolem hodnoty 1 a vyšší. [1, 2, 3]

Při testování monokulární ostrosti pozoruje jedno oko testovou tabulku, zatímco druhé oko je zakryto. V praxi je standardně měřeno oko pravé, ve výjimečných případech můžeme začínat levým okem, např. pokud víme, že pacient má na tomto oku horší vidění. Zrakovou ostrost měříme nejprve odděleně a poté změříme ostrost obou očí současně, tzv. binokulární zraková ostrost. Předpokládáme, že hodnota binokulární

zrakové ostrosti bude lepší nebo rovna vízu lepšího oka. Pokud je hodnota binokulárního vízu horší než monokulární, může se jednat o poruchu binokulárního vidění, nystagmu, či o speciální případ, kdy je pacient schopen střídat centrální supresi jednoho oka s okem druhým. [1]

U běžného záznamu zrakové ostrosti je důležité přesně stanovit konkrétní *MÚR*. Pokud se pouze kontroluje, zda je vizus roven 1', může při budoucí návštěvě v důsledku této chyby dojít ke skrytému poklesu vízu, který nebude rozpoznán. Takové snížení by mohlo znamenat patologický stav, a proto je důležité, aby zraková ostrost byla měřena na pacientově hranici rozlišení.

Testy na vyšetření zrakové ostrosti se nazývají optotypy, většina testů funguje na principu rozpoznání a rozlišení symbolů, písmen, číslic nebo slov. [1, 2]

2.2.1 Vyšetření do dálky

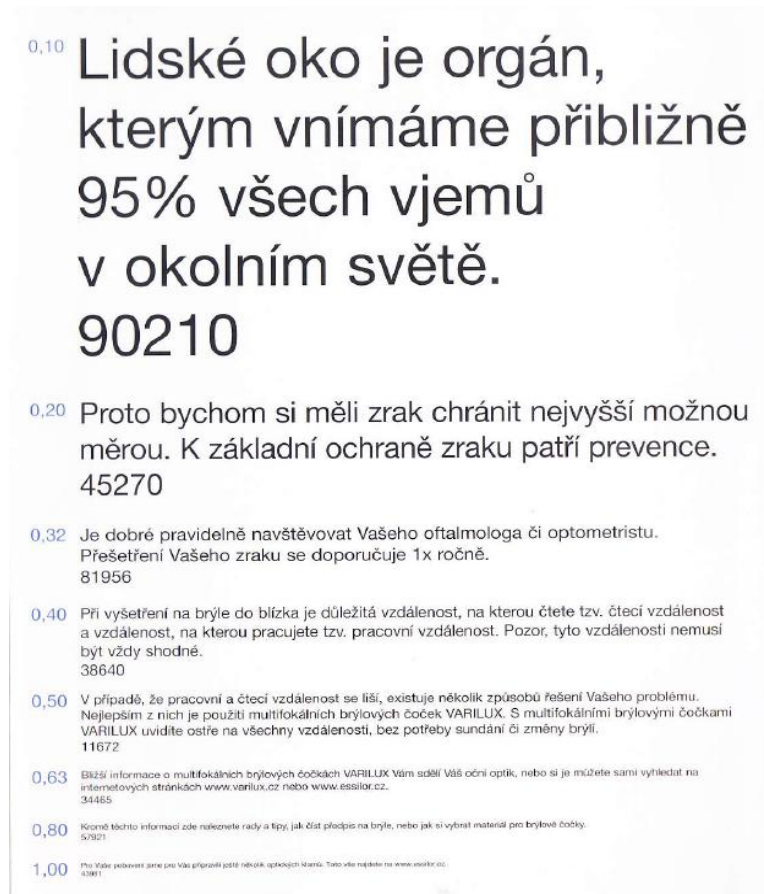
Standardní vyšetřovací vzdálenost do dálky je šest metrů, při této vzdálenosti je stimul dostatečně daleko, aby nedocházelo k vyvolání akomodace. Nicméně zrakovou ostrost je možné měřit i za jiné vyšetřovací vzdálenosti. Ve Spojených Státech je standardní vyšetřovací vzdálenost vyjádřena ve stopách, lékaři téměř vždy používají k zápisu vízu Snellenův zlomek s dvaceti stopami v čitateli. Ve většině ostatních zemí se používají metrické jednotky s nejčastěji používanou testovací vzdáleností 6 m.

Při vyšetřování zrakové ostrosti do dálky zjišťujeme minimální úhlové rozlišení, tzv. minimum separabile, zatímco při vyšetření zrakové ostrosti do blízka má větší praktický význam čtení uceleného textu a schopnost rozpoznat jeho význam, tzv. minimum legibile. [1, 4, 6]

2.2.2 Vyšetření do blízka

Zraková ostrost do blízka je obvykle měřena na vzdálenost v rámci délky paže. Standardní testovací vzdálenost je obvykle 30-40 cm. Pokud je design a osvětlení testu na dálku srovnatelný s testem na blízko, měla by hodnota zrakové ostrosti na blízko odpovídat hodnotě do dálky, zároveň musí být oko schopno akomodace, správně provedena refrakce a sledovaný předmět fokusován na sítnici. Nicméně mnoho čtecích testů nepoužívá formát písmen srovnatelný s testy na dálku.

Čtecí testy obvykle používají tištěné písmo stejného stylu, jaký se používá v novinových člancích, či knihách. Tyto materiály mohou být stylizovány do jednotlivých vět, odstavců, nebo nesouvisejících slov. U nejběžněji používaného čtecího testu nalezneme velikostně odstupňované odstavce s odlišným textem (obr. 3). Jednotlivé velikosti písma jsou označeny číslem, které udává zřakovou ostrost do blízka. Nejčastěji se používají čtecí tabulky dle Jaegera.



Obr. 3 - ukázkový čtecí test (2)

Vyšetření, a stejně tak i případná korekce se provádí monokulárně i binokulárně. Záznam zřakové ostrosti na čtecí vzdálenost obvykle zahrnuje záznam vzdálenosti, ze které pacient četl, a velikost nejmenšího přečteného písma. [1, 3, 11]

2.3 Záznam zřakové ostrosti

Zřaková ostrost je vyjádřena úhlovou velikostí nejmenšího znaku, který pacient právě rozliší. Výsledek testu zřakové ostrosti je zaznamenán číslem, lze ji vyjádřit pomocí zlomku, tzv. Snellenův zlomek, desetinného čísla, minimálního úhlu rozlišení

($MÚR$), nebo logaritmu $MÚR$ ($\log MÚR$). V praxi je prezentována skupina znaků s několika znaky stejné velikosti na řádku, prezentovaný řádek je považován za přečtený v případě, že jedinec identifikuje 60 a více % znaků. Hodnocení zrakové ostrosti po řádcích je příliš hrubé na spolehlivou detekci malých rozdílů ve vidění, i přesto je toto hodnocení ostrosti stále nejrozšířenější. Mnoho vyšetřujících přidává k výsledné hodnotě zrakové ostrosti plusové či minusové body navíc za přečtené, či nepřečtené písmeno, což upřesňuje výslednou hodnotu vízu. Větší přehled o změnách vízu a jejich detekci nám poskytuje hodnocení zrakové ostrosti po jednotlivých znacích.

Při vyjádření zrakové ostrosti pomocí zlomku je v čitateli takového zlomku uvedena vzdálenost, ze které vyšetřovaný četl znaky a ve jmenovateli je zapsáno číslo posledního řádku, který vyšetřovaná osoba byla schopna přečíst. Zraková ostrost hodnoty $6/60$ znamená, že testovací vzdálenost byla 6 metrů a nejmenší písmeno, které vyšetřovaný přečetl pod úhlem $5'$ bylo ve vzdálenosti 60 metrů. Takové písmeno by pacient s hodnotou vízu 1,0 přečetl ze vzdálenosti 60 metrů. Za předpokladu dobře fokusovaného obrazu na sítnici se zraková ostrost se změnou testovací vzdálenosti nemění.

Na Evropském kontinentu je nejrozšířenější zápis vízu pomocí desetinného čísla. Takto zapsaná hodnota přímo vyjadřuje vizus, ale neudává vyšetřovací vzdálenost. Snellův zlomek lze na vizus zapsaný desetinným číslem přepočítat prostým provedením naznačeného dělení. Hodnocení zrakové ostrosti pomocí minimálního úhlu rozlišení je vyjádřeno v úhlových minutách a udává úhlovou velikost detailu v rámci právě rozlišitelného optotypu. U písmen je za detail považována obvykle $1/5$ jejich výšky. Pro zrakovou ostrost $6/6$ se $MÚR$ rovná $1'$.

Pro nejpřesnější záznam zrakové ostrosti je vhodné použít hodnocení pomocí jednotek logaritmu minimálního úhlu rozlišení ($\log MÚR$), který s vízem V souvisí vztahem

$$\log MÚR = -\log(V).$$

Optotypy využívající tuto stupnici mají obvykle charakteristickou koncepci, viz kapitola 2.4. Na optotypech navržených podle stupnice $\log MÚR$ jsou písmena na každém řádku o $0,1 \log$ jednotku (přibližně o 26 %), větší nebo menší, než písmena na řádku pod nebo nad řádkem právě sledovaným. Tyto optotypy lze zobrazit z různých vzdáleností beze změny relativní velikosti nebo rozestupu písmen. Pokud je hodnota vízu $6/6$, tak $MÚR$ je rovné $1'$ a logaritmus $MÚR$ je roven 0, při lepší zrakové ostrosti

než 6/6 jsou výsledné hodnoty logMÚR záporné. Na každém řádku je pět písmen, tak můžeme ke každému písmenu přiřadit hodnotu 0,02 logaritmicke jednotky. Hodnocení pomocí stupnice logMÚR je pětikrát jemnější než určování hodnoty zrakové ostrosti po celých přečtených řádcích, proto se měřítko logMÚR používá i při výzkumných studiích.

Pokud je ZO zaznamenávána v log jednotkách (logMÚR), tak každé správně přečtené písmeno může být přiřazenou hodnotou, která se k výsledné hodnotě ZO přičítá. Jestliže má optotypová tabulka stejný počet písmen na každém řádku mají přidané koeficienty na všech velikostních úrovních stejnou hodnotu. [1, 2, 4, 5, 6]

| Vyjádření zrakové ostrosti | | | | |
|----------------------------|---------|-----------|-------|--------|
| metrické | britské | desetinné | MAR | logMAR |
| 6/60 | 20/200 | 0,10 | 10,00 | 1 |
| 6/48 | 20/160 | 0,13 | 8,00 | 0,9 |
| 6/38 | 20/125 | 0,16 | 6,30 | 0,8 |
| 6/30 | 20/100 | 0,20 | 5,00 | 0,7 |
| 6/24 | 20/80 | 0,25 | 4,00 | 0,6 |
| 6/19 | 20/60 | 0,32 | 3,20 | 0,5 |
| 6/15 | 20/50 | 0,40 | 2,50 | 0,4 |
| 6/12 | 20/40 | 0,50 | 2,00 | 0,3 |
| 6/9,5 | 20/30 | 0,63 | 1,60 | 0,2 |
| 6/7,5 | 20/25 | 0,80 | 1,25 | 0,1 |
| 6/6 | 20/20 | 1,00 | 1,00 | 0 |
| 6/4,8 | 20/16 | 1,25 | 0,80 | -0,1 |
| 6/3,8 | 20/12,5 | 1,58 | 0,63 | -0,2 |
| 6/3 | 20/10 | 2,00 | 0,50 | -0,3 |

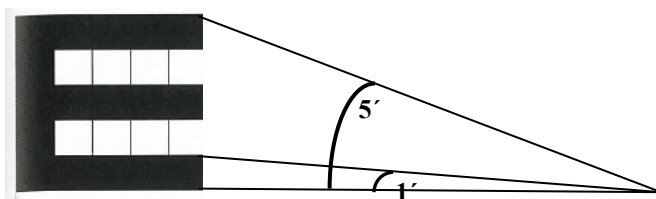
Tab. 1 - Vztahy mezi jednotlivými metodami vyšetřování zrakové ostrosti (1)

2.4 Testy na vyšetření zrakové ostrosti a jejich design

Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, zrakovou ostrost lze vyjádřit několika způsoby a také existuje několik typů posloupností, ve kterých se měří velikost znaků při vyšetřování. Známe posloupnost aritmetickou, Snellovu, neboli empirickou a logaritmicke. Pokud se vizus mezi řádky mění vždy o 0,1, jedná se o posloupnost aritmetickou. Snellova posloupnost vychází ze zkušenosti jejich autora (empirická posloupnost), vizus je obvykle vyjádřen zlomkem. Poslední logaritmicke posloupnost

úzce souvisí s logaritmem minimálního úhlu rozlišení, velikost optotypů se mezi řádky mění podle geometrické posloupnosti s kvocientem $\sqrt[10]{10}$ (přibližně 1,2589). Vztahy mezi jednotlivými metodami vyšetření zrakové ostrosti jsou uvedeny v tabulce 1.

Design testů na vyšetření zrakové ostrosti nemůže být libovolný, existuje několik konstrukčních principů pro jejich design např. konstrukční princip Bailey-Lovie (obr. 5), či princip dle Snella. Aby optotyp skutečně plnil svou funkci optimálního vyšetření zrakové ostrosti musí mít např. mezery mezi znaky na optotypech určitou velikost, jinak dochází ke snížení čitelnosti pozorovaných písmen. Když jsou znaky na optotypu optimálně rozloženy, tak jsou identifikovatelné mnohem snáze, než když jsou namačkány u sebe, tzv. crowding fenomén (viz kapitola 4). Aby nenastal crowding fenomén měla by být šířka znaku rovna vzdálenosti znaku a vzdálenost mezi řádky by měla být rovna velikosti menšího znaku, pokud tyto vzdálenosti nejsou zachovány, tak se znak rozlišuje hůře. [1, 15, 21]



Obr. 4 - Viditelnost znaku a jeho detailu (3)

Nejčastěji používanými optotypy jsou tzv. Snellenovy optotypy a jejich modernější variace využívající písmena. Snellen používal písmo patkové a velikost detailu určil na 1/5 výšky písmen. Snellenovy původní tabulky mají sedm rozdílných úrovní velikosti. Na nejvyšší úrovni je pouze jedno písmeno a počet písmen se s každou úrovní postupně zvyšuje až na osm optotypových znaků nejmenší velikosti. I přes významné odchylky od původního Snellenova písma, jako jsou rozdíly v designu a výběru písmen, progresse velikosti, či počet písmen na různých velikostních úrovních se pro optotypy s jedním písmenem na vrchu a dále se rozšiřujícím počtem písmen stále běžně používá pojem „Snellenovy optotypy“ nebo „standardní Snellenovy optotypy“.

[1, 3]

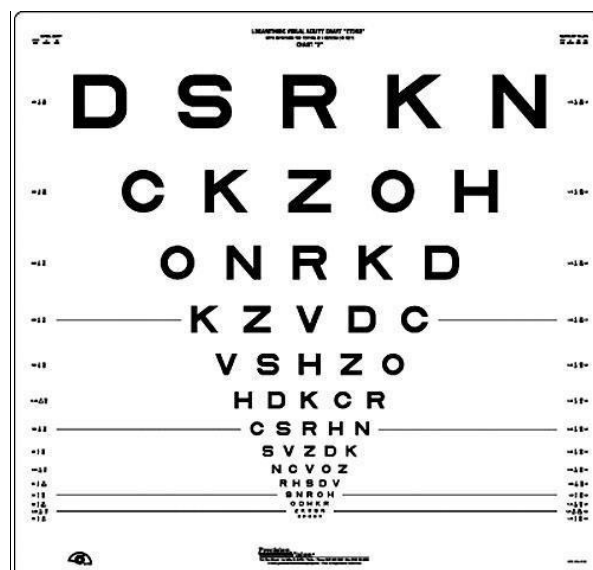
Modernější tabulky používají spíše písmo bezpatkové, protože Snellenovo patkové písmo není stejnoměrně čitelné. Nejčastěji používaným bezpatkovým písmem je Slounovo písmo, které je vytvořeno v rastrovém vzoru velikosti 5x5. Slounova sada písmen obsahuje 10 písmen se standardizovanými úhly a křivkami (C, D, H, K, N, O, R,

S, V, Z). Britský standard optotypů používá rozdílný set deseti písmen (D, E, F, N, H, P, R, U, V, Z) vytvořených v rastrovém vzoru 5x4. Identifikaci písmen v blízkosti prahových rozměrů zjednodušuje řada záchytných bodů. Snadněji tak mohou být od ostatních písmen odlišena písmena, která si jsou v základním tvaru podobná, jako např. N a H.

Optotypové tabulky využívající klinické hodnocení zrakové ostrosti v logMÚR jednotkách navržené Baileyem a Loviem využívá mnoho vědců a lékařů. Tyto tabulky se nazývají ETDRS (obr. 5), což je zkratka studie včasného rozpoznání diabetické retinopatie a to byl původní hlavní účel jejich funkce. Jsou tvořeny v podstatě stejným rozlišovacím úkolem na každé velikostní úrovni. Jedinou proměnou při přechodu z jedné úrovně na další se stává velikost písmen.

Konstrukce optotypů Bailey-Lovie vyžaduje logaritmickou velikost progresse, stejný počet písmen na každé velikostní úrovni, vzdálenost mezi písmeny a řádky úměrnou velikosti písmen, a stejně nebo podobně čitelná písmena na každé úrovni velikosti. Vyšetření probíhá ze vzdálenosti 4 m, tabulka standardizovaná na tuto vzdálenost obsahuje Sloanovy bezpatkové optotypy. Skládá se ze čtrnácti řádků s pěti písmeny na řádku. Vyšetřovaný plynule čte písmena od největšího řádku až po řádek na kterém již není schopen identifikovat více než polovinu písmen, v tomto případě se jedná o tři znaky.

Opakované testování metodou ETDRS vykazuje velmi podobné výsledky, což je hlavní důvod používání této testovací metody testování ZO ve výzkumných studiích po celém světě, tyto optotypy se skutečně staly „zlatým standardem“ se kterým by měly být ostatní alternativy porovnávány.



Obr. 5 - optotypy ETDRS s logaritmickou posloupností (4)

Mezi optotypy se symboly řadíme obrázkové optotypy, Landoltovy kruhy či Pflügerovy háky. [1, 2, 5, 6]

2.4.1 Landoltovy prstence

Landoltův znak, nebo-li Landoltovo C se skládá z neúplného kruhu s mezerou o velikosti 1' a celkovou velikostí 5'. Landoltovy prstence jsou prezentovány ve čtyřech či v osmi pozicích (čtyři základní a čtyři šikmé). Cílem testu je rozlišit mezeru v prstenci, pacient uvede směr mezery v řadě kroužků snížené velikosti, dokud nedosáhne řady kroužků, u kterých je velikost mezery příliš malá na rozlišení.

I přesto že rozlišení mezery Landoltova prstence představuje pro pacienta složitější úkol než rozlišení různých písmen, byly tyto optotypy přijaty jako standardní metoda pro měření zrakové ostrosti. Landoltovy prstence se doporučuje používat pouze v horizontální a vertikální pozici mezery. Bylo zjištěno, že i pacienti bez astigmatismu mají horší vnímavost pro šikmo orientované podněty než pro podněty orientované horizontálně a vertikálně.

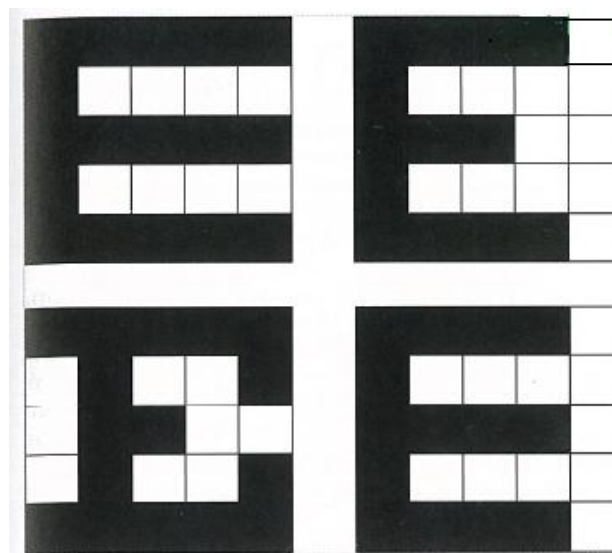
Výhoda Landoltových prstenců je ve snadno definovatelném a rozlišitelném detailu a tím je mezeru. Landoltovy prstence se používají spíše v případech negramotnosti pacienta, či neznalosti anglických písmen abecedy. Pro rutinní klinické vyšetření se zejména kvůli usnadnění častěji používají písmena. Pro vyšetřujícího je snadnější požádat figuranta, aby přečetl řádek písmen než vysvětlovat jemné rozlišovací rozdíly u Landoltových prstenců. [1, 2, 3]

2.4.2 Pflügerovy háky

Jako Pflügerův hák se označuje různě polohované písmeno E o velikosti 5 na 5 jednotek. E je prezentováno v různých orientacích pro každou úroveň ostrosti a pacientův úkol je identifikovat směr otočení písmene. Nejčastěji se používají 4 alternativní směry, nahoru, dolů, doprava a doleva, směry šikmého natočení písmene příliš časté nejsou. Písmeno E se obvykle skládá ze třech stejně dlouhých částí, pouze britský optotypový standard specifikuje písmeno E s kratší prostřední částí. Pflügerův hák je nepoužívanějším typem optotypu při vyšetřování zrakové ostrosti u malých dětí, nebo negramotných osob. U tohoto vyšetřovacího testu je poměrně vysoká pravděpodobnost (25%) správné odpovědi pacienta hádáním. [1, 2, 3]

2.4.3 Design optotypů s písmeny

Optotypy využívající písmena jsou nejčastěji používanými testy vyšetření zrakové ostrosti u dospělých i u starších dětí. Písmena umožňují rychlé a spolehlivé testování, jedná se o velmi známý a snadno identifikovatelný soubor podnětů. U rozpoznávání písmen je malá pravděpodobnost správné identifikace hádáním. K identifikaci písmene je třeba rozpoznat jeho detaily. Ve Spojených státech odpovídají velká písmena na optotypech obvykle standardní konfiguraci, tzn. každé písmeno je stejně vysoké jako široké a velikost detailu odpovídá 1/5 celkové velikosti písmene. Jiné konvence platí ve Velké Británii, kde ostrost písmen odpovídá matici pět jednotek vysoké a čtyři jednotky široké a detail písmene tvoří 1/5 výšky písmene. Můžeme se setkat i s písmenem širokým šest jednotek. Detaily písmen mohou mít malé sekundární projekce zvané patky, např. Snellenova písmena, nebo mohou být bez patek, např. Sloanova písmena.



Obr. 6 - Jednotlivé typy písma používané na optotypech (5)

Vyšetřování zrakové ostrosti na optotypech s písmeny je ovlivněno gramotností a předchozí zkušeností. Set písmen by měl obsahovat znaky s téměř stejnou relativní čitelností, písmena musí být zvolena tak, aby došlo k rozpoznání detailu podobných písmen a jejich správnému pojmenování. Písmena, u kterých vyšetřovaný chybuje, nebo je zaměňuje, se nazývají zaměnitelná písmena, jako např. dvojice P a F, či H a N, pak se písmeno v testu stává také zkouškou rozlišení. Takovou zkouškou je např. rozlišení mezery v horizontální části písmene, abychom dokázali rozpoznat písmeno F od P. Písmena identifikovaná nesprávně se u jednotlivých jedinců liší podle

nekorigované vady vyšetřovaného, zejména pokud tato vada zahrnuje astigmatismus. [1, 2, 3]

2.4.4 Formáty tabulek zrakové ostrosti

Testy na vyšetření zrakové ostrosti mohou být prezentovány formou tištěných panelů, nebo jako jednotlivé obrazy, promítající se na obrazovku. Tištěný panel, projekční obrazovka nebo obrazovka monitoru se často pozorují přímo, ale pokud rozměry místnosti neumožňují vyšetřovat na požadovanou testovací vzdálenost, mohou být pozorovány pomocí zrcadel, které prodlužují optickou vzdálenost.

Tištěné tabulky existují v mnoha různých formách. Některé jsou tištěny na neprůhledných nebo plastových kartách a jsou přímo osvětleny. Ostatní jsou z průsvitného materiálu upevněné na světelném boxu, který osvětluje optotyp zadním osvětlením. Odlišné velikosti písmen na tabulce jsou obvykle označeny vzdálenostmi, při kterých se písmena zobrazují pod úhlem 5'. Nepoužívanější panel písmen prezentuje písmena ze vzdálenosti 6 m a výsledná ostrost je zaznamenávána Snellenovým zlomkem.

Pokud je u projekčních optotypů objektiv projektoru u pacientova oka, tak není úhlová velikost optotypů z projektoru závislá na pozorovací vzdálenosti. Proto je velikost písmen na projekčním optotypu obvykle značena v úhlových jednotkách. U evropských typů se používá desetinného zápisu zrakové ostrosti a u většiny amerických typů se používá ekvivalentní Snellenův zlomek.

Počítačem generované displeje dosud nejsou v klinické praxi široce používány, ale nabízejí nesporné výhody. Poskytují prostředky pro výběr různých typů písmen, mění jejich pořadí a mění stimulační parametry jako je kontrast, uspořádání mezer či doba prezentace. Počítačově kontrolovaná prezentace testových znaků usnadňuje opakované měření s náhodnými, nebo částečně náhodnými sety písmen. Tento proces zabraňuje zapamatování si písmen a problémům s tím spojených, ke kterým může dojít u tištěných nebo projekčních optotypů. [1, 4, 6]

3 VLIV JASU NA ZRAKOVÉ VNÍMÁNÍ

Kvalitní zrakový vjem je značně ovlivněn hladinou jasu a osvětlením sledovaných předmětů. Z tohoto důvodu nemůže být vidění stejně dobré za všech světelných (jasových) podmínek. Jas je jednou z fotometrických veličin, značíme jej písmenem L a můžeme ho definovat jako měrnou veličinu svítivosti. Jasem jsou charakterizovány plošné, nikoli bodové zdroje.

Oko je schopno fungovat za různých jasů, ovšem tyto jasy musí být v rozmezí 10^6 cd/m^2 až k 10^{-6} cd/m^2 i když v daném okamžiku dokáže oko efektivně vnímat jas jen v rozsahu 10^4 cd/m^2 . Vidění za vysokých úrovní jasu je zprostředkováno především čípkovými fotoreceptory - fotopické vidění, a při nízkých úrovní jasu tyčinkovými fotoreceptory - skotopické vidění. Tyto rozdíly se fyziologicky projevují od prvních fází vizuálního zpracování obrazu.

Tyčinky a čípky jsou pojmenovány dle svých tvarů, nicméně na foveole se čípky svým tvarem podobají tyčinkám, vzhledem k tomu, že jsou v tomto místě hustě nashromážděny, jsou tenčí. Lepší vzájemné rozlišení je podle fotosenzitivních pigmentů, které tyčinky a čípky obsahují ve svých vnějších segmentech. V tyčinkách nalezneme fotosenzitivní pigment rhodopsin (zrakový purpur), zatímco čípky obsahují fotosenzitivní pigment iodopsin, velmi podobný rhodopsinu. Na sítnici lidského oka nalezneme tři druhy čípků obsahující pigment, který je citlivý na různé barvy, tzn. na různé oblasti spektra. Jedná se o čípky citlivé na zelený, modrý a žlutý pigment.

V klinické praxi ale měříme zrakovou ostrost obvykle pouze za vysokého kontrastu písmen či Landoltových prstenců, kontrast na tabulce se v těchto případech pohybuje kolem hodnoty 90 %. [2, 8, 12, 15]

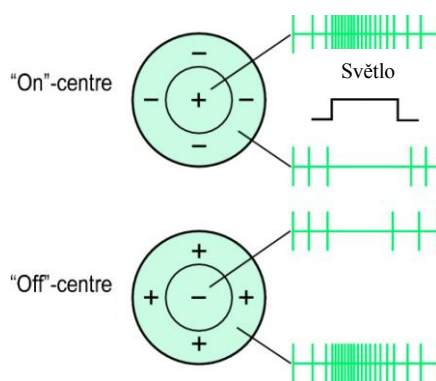
3.1 Receptivní pole

Zpracování obrazu je složitý chemický proces do něhož řadíme fotoreceptory na sítnici (tyčinky a čípky) a neurony (bipolární a gangliové buňky), které sbírají a následně odvádějí informace pomocí zrakového nervu z oka dále do mozku. [4, 6]

Jednotlivé neurony jsou vzájemně propojeny a každá buňka zrakové dráhy tj. každý neuron, je charakterizován pomocí receptivního pole, což je oblast sítnice,

kteřá jakmile je světlem stimulována působí odezvu daného neuronu. Velikost receptivního pole se liší podle intenzity stimulu a od centra sítnice do periferie se zvětšuje, v periferii může být jeho velikost až 1 mm. Receptivní pole jednotlivých neuronů se mohou překrývat. Vzhledem ke konvergenci receptorů na bipolárních a gangliových buňkách může být jedna gangliová buňka spojena s několika tyčinkami a čípkami, což potvrzuje i skutečnost, že existuje přibližně 1 milion gangliových buněk, a přibližně 100 milionů receptorů.

Receptivní pole se skládá z centrální části a z periferie a existují dva typy receptivního pole gangliových buněk. U prvního typu, typ „on-center“, se při dopadu světla do receptivního pole zvýší aktivita buňky a při dopadu světla do periferie dojde k jejímu snížení. Druhý typ se nazývá „off-center“ a vyznačuje se reakcí opačnou. Na obr. 7 můžeme vidět zvýšení aktivity „on-centra“ receptivního pole při stimulaci centra a snížení aktivity „off-centra“ receptivního pole při osvětlení centrální části. [2, 15, 16]

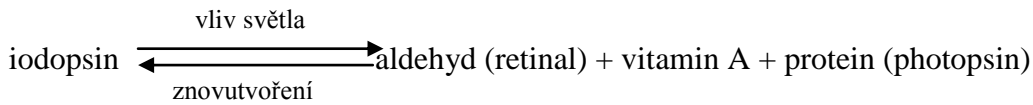


Obr. 7 – Receptivní pole typu on/ off (6)

3.2 Fotopické vidění

Fotopické vidění se vyznačuje vysokým prostorovým rozlišením. Nejvyšší rozlišení je v části zorného pole korespondujícího s foveou, vidění je barevné a dokonale citlivé na kmitání a pohyb pozorovaných předmětů. Fotopický systém využívá čípkové fotoreceptory, ve kterých nalezneme fotosenzitivní pigment iodopsin. Čípky mají poměrně rychlou časovou odezvu a nalezneme je v centrální části sítnice v místě tzv. žluté skvrny, směrem do periferie sítnice jejich počet klesá

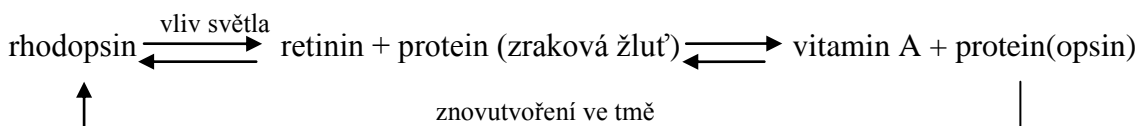
a jsou zde nahrazovány tyčinkami, přibližně jich je 7 milionů. Umožňují barevné rozlišení a zprostředkovávají ostré vidění za dobrých světelných podmínek. [5, 8]



Obr. 8 - schematické znázornění přeměny iodopsinu (7)

3.3 Skotopické vidění

Označení vidění bez působení čípkových fotoreceptorů jako vidění skotopické vzniklo dle skotomu v centrální oblasti sítnice, kde jsou pouze čípky, které při poklesu osvětlení již nereagují a vzniká centrální fyziologický výpadek známý jako skotom. Skotopické vidění je specifické horším prostorovým rozlišením zvláště při foveální fixaci, není barevné a při tomto vidění je náročné rozeznat pohyb a také je znemožněno čtení. Ale i při nízké úrovni osvětlení zůstává dobrá prostorová orientace. Skotopický systém využívá tyčinkové fotoreceptory, jejichž charakteristikou je časová reakce a jednotná spektrální citlivost. Prostřednictvím tyčinek vidíme a za šera a v noci, v lidském oku se jich nachází přibližně 130 milionů. Tyčinky obsahují fotosenzitivní pigment zvaný rhodopsin, který v roce 1851 objevil H. Müller. Fotosenzitivní substance tyčinky známá také jako zrakový purpur je lokalizována ve vnějším výběžku tyčinky, resp. v jeho kulovitých discích. V tyčinkách začíná zrakový proces absorpcí fotonu molekulou rodopsinu, která poskytne energii k dostání molekuly do aktivního stavu. Molekula je ale nestabilní a dojde k závěrečné chemické změně stavu, v této době dochází k vytvoření vitamínu A a proteinu zvaný opsin. Tento proces je vratný, ve tmě dochází k opětovnému vytvoření rhodopsinu. [5, 8]



Obr. 9 - schematické znázornění přeměny rhodopsinu (7)

3.4 Mezopické vidění

Změna ze skotopického vidění na vidění fotopické není ve skutečnosti nikterak náhlá, existuje celá řada jasů od hodnoty 0.01 cd/m^2 do 1 cd/m^2 , kde mechanismy tyčinek a čípků spolupracují. V rámci mezopického vidění fungují oba mechanismy zároveň, ale funkce čípků se začíná utlumovat a to je stanoveno jako rozsah mezopického vidění.

K mezopickému vidění dochází za soumraku, zejména při řízení vozidel kdy řidiči zjišťují, že posuzování vzdáleností a rozlišení objektů s nízkým kontrastem se velmi ztěžuje. Tento jev nastává z důvodu nedostatečné funkce čípků. [4]

3.5 Adaptace

Adaptací označujeme schopnost oka přizpůsobit se různým hladinám osvětlení. Nejedná se o změnu okamžitou, zvláště při rychlých a velkých změnách jasů musí dojít k přizpůsobení vidění. Rozlišujeme adaptaci na tmou a adaptaci na světlo. [5]

3.5.1 Adaptace na světlo

Při přechodu z tmavé místnosti do světlého prostoru dochází k oslnění a oči se musí přizpůsobit změně jasů. Adaptace na světlo je proces následné redukce citlivosti oka při expozici světla a zblednutí fotopigmentů. Oko na osvětlení reaguje zúžením zornic a díky této rychlé reakci se do oka se dostane méně světla. Tato reakce nastane okamžitě po osvětlení a spolu s přivíráním, či sevřením očních víček chrání před nadměrným oslněním.

Hlavní adaptace se odehrává přímo v sítnici, jedná se o biochemické pochody, které jsou podstatně pomalejší než zornicová reakce. Přejít z adaptovaného stavu na tmou do stavu adaptovaného na světlo může být nepříjemné, jako např. odchod z tmavé místnosti ven do slunečného dne. Zvýšená citlivost oka kvůli předchozí adaptaci na tmou poskytuje velkou část regenerovaných molekul fotopigmentů, které jsou připraveny zachytit fotony, proto je adaptace na světlo velmi rychlá. Přizpůsobení se světlu trvá několik sekund či desítek sekund. [5]

3.5.2 Adaptace na tmu

Adaptací na tmu nazýváme přizpůsobení se oka nižším úrovním jasu než je úroveň aktuální. Toto přizpůsobení vyžaduje nějaký čas dle intenzity ztlumení světla, během této doby dochází k regeneraci světlem vybledlých fotopigmentů a zvýšení citlivosti oka na utlumené světlo. Očekávaná adaptace na tmu by nenastala bez přítomnosti fotosensitivního pigmentu rhodopsinu obsaženého v tyčinkách.

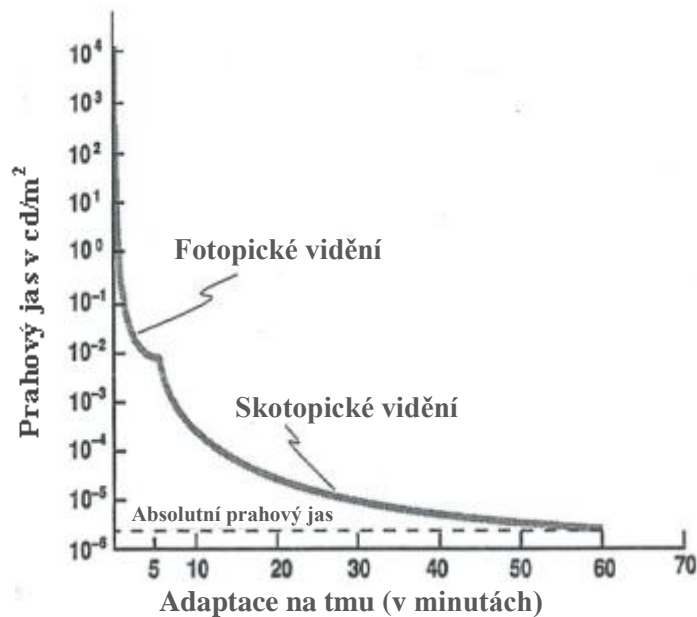
U adaptovaného oka je znemožněno čtení a je změněno vnímání barev, ale zůstává dobrá orientace v prostoru. Spolu se snižováním intenzity světla dochází ke změně v barevné citlivosti oka a mění se vnímání barev. Maximum citlivosti spektra se posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám. Při fotopickém vidění je zrak nejcitlivější na vlnovou délku 555 nm, tedy na žlutozelenou barvu, za skotopických podmínek se citlivost posouvá na vlnovou délku přibližně 500 nm, kde se nachází modrozelená barva a tato vlnová délka odpovídá největší citlivosti rhodopsinu. Tomuto jevu se říká Purkyňův posun. [5, 10]

S adaptací na tmu souvisí pojmy prahový jas a absolutní prahový jas. Nejnižší hodnota jasu, který dokáže oko v daném okamžiku ještě vnímat, se nazývá prahový jas. Absolutní prahový jas je minimální intenzita světla, kterou dokážeme ještě vnímat, jedná se o případnou nejnižší hodnotu prahového jasu. Při adaptaci klesá prahový jas spolu s časem až k minimálnímu rozeznatelnému jasu, což je hodnota absolutního prahového jasu. U každého pacienta lze získat křivku adaptace na tmu, pokud měříme prahový jas s časem, začínáme stavem adaptovaným na světlo. Pacient musí být před samotným měřením prahového jasu nějakou dobu ve tmě. Bylo zjištěno, že prahový jas klesá kontinuálně s dobou pacientova pobytu ve tmě. Po nějaké době jsou detekovány stále nižší a nižší jasy, až se asi po 60 minutách ve tmě dostaneme na hranici absolutního prahového jasu, kdy je oko plně zadaptováno na tmu. Znak s nižší úrovní svítivosti než je hodnota absolutního prahu nelze rozeznat.

Při adaptaci oka na tmu je podstatné, jestli je intenzita osvětlení snížena náhle, nebo zda se intenzita osvětlení snižuje postupně. Pro oko je přirozenější pomalé snižování intenzity světla, pokud dojde k náhlému snížení intenzity, vidění je na přechodnou dobu podstatně ztíženo až znemožněno a následná adaptace trvá delší dobu. Během adaptace dochází ke změně funkce sítnicových receptorů. K opětovné regeneraci rhodopsinu je třeba dostatek vitamínu A, jinak se nevytvoří potřebné množství rhodopsinu, nastane špatná funkce tyčinek a následně porucha adaptace

na tmu - šeroslepost. Dostatečně zadaptované oči obsahují pouze rhodopsin v tyčinkách, který regeneruje ve tmě v nepoškozené sítnici. [2, 3, 12]

Během adaptace na tmu dochází k zornicové reakci, zornice je schopna měnit svou velikost, a ve tmě se z důvodu nedostatku osvětlení může rozšířit až na velikost 8 mm. Rozšíření zornice nastává z důvodu větší možnosti proniknutí světla na sítnici, ale zároveň se mohou projevit aberace, které vidění ještě ztěžují a při běžném světle jsou značně zmírněny zúžením zornice.



Obr. 10 - Křivka adaptace na tmu (8)

Skutečnost, že má křivka adaptace na tmu dvě odlišné části naznačuje, že jsou do světelného procesu zapojeny dva mechanismy. První fáze, během které dochází k utlumení funkce čípků probíhá přibližně 5 - 10 minut, fází druhou je adaptace tyčinek, která je mnohem pomalejší. To je základ duplicitní teorie vidění, která předpokládá, že noční vidění pod úroveň jasů $0,01 \text{ cd/m}^2$, je zprostředkováno tyčinkami a fotopické vidění s jasy nad touto úrovní přísluší jinému mechanismu zprostředkovaného čípkou. Duplicitní teorii lze poměrně jednoduše dokázat. Např. pokud za jasné noci strávíme více než 15 minut ve tmě, stane se pro nás slabě svítící hvězda sotva viditelnou, zejména pokud tuto hvězdu sledujeme přímo foveolou, kde je absence tyčinek. Velmi nízká svítivost hvězdy je čípkou nedetekovatelná. Horní část křivky představuje aktivitu čípků a spodní část ukazuje reakce tyčinek (obr. 10).

Adaptace na nižší hladiny osvětlení je významnější než adaptace na světlo a také probíhá mnohem déle, je třeba dostatek času na regeneraci rhodopsinu. Obvyklá doba adaptace je 40 - 60 minut, ale u některých osob může být doba i delší. [2, 3, 12]

3.6 Kontrastní citlivost

Zraková ostrost udává informace pouze o kvalitě vidění za vysokého kontrastu je vyšetřována za umělého osvětlení ve vyšetřovací místnosti, ale pokud chceme předvídat kvalitu pacientova vidění v běžném životě, pomůže nám právě vyšetření kontrastní citlivosti.

Spolu se snižujícím se kontrastem se u dobře zaostřených znaků zobrazených na fovee snižuje ostrost jednotlivých písmen, a zároveň stoupá hodnota MUR . [4]

Kontrastní citlivost je jednoduše měřitelný parametr. Je určena kontrastem, který lze popsat jako vzájemný rozdíl jasů různých povrchů, např. pokud má bílé pozadí jas L_{max} , a černá písmena na toto pozadí mají jas L_{min} , tak je kontrast definován vzorcem

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max}}$$

K určení hodnoty kontrastní citlivosti potřebujeme znát prahový kontrast, kontrastní citlivost představuje jeho převrácenou hodnotu. Prahový kontrast lze charakterizovat jako nejmenší kontrast dvou objektů, při kterém jsme schopni rozeznat tyto objekty jako různě světlé. Čím je hodnota kontrastního prahu nižší, tím vyšší je jeho citlivost. Kontrastní citlivost závisí také na prostorové frekvenci. Závislost kontrastní citlivosti na prostorové frekvenci se označuje jako tzv. křivka kontrastní citlivosti, frekvence pozorované mřížky je pak určena počtem cyklů na stupeň. Cyklus je tvořen úhlovou šířkou jednoho světlého a jednoho susedního tmavého pruhu (velké prostorové frekvence - detaily předmětu, nízké frekvence - rozsáhlé objekty). U kontrastní citlivosti můžeme též sledovat souvislost s vízem, pokud místo vyšetření s mřížkou použijeme optotypů s proměnným kontrastem. Pokud chceme dostat křivku kontrastní citlivosti, vyšetřujeme kontrastní práh pro rozdílný počet cyklů na stupeň, tzn. pro rozdílné prostorové frekvence.

Změna citlivosti na kontrast je velmi často prvním projevem některých chorob, např. u katarakty může být u pacienta výborná zraková ostrost, ale při vyšetření

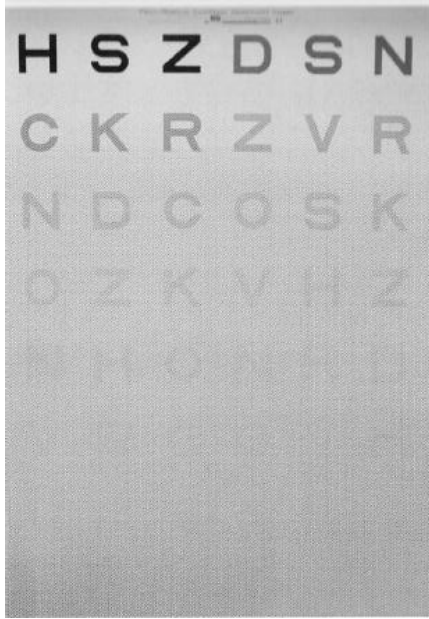
kontrastní citlivosti je znatelné zhoršení. Se změnou kontrastní citlivosti se můžeme setkat i u sítnicových onemocnění, po provedeném refrakčním zákroku, nebo u glaukomu. Užitečným pomocníkem při diagnostice jednotlivých chorob je sestrojení křivky kontrastní citlivosti, jednotlivá onemocnění se obvykle projevují typickou změnou křivky kontrastní citlivosti. [2, 6, 9, 13, 14, 15]

3.6.1 Vyšetření kontrastní citlivosti

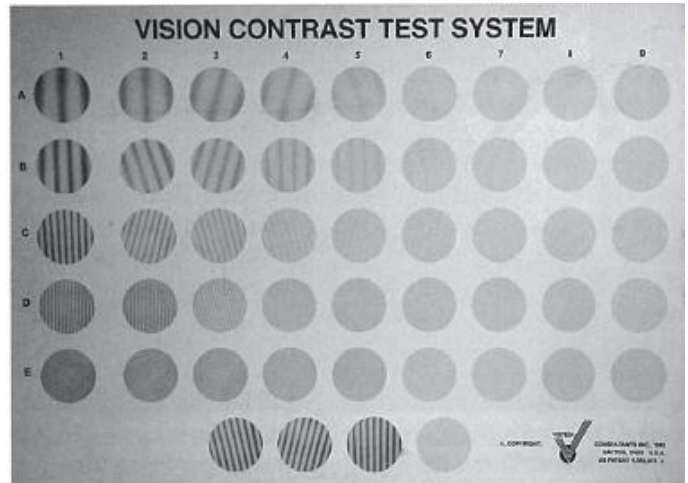
Během vyšetření kontrastní citlivosti jsou posuzovány informace o rozlišovacích schopnostech oka za sníženého kontrastu, nebo při různých kontrastních stupních. Kontrastní citlivost vyšetřujeme, stejně jako zrakovou ostrost, do dálky a do blízka. Samotné vyšetření se provádí na speciálních standardizovaných testech. Mezi nejčastěji používané testy patří optotypy se snižujícím se kontrastem, kde zjišťujeme nejnižší rozeznatelný kontrast písmen. Ale vyšetření na testech, při nichž se místo písmen používá sinusová mřížka (obr. 12), bývá přesnější.

U testu využívajícího sinusovou mřížku dochází k plynulému střídání jasových minim a maxim, zjišťujeme, při jaké kontrastní úrovni jsou proužky ještě rozlišeny. Tyto testy umožňují přímé zjištění křivky kontrastní citlivosti.

Nejnámější testy používané na měření zrakové ostrosti jsou dle Pelliho - Robsona (obr. 11). Jedná se o tištěný test na němž jsou písmena uspořádána do trojic. Pelliho - Robsonův test používá Sloanova písmena, jeden řádek testu tvoří dvě trojice o postupně klesajícím kontrastu. V každé trojici jsou písmena stejného kontrastu, kontrast se postupně snižuje od jedné trojice k druhé. Aby bylo zabráněno zapamatování si písmen a tím znehodnocení výsledků testu, používá se odlišný test pro pravé a levé oko. Středně těžkou změnu kontrastní citlivosti představuje její pokles o tři řady. Testy umožňují sledovat závislost kontrastní citlivosti na vízu. Vyšetření kontrastní citlivosti je velmi užitečným doplňujícím vyšetřením zrakové ostrosti. [6, 9, 13, 14, 15]



Obr. 11 – Test dle Pelliho – Robsona (9)



Obr. 12 - Test využívající sinusovou mřížku (5)

4 CROWDING FENOMÉN A KONTUROVÁ INTERAKCE

Schopnost identifikovat písmeno závisí nejen na jeho velikosti, ale i na vzdálenosti od ostatních písmen nebo jiných kontrastních obrysů, mezi které řadíme např. i okraj vyšetřovací tabulky. Tento jev je obecně nazýván crowding fenoménem, nebo konturovou interakcí.

V této kapitole bude vysvětlen rozdíl mezi těmito pojmy, protože spolu značně souvisí, přesněji můžeme říci, že interakce kontur je součástí crowding fenoménu. Tyto anomálie se běžně projevují u emetropů i ametropů, za fotopického i skotopického vidění.

Maximální zhoršení čitelnosti písmene vzniká obvykle ve chvíli, když je písmeno od okolních znaků v přibližně poloviční vzdálenosti své šířky, větší nebo menší rozstup způsobuje mírnější zhoršení. U optotypů, které se skládají z několika odlišných písmen, přispívá ke zhoršení zrakové ostrosti i několik dalších faktorů, jako jsou např. nepřesné pohyby očí při čtení písmen.

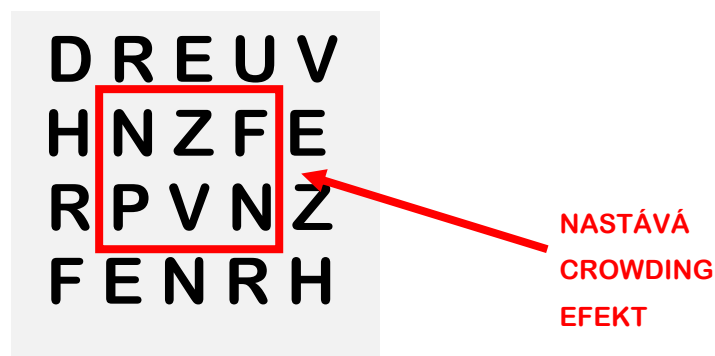
Zraková ostrost může být hodnocena nezávisle na crowding efektu a konturové interakci, a to prezentací samostatných písmen na pozadí bez blízkých obrysů. Účinek nepřesných očních pohybů může být selektivně odstraněn předložením speciálně upravené série tabulek, každá speciální tabulka se skládá ze stejných písmen nebo znaků ve stejném směru, tak aby v případě sledování optotypu nebyl s pohyby očí problém. Moderní tabulky písmen neeliminují ovlivnění konturami a efekt s tím související, ale jsou standardizované oddělením písmen, které je přímo úměrné jejich velikosti. [4, 7]

4.1 Crowding fenomén

Crowding efekt je nečastěji popisován v souvislosti s neobvyklým chováním amblyopických pacientů při čtení optotypové tabulky. Crowding efektem nazýváme zhoršení identifikace znaků namačkaných blízko sebe, název vychází z anglického slova „crowding“, což můžeme přeložit jako shlukování či nahromadění. Tento fenomén

lze nejlépe demonstrovat prezentací určitého množství znaků, kdy je jedinec povinen znaky rozeznat a identifikovat v pořadí které odpovídá sekvenčním fixačním pohybům očí ke každému písmenu. Podmínkou vzájemné interakce znaků je jejich specifická vzdálenost od sebe.

Crowding fenomén se skládá ze tří základních faktorů, konturové interakce, z rozdělení pozornosti mezi jednotlivé znaky, a z fixačních očních pohybů. Aby se crowding fenomén projevil, musí jedinec sledovat optotypovou tabulku s několika řádky, jedinec postupně rozlišuje jednotlivé znaky, na každý znak musí zaostřit, identifikovat jej a poté pokračovat na znak další, který opět zaostří a identifikuje. U znaků obklopených ze všech stran znaky jinými působí všechny tři základní faktory a nastává crowding fenomén (obr. 13).



Obr. 13 – Ilustrace crowding fenoménu (10)

Tento jev se výrazněji projevívá u amblyopických pacientů u nichž je abnormálně velká prostorová nejistota, či deformace znaků, což může mít dopad na kontrolu fixace a snížení zrakového výkonu. Pro pacienty s amblyopií jsou snadněji identifikovatelná písmena na koncích řádků. Písmena umístěná uvnitř rozeznat nemohou, nebo mohou být čtena v jiném pořadí. Předpokládá se, že celá tabulka obsahuje pro amblyopické oči příliš mnoho znaků, a proto mají potíže s jejich vzájemným oddělováním za účelem rozlišení. Při pozorování osamocené řádky znaků je crowding nad i pod znaky snížen a schopnost oddělit písmena od sebe se tedy značně zjednodušuje. Nejmenší vliv crowdingu nastane při pozorování osamocené znaku, v tomto okamžiku je zraková ostrost nejlepší. Pokud se zraková ostrost amblyopického oka výrazně zlepšívá u optotypů s méně písmeny, můžeme říci, že je přítomný crowding efekt.

Ale i s jedním izolovaným písmenem závisí měřená zraková ostrost na blízkosti okolní hrany, obrysu, nebo vzdálenosti doprovodných pruhů. Účinek takovýchto kontur na měření zrakové ostrosti je nazýván konturovou interakcí. [2, 7]

4.2 Konturová interakce

Jev konturové interakce je mnohem jednodušší než crowding efekt, u konturové interakce se posuzuje stacionární pohled oka, zatímco u crowdingu jsou vyžadovány pohyby očí na jednotlivé znaky v poli. Spolu se zvyšováním počtu znaků v tabulce roste příležitost pro rozdělení pozornosti při sledování jednotlivých znaků.

Ovlivňování kontur je typ prostorové interference, kde přilehlé obrysy zhoršují vizuální rozlišení centrálně fixovaného písmene. S konturovou interakcí se setkáme nejen u jednoduchého zobrazení znaků, ale i u zobrazení složitého, což je konturová interakce spolu s rozdělením pozornosti mezi znaky v poli. [7]

4.2.1 Konturová interakce u jednoduchých znaků

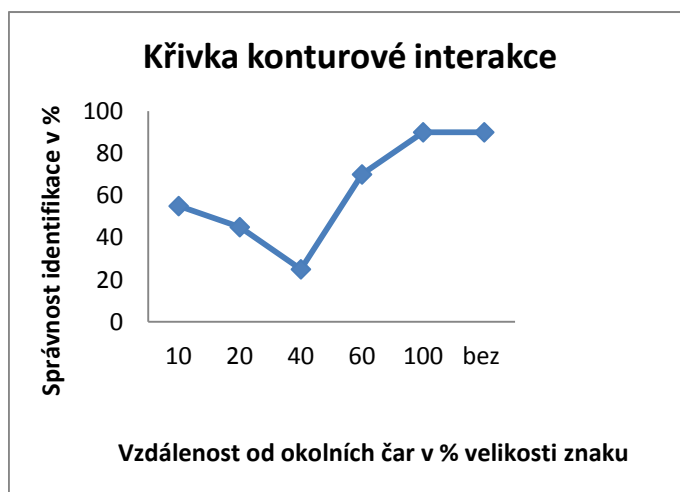
Konturová interakce může nastat u jednoduchého zobrazení znaků, jako je např. Landoltův prsteneček, Pflugerův hák, či písmeno obklopené čtyřmi čarami. Ve své nejjednodušší podobě můžeme tento jev ilustrovat pomocí Landoltových prstenců se čtyřmi obklopujícími čarami, délka těchto čar je rovna velikosti písmene a šířka stejná jako velikost mezery v prstenci (obr. 14).



Obr. 14 - vliv konturové interakce u Landoltova C (10)

Rozlišení mezery Landoltova C či rozeznání písmene, závisí na vzdálenosti obklopujících čar od prezentovaného znaku. Pokud jsou kontury velmi vzdáleny, optický systém rozliší orientaci mezery prezentovaného znaku obvykle bez obtíží.

Zhoršení rozlišení nastane při přiblížení čar na vzdálenost odpovídající poloviční velikosti písmene. Je zajímavé, že při zobrazení obklopujících kontur v těsné blízkosti znaku je rozlišení orientace mezery snadnější než v předchozím případě. Největší vliv na rozpoznání znaků mají obklopující kontury umístěné v kritické vzdálenosti od písmene, obvykle je tato vzdálenost rovna hodnotě $M\dot{U}R$, nebo násobku této hodnoty pro písmena bez interakce. Rozlišení znaků od čar závisí na jejich vzdálenosti, obklopující čáry jsou obvykle prezentovány ve vzdálenosti odpovídající 10, 20, 40, 60 a 100 % velikosti prezentovaného znaku. Pokud prezentujeme znaky s obklopujícími konturami v různých vzdálenostech a zkoumáme správnost jejich identifikace, vznikne křivka konturové interakce, její typický průběh je znázorněn na obr. 15.



Obr. 15 - Ilustrační křivka konturové interakce (10)

Měli bychom si uvědomit, že ztráta informací, nepřečtení znaku, z důvodu konturové interakce je prakticky nevyhnutelným prvkem lidského monokulárního i binokulárního vidění. V každodenním životě nalézáme při sledování okolí mnoho znaků v kritických vzdálenostech od okolí, jejichž rozlišení je ztíženo nebo znemožněno. [7, 19]

4.2.2 Konturová interakce u složitého zobrazení

S konturovou interakcí se setkáme nejen u jednoduchého zobrazení znaků, ale i u zobrazení složitého, což je konturová interakce spolu s rozdělením pozornosti mezi znaky v poli. Složitě zobrazení se může skládat z číslic, konstrukčně komplikovaných optotypů, či různě odlišných znaků. Jediný požadavek okulomotorického systému díky kterému je možné dokázat, že konturová interakce

v kombinaci s rozdělením pozornosti může způsobit zhoršení identifikace znaků ve složitém zobrazení je udržení poměrně stabilní fixace. Vliv konturové interakce a rozdělení pozornosti na identifikaci znaků je pro vjemy v centrálním i periferním vidění značně odlišný. Již před sedmdesáti lety byly u pacientů pozorovány potíže s rozlišením krátkých nesmyslných slov u periferního vidění, zatímco s rozpoznáním jednotlivých písmen potíže nenastaly. Toto pozorování prokazuje vliv konturové interakce, stejně jako ovlivnění identifikace znaků rozdělením pozornosti mezi jednotlivá písmena v nesmyslném slově.

Odlišnost rozdělení pozornosti a ovlivnění konturami v centru a periférii je dokázána prací Averbacha a Coriella [17], kteří prezentovali dva řádky písmen, po osmi stejně velkých písmenech s rozestupem velikosti jednoho písmene. Figurant fixoval do středu pole, a sledovali, jak se liší čitelnost písmen od centra k periférii. Dle očekávání byla nejčitelnější písmena v centru, ale písmena na koncích řádku byla snáze identifikovatelná než písmena umístěná mezi nimi. Tyto výsledky nám říkají, že stálá fixace očí může ve složitém zobrazení podstatně zhoršit identifikaci písmen v blízké periférii. Rozeznání písmen v periférii vidění je značně ovlivněno přítomností většího množství znaků, zatímco u centrálního vidění není ovlivnění tak velké.

Rozpoznání fixovaného písmene je ovlivněno především konturovou interakcí z bezprostředně obklopujících písmen, které jsou umístěny do vzdálenosti odpovídající šířce jednoho písmene. Písmena nacházející se mimo tuto oblast mají na identifikaci fixovaného písmene pouze malý vliv na rozdíl od identifikace písmen v periférii, která je významně ovlivněna okolními znaky nacházející se ve velké vzdálenosti. [7]

4.2.3 Mechanismus vzniku konturové interakce

Ovlivněním obrysů jednoduchých znaků dochází ke snižování zrakové ostrosti, tento efekt nelze z optického hlediska vysvětlit. Je možné, že pokles zrakového výkonu při fixaci vyvolává pokus o splnění několika úkolů, snaha udržet vnímání pruhu odděleně od písmene za současného rozpoznání písmene, ale toto je pravděpodobně sekundární efekt. Hlavní snížení zrakové ostrosti je nervového původu, vyplývající z vlastností receptivních polí. (viz kapitola 3.1)

Nervový původ konturové interakce byl dokázán několika experimenty jejichž výsledky naznačují podporu inhibičního efektu konturové interakce probíhajícího na nervové úrovni zrakového systému, kde se již setkávají smyslové informace

z obou očí. Toto se může odehrávat v jádře laterálního geniculata nebo, což je pravděpodobnější, v okcipitální kůře.

Existují tři obvyklá vysvětlení mechanismu konturové interakce. První teorie vysvětluje konturovou interakci na fyzikální úrovni. Fyzikální teorie nám říká, že prostorová frekvence složky doprovodných čar je zodpovědná za konturovou interakci snižující zjistitelnost kritické prostorové frekvence složek ve znaku. Toto vysvětlení předpokládá závislost relativní vzdálenosti kontur od znaku, tj. rozsah konturové interakce by se měl přizpůsobit velikosti sledovaného znaku.

Druhá teorie se primárně používá pro vysvětlení konturové interakce nefoveálních míst sítnice, dle tohoto vysvětlení je znak s obklopujícími čarami nevhodně seskupen a díky tomu jsou vizuální vlastnosti doprovodných čar nesprávně zařazeny jako stimuly a naopak. Tento typ vysvětlení konturové interakce by neměl záviset na jasu.

Třetí teorie mechanismu konturové interakce je upřednostňována nejčastěji a týká se receptivních polí, resp. antagonistických nervových interakcí mezi podněty, které jsou zpracovány pomocí společného receptivního pole neuronu. Tato teorie podporuje zjištění, že ke konturové interakci dochází za dichoptických podmínek, tj. prezentace znaků pro jedno oko a prezentace obklopujících pruhů pro oko druhé, což ukazuje, že tento jev nastává na úrovni zrakové kůry. Zároveň je u teorie týkající se receptivních polí známo, že se podíl antagonistického sítnicového receptivního pole snižuje během adaptace na tmu. [7, 20]

Experiment prováděný v rámci praktické části diplomové práce potvrdil teorii mechanismu konturové interakce na základě receptivních polí, což dokazuje i pokles velikosti konturové interakce spolu s jasnem. (viz kapitola 5)

5 EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE VLIVU JASU NA KONTUROVOU INTERAKCI

Experimentální část této práce byla zaměřena na sledování vlivu jasů na průběh křivky konturové interakce.

5.1 Cíl experimentální části

Cílem dále popisované experimentální části bylo zjištění, zda se konturová interakce projeví za různých jasových podmínek v případě, že provádíme měření ve vzdálenosti obklopujících kontur od znaku v absolutní hodnotě separace vztažené k základní hodnotě vízu, tj. zachováme stejný prostorový rozsah. Také chceme zjistit, zda dochází ke změně velikosti konturové interakce v závislosti na jasů a na základě výsledků určit, který z mechanismů vysvětlující konturovou interakci je v tomto případě příčinou.

Pro experimentální zhodnocení vlivu jasů na konturovou interakci v absolutní hodnotě separace nebyla nalezena ideálně odpovídající studie, ale existuje několik zahraničních studií zabývajících se velmi podobnou problematikou, např. „*Contour interaction for high and low contrast optotypes in the normal and amblyopic observers*” [18] a „*Foveal contour interaction for low contrast acuity targets*“ [19].

Předpokládáme, že se konturová interakce projeví za všech jasových podmínek, pokud bude vzdálenost obklopujících kontur od znaku vždy v absolutní hodnotě separace, nikoli relativní. Dalším předpokladem je pokles velikosti interakce s jasnem z důvodu zapojování jiných mechanismů podílejících se na procesu vidění.

5.2 Soubor a metodika

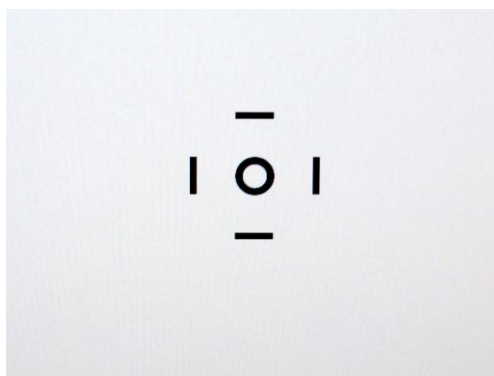
5.2.1 Probandi

Experimentu se zúčastnilo pět probandů z řad studentů magisterského studia optometrie na Univerzitě Palackého v Olomouci, žádný z figurantů neměl významnou refrakční vadu. Podmínkou účasti figuranta ve studii byla normální zraková ostrost,

normální binokulární vidění a nepřítomnost amblyopie, či očních onemocnění. Probandi byli ve věku 22 - 24 let, ženského pohlaví. Před samotným experimentem byl od probandů získán informovaný souhlas, kde byla vysvětlena povaha studie, její průběh a důsledky.

5.2.2 Metodika výzkumu

Měření probíhalo v laboratoři optometrie, na katedře optiky Univerzity Palackého v Olomouci. Softwarově generované optotypy byly prezentovány pomocí širokoúhlého 22 palcového PC monitoru ASUS VW 220T s obnovovací frekvencí 60 Hz a rozlišením 1680/1050. Probandi měli a úkol rozlišit písmeno, které bylo nejprve prezentováno samostatně a poté s okolními konturami různě vzdálených od písmene. Identifikace písmene se uskutečnila pro několik různých úrovní jasu. K testování konturové interakce bylo použito Sloanovo bezpatkové písmo, rastrového vzoru 5x5 s detailem o velikosti 1/5 výšky znaku. Vzdálenost kontur byla měřena v absolutní hodnotě separace. Jako doprovodné kontury byly použity čtyři čáry, které obklopovaly písmeno zprava, zleva, shora, zdola, výška čar odpovídala výšce znaku a šířka čar byla rovna 1/5 jeho výšky (obr. 16). Kontury byly prezentovány v separacích pohybující se od hodnoty 0,317 až do hodnoty 3,17 úhlových minut, pro všechny jasové podmínky, měřeno od okraje písmene k okraji kontury.



Obr. 16 – Sloanovo písmo s doprovodnými konturami (11)

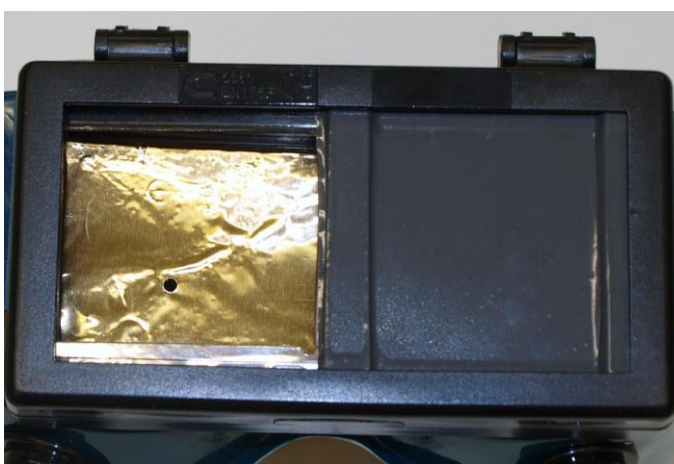
Testování probíhalo monokulárně, vyšetřovaný si sám zvolil, které oko bude testováno a které zakryto. Probandům byla pomocí opěrky zafixována hlava, v této pozici za normálního osvětlení místnosti sledovali zrcadlové, počítačem

generované optotypy, pro měření visu byla použita logaritmická stupnice minimálního úhlu rozlišení.

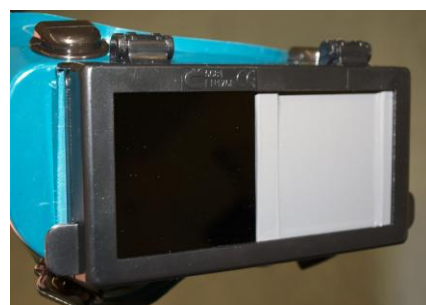
Experiment se uskutečnil ve čtyřech rozdílných jasových podmínkách. Požadované změny jasu bylo dosaženo filtry označenými čísly 1, 2 a 3, tyto filtry redukovali jas. Hodnota jasu bílého pozadí bez filtru byla 195 cd/m^2 , jas s filtrem č.1 poklesl na $19,7 \text{ cd/m}^2$, s filtrem č.2 na hodnotu $1,46 \text{ cd/m}^2$ a s filtrem č.3 na $0,21 \text{ cd/m}^2$. Spolu se snížením jasu došlo k odpovídajícímu zvětšení pozorovaných písmen z původní hodnoty $-0.20 \log MÚR$ až na hodnotu $0,40 \log MÚR$. Jas byl měřen jasoměrem LMT L1003.

Studie byla zahájena odhadem hodnoty vizu na základě identifikace Sloanových znaků na řádkovém optotypu, poté si subjekt nasadil speciálně vyrobené brýle se stenopeickou clonou (obr. 17) umístěnou ve vzdálenosti 25 mm před okem, clona zakrývala nevyšetřované oko a před pupilou vyšetřovaného oka byl otvor o velikosti 2,5 mm. Stenopeická clona byla použita z důvodu stejné výchozí pozice vstupní pupily pro všechny probandy. Prvním krokem bylo zjištění stabilní hladiny vizu, prezentováním sady 50-ti náhodně generovaných samostatných písmen stejné velikosti (dále jen sady písmen). Úkolem probanda bylo prezentovaná písmena správně identifikovat,

pokud si nebyl jist, musel hádat. Sada písmen byla účelně prezentována několikrát za sebou, předpokládáme zvyšování správnosti identifikace znaků spolu s prezentací další sady, což je způsobeno učícím efektem.



Obr. 17 – brýle se stenopeickou clonou (11)



Obr. 18 – brýle s filtrem snižujícím jas (11)

Za ideálně stabilní hladinu visu byla považována taková úroveň, když se správnost identifikace pohybovala v rámci 85-95 % i po několika opakování

celé sady písmen. Při překročení 95% správnosti byla velikost optotypů snížena, testovaná hladina v tomto případě nebyla optimální a identifikace písmen se pro probanda stává příliš snadnou, konturová interakce nevytváří typickou křivku, což bylo při našem měření i ověřeno. Pokud tento případ nastal, tak se celý proces opakoval prezentací znaků o menší velikosti, případné jemné doladění vízu za účelem stanovení stabilní hladiny bylo řešeno změnou pozorované vzdálenosti.

Před použitím obklopujících kontur došlo k opětovnému ověření stabilní hladiny visu prezentací tří sad písmen. Pokud se i po odprezentování třetí sady písmen pohybovala správnost mezi 85-95 %, bylo písmeno obklopeno doprovodnými konturami, jejichž velikost je popsána výše. Doprovodné pruhy byly umístěny v pěti rozdílných separacích, v hodnotě 0,317; 0,63; 1,27; 1,90; a 3,17. Tyto hodnoty jsou uvedeny v úhlových minutách a odpovídají vzdálenosti 10, 20, 40, 60 a 100 % velikosti základního znaku (tj. odpovídající vízu bez použití filtru). Posloupnost vzdáleností písmene od čar byla určena náhodným výběrem, vzdálenost se tedy postupně nezmenšovala či nezvětšovala, ale první byla čtena např. písmena s konturami vzdálenými 1,27'; poté 0,317' atd. Poslední sada písmen byla prezentována bez doprovodných kontur a ověřovala stabilní hladinu vízu. Po přečtení šesti sad písmen následovala krátká pauza, po které se z důvodu zpřesnění experimentu prezentace šesti sad písmen zopakovala.

Celý tento cyklus, tzn. zjištění stabilní hladiny visu a obklopení písmene konturami v různých vzdálenostech se opakoval s použitím filtru č. 1, č. 2, a č. 3. Spolu se snížením jasu poklesla hodnota vízu a došlo ke zvětšení pozorovaného znaku. Před začátkem vyšetření s filtry probíhala adaptační doba během které měl proband nasazené brýle s filtrem a stenopeickou clonou, se zvyšováním hodnoty filtru se prodlužovala i adaptační doba, např. s filtrem č. 3 se adaptační doba u některých probandů prodloužila na 45 minut až 1 hodinu.

Během celého vyšetření se dělaly přestávky dle potřeb probanda, ale i během pauzy musel mít nasazené brýle, jinak by se oko přizpůsobilo okolnímu světlu, proces adaptace by byl přerušen a musel by se opakovat.

Určení stabilní hladiny vízu za všech jasových podmínek je velmi důležitý a poměrně náročný proces, jak již bylo řečeno, pokud by se správnost identifikace písmen stále zvětšovala, došlo by ke zkreslení výsledků výzkumu a díky tomu k jeho znehodnocení z důvodu nestabilní hladiny vízu.

5.3 Výsledky

Procenta správných odpovědí jednotlivých probandů jsou vyjádřeny pomocí grafů. Pro lepší přehlednost jsou výsledky prezentovány jak na samostatném grafu pro každého figuranta, tak na grafu společném, kde můžeme sledovat průměrné hodnoty konturové interakce všech figurantů za všech jasových podmínek.

Svislá osa všech grafů představuje zprůměrované hodnoty správných odpovědí v procentech. Hodnoty na vodorovné ose představují úhlovou separaci, která byla pro všechny jasové podmínky neměnná. Průběh konturové interakce s použitím jednotlivých filtrů je na grafech pro větší přehlednost znázorněn čtyřmi barvami, každá barva představuje jeden filtr. Filtr 0, tzn. stav bez použití filtru je znázorněn zelenou barvou, modrá barva představuje filtr číslo 1, filtr s číslem 2 představuje červená barva, a žlutá barva znázorňuje křivku s filtrem číslo 3.

5.3.1 Data jednotlivých probandů

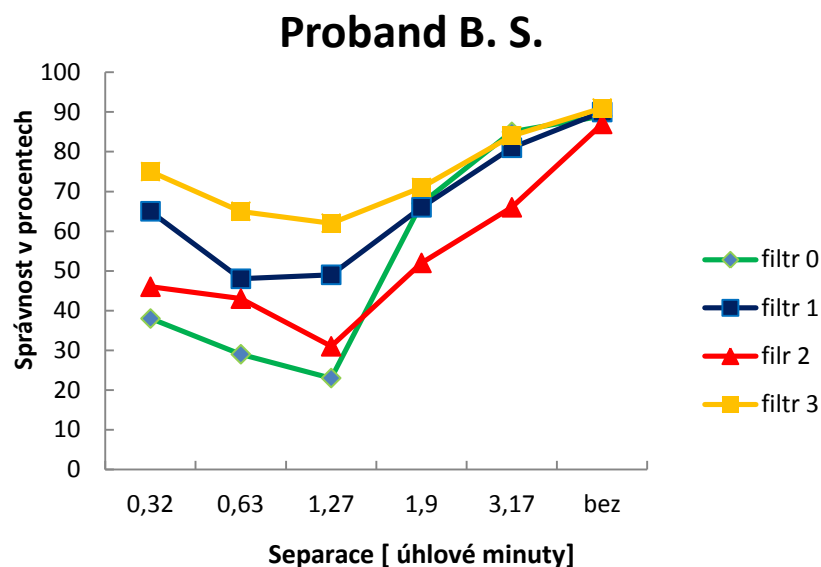
Proband B. S.

Graf č. 1 znázorňuje výsledné hodnoty probanda B. S. bez filtru, s filtrem č. 1, 2, a 3. Na zjištěné stabilní hladině visu bez filtru nastal probanda B. S. maximální pokles správnosti odpovědí u hodnoty separace 1,27', správnost odpovědí poklesla 3,87 krát.

S filtrem č. 1 nastal největší pokles identifikace znaků při úhlové separaci o hodnotě 0,63', kde správnost rozlišení znaků poklesla 1,88 krát

S filtrem č. 2 nastal největší pokles u separace 1,27', kde proband správně rozlišil 31 % znaků, a správnost identifikace poklesla 2,8 krát.

S filtrem č. 3 nastal největší pokles u separace hodnoty 1,27', kde správnost identifikace poklesla 1,47 krát.



Graf č. 1 – Data probanda B. S. (2)

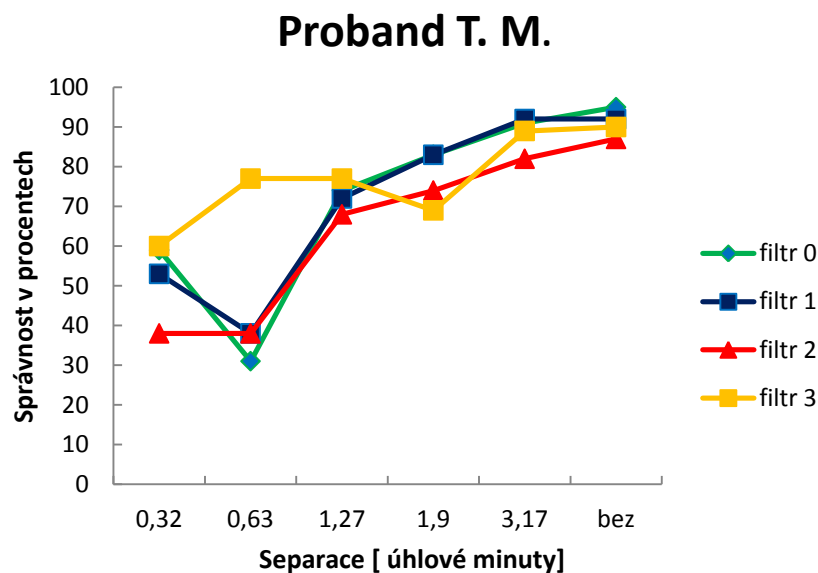
Proband T. M.

Graf č. 2 znázorňuje výsledné hodnoty probanda T. M. bez filtru, a s filtrem č. 1, 2 a 3. Největší pokles v identifikaci písmen bez použití filtru nastal u hodnoty separace 0,63', rozlišení znaků v tomto případě pokleslo 3,06 krát.

S filtrem č. 1 nastal největší pokles při stejné separaci jako bez filtru, tzn. při hodnotě 0,63', rozlišení kleslo 2,42 krát.

S filtrem č. 2 nastal největší pokles identifikace znaků dokonce při dvou hodnotách separace velikosti 0,32' a 0,63', správnost klesla 2,29 krát.

S filtrem č. 3 nastal u probanda T. M. největší pokles u hodnoty separace 0,32', správnost identifikace znaků poklesla 1,5 krát a od této hodnoty se počet správně identifikovaných znaků zvyšoval.



Graf č. 2 – Data probanda T.M. (2)

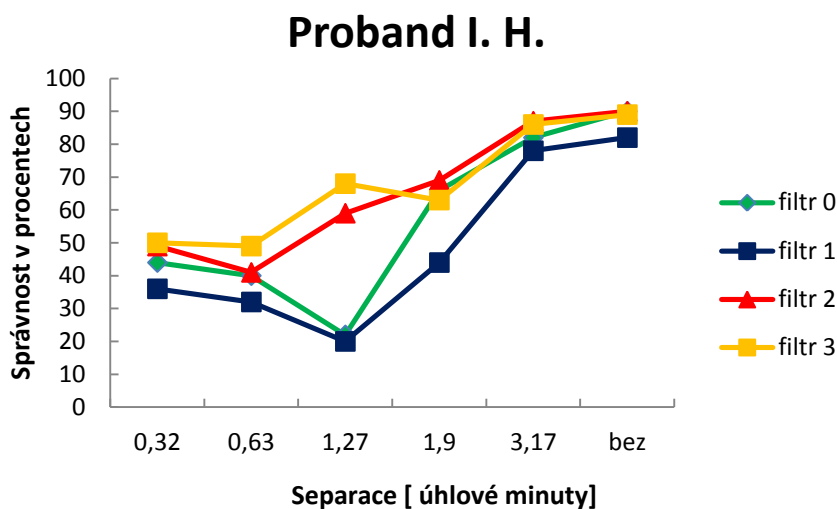
Proband I. H.

Na grafu č. 3 jsou znázorněny výsledné hodnoty probanda I. H. bez filtru, s filtrem č. 1, 2 a 3. Při sledování znaků bez filtru nastal u probanda I. H. největší pokles identifikace znaků u separace hodnoty 1,27', správnost rozlišení znaků poklesla 4,05 krát.

S filtrem č. 1 nastal největší pokles identifikace znaků u stejné hodnoty separace jako bez filtru, rozlišení znaků pokleslo 4,1 krát.

Při sledování znaků s filtrem č. 2 nastal největší pokles v identifikaci znaků u hodnoty separace 0,63', správnost identifikace poklesla 2,2 krát. Od tohoto bodu správnost identifikace stoupala až na 87 %.

S filtrem č. 3 nastal největší pokles ve správnosti odpovědí u hodnoty separace 0,63', identifikace znaků v tomto případě klesla 1,82 krát.



Graf č. 3 – Data probanda I. H. (2)

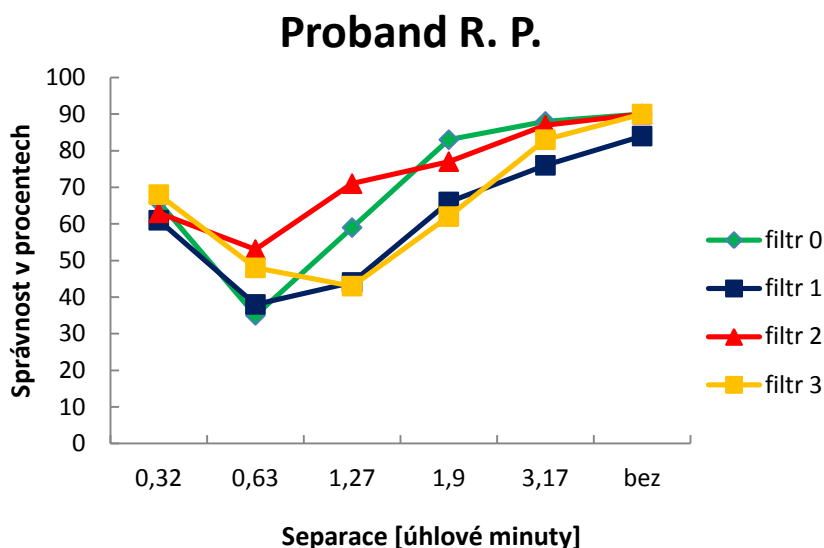
Proband R. P.

Graf č. 4 znázorňuje hodnoty měření probanda R. P. bez filtru, a s filtrem č. 1, 2 a 3. Největší pokles v identifikaci písmen bez použití filtru nastalo u hodnoty separace 0,63', v případě největšího propadů křivky klesla identifikace znaků 2,57 krát.

Při prezentaci znaků s filtrem č. 1 nastal největší pokles rozpoznání písmen u separace hodnoty 0,63', správnost identifikace písmen u této hodnoty poklesla 2,21 krát.

S filtrem č. 2 nastalo největší zhoršení identifikace znaků také při separaci 0,63', v tomto případě kleslo rozlišení písmen 1,7 krát.

S posledním filtrem č. 3, rozlišení znaků nejvíce pokleslo u separace 1,27' správnost identifikace znaků poklesla 2,09 krát.



Graf č. 4 - Data probanda R. P. (2)

Proband P. K.

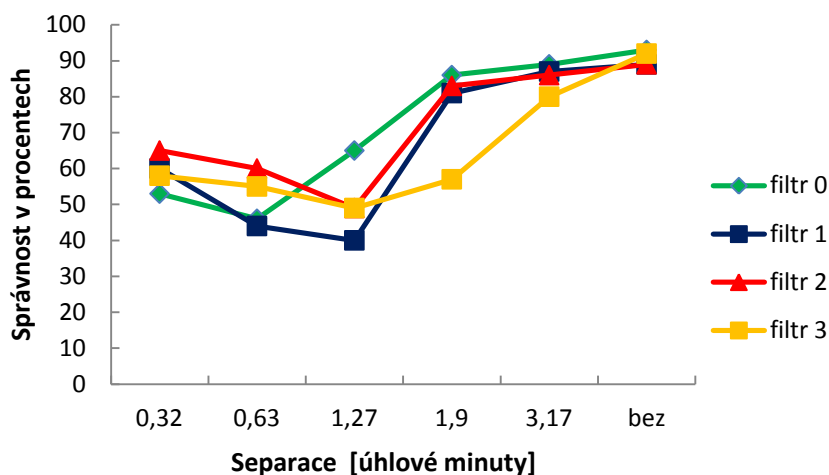
Na grafu s číslem 5 jsou jednotlivě znázorněny hodnoty probanda P. K. bez filtru, s filtrem č. 1, 2 a 3. Při prezentaci znaků bez filtru nastal největší pokles správnosti identifikace u separace 0,63', kde správnost identifikace poklesla 2,02 krát.

S filtrem č. 1 nastal největší pokles správnosti identifikovaných znaků u hodnoty separace 1,27', správnost identifikace při této hodnotě separace poklesla 2,23 krát.

Při prezentaci znaků s použitím filtru č. 2 nastalo největší zhoršení také u hodnoty separace 1,27', rozpoznání znaků při této separaci pokleslo 1,82 krát.

S filtrem č. 3 nastal největší pokles u hodnoty separace 1,27', kdy identifikace znaků poklesla na 1,88 krát.

Proband P. K.



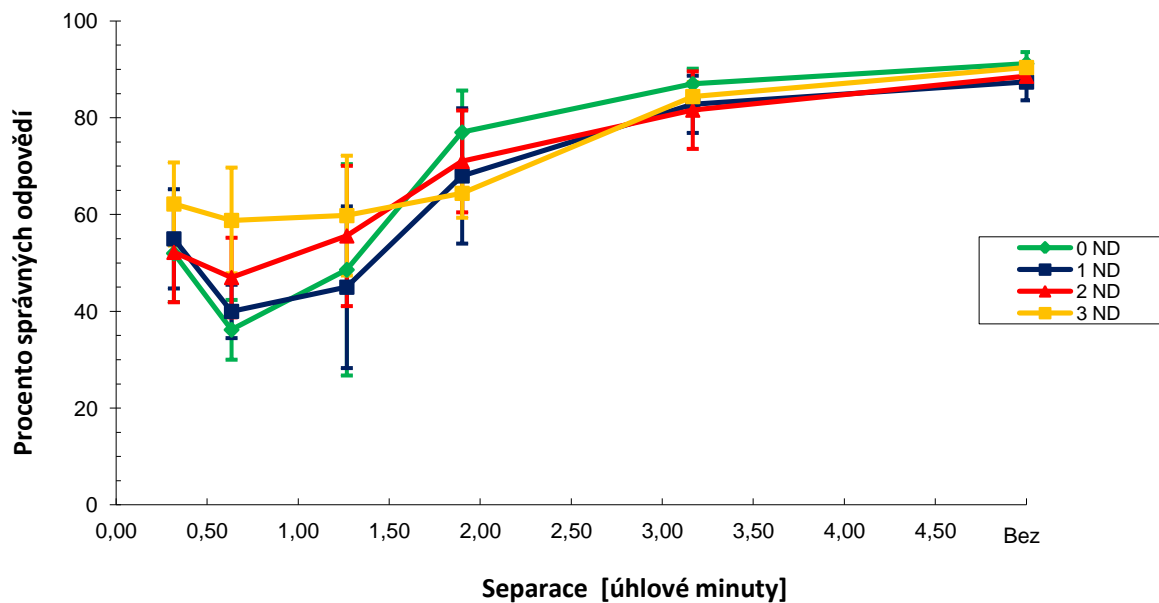
Graf č. 5 – Data probanda P. K. (2)

5.3.2 Komplexní data

Z výše uvedených grafů můžeme vidět, že průběh křivky konturové interakce a její rozsah je u jednotlivých probandů přibližně stejný. Největší rozdíl je u posledního použitého filtru, kde můžeme vidět, že konturová interakce nastává ve stejném rozsahu, ale její velikost je podstatně menší než velikost křivek konturové interakce u ostatních filtrů.

Komplexní graf znázorňuje průměrné hodnoty dat všech figurantů, včetně chybových úseček reprezentujících směrodatnou odchylku dat. Správnost identifikace znaků při prezentaci bez filtru celkově poklesla 2,52 krát, maximální pokles byl při hodnotě separace 0,63'. S filtrem č. 1 poklesla správnost identifikace 2,19 krát, maximální pokles byl také při hodnotě separace 0,63'. Při prezentaci znaků s filtrem č. 2 poklesla správnost identifikace u hodnoty separace 0,63', rozpoznání znaků pokleslo 1,89 krát. S nejtmašším filtrem č. 3 poklesla správnost identifikace znaků 1,54 krát, taktéž při separaci hodnoty 0,63'.

Závěrečný graf dokazuje skutečnost, že spolu se zvyšování hodnoty filtru, tzn. se snižováním jasu klesá velikost konturové interakce.



Graf č. 6 – komplexní data (2)

5.4 Diskuze

Odpovídající studie zabývající se problematikou vlivu jasu na konturovou interakci nebyla nalezena, ale existuje několik studií s problematikou podobnou. V této části budou porovnány dvě odpovídající studie s výsledky experimentu, prováděného na Univerzitě Palackého v Olomouci.

Studie „*Contour interaction for high and low contrast optotypes in the normal and amblyopic observers*”[18] se zabývala zkoumáním vlivu kontrastu na konturovou interakci u normálních, ale i amblyopických probandů. Výzkumu se zúčastnilo celkem 30 probandů (19 normálních a 11 amblyopických), probandům byla testována zraková ostrost pomocí PC generovaných optotypů, za vysokého (80%) a nízkého (6%) kontrastu. Rozsah crowdingu byl měřen za vysokého a nízkého kontrastu při měnící se vzdálenosti písmen od doprovodných čar, přičemž doprovodné čáry byly vždy ve vzdálenosti násobků šířky detailu pozorovaného znaku. Tato studie prokázala, že postavení doprovodných kontur má významný vliv na rozlišení písmen za vysokého kontrastu, u amblyopických i normálních probandů, ale za nízkého kontrastu žádný významný efekt prokázán nebyl. Ze studie také vyplývá, že crowding efekt

je při testování prahových hodnot u amblyopických i normálních očí podobný, a zároveň se projevuje pouze za vysokého kontrastu znaků.

Druhá porovnávaná studie s názvem „*Foveal contour interaction for low contrast acuity targets*“ [19] se zabývala konturovou interakcí za vysokého a nízkého kontrastu znaků, ale na rozdíl od předchozí studie [18] používá obklopující kontury v pevné úhlové separaci, namísto používanějších násobků šířky detailu pozorovaného znaku. Procento správnosti identifikace písmen bylo stanoveno u 4 dospělých figurantů pomocí PC generovaných Sloanových optotypů vysokého a nízkého kontrastu, obklopených 4 stejně kontrastními doprovodnými pruhy. Znaky nízkého kontrastu byly vybrány tak, aby každému probandovi snižovaly zrakovou ostrost o 0,2 a 0,4 logMÚR. V této studii jsou křivky konturové interakce za vysokého a nízkého kontrastu velmi podobné. Z výsledků studie „*Foveal contour interaction for low contrast acuity targets*“ [19] vyplývá, že u centrálního vidění dochází ke konturové interakci bez ohledu na velikost nebo kontrast znaku, pokud jsou prezentované znaky ve fixní zóně několika úhlových minut.

První porovnávaná studie [18] se shoduje s prováděnou studií pouze v počátečním stádiu, kde říká, že postavení doprovodných kontur má na identifikaci znaků za vysokého kontrastu velký vliv. Předpokládáme, že absence jevu konturové interakce za nižšího kontrastu nastane zejména z důvodu relativní hodnoty vzdálenosti doprovodných kontur od znaku.

Výsledky druhé porovnávané studie [19] částečně korespondují s výsledky studie prováděné v rámci této diplomové práce, v porovnávané studii se zkoumala konturová interakce v závislosti na kontrastu a v naší studii jsme zkoumali vliv změny jasu. Obě studie byly prováděny s fixní hodnotou vzdálenosti doprovodných kontur od pozorovaného znaku a díky tomu se u obou studií projevila konturová interakce za všech kontrastních a jasových podmínek.

Dle výsledků studie provedené v rámci této diplomové práce můžeme říci, že k projevu konturové interakce dochází za všech jasových podmínek, za předpokladu prezentace kontur ve fixní vzdálenosti od znaků. Rozsah konturové interakce byl u všech filtrů stejný, ale velikost interakce se měnila v závislosti na jasu. Nejmenší interakce byla při pozorování znaků s filtrem č. 3, kde se výsledná křivka konturové interakce lišila od typického průběhu, což bylo způsobeno jiným zpracováním obrazu, protože při snížení jasu s použitím filtru č. 3 (jas snížen na hodnotu 0,21 cd/m²)

se pohybujeme v oblasti vidění mezopického, nikoli fotopického jako s předchozími filtry.

Experiment byl souběžně za obdobných podmínek prováděn na pracovišti Department of Vision and Hearing Sciences, Anglia Ruskin University, Cambridge. Výsledky výzkumu na tomto pracovišti měly obdobný charakter jako výsledky studie prováděné v rámci této diplomové práce. Obě studie jsou v současnosti připravovány ke společné publikaci v časopise Vision Research [20].

Výsledky provedené experimentální studie „Vliv jasu na konturovou interakci“ potvrzují objasnění mechanismu konturové interakce založené na inhibičních procesech v receptivních polích, tato teorie také vysvětluje pokles velikosti konturové interakce spolu s jasem.

6 ZÁVĚR

Měření zrakové ostrosti je součástí každého vyšetření zraku prováděného optometristou, či oftalmologem, málokdo si ale uvědomuje, že je rozlišení znaků na optotypové tabulce ovlivněno i designem znaků a jejich vzájemným rozestupem. Optotypové tabulky běžně používané ve zdravotnických zařízeních mají svůj specifický design, kde je vzájemný rozestup znaků přesně určen, aby nedocházelo k ztížení vyšetřovacích podmínek. Ale u běžných designově provedených nápisů, či různých značek není vzájemná vzdálenost znaků a okolního prostředí přesně určena. Znaky mohou být namačkány těsně u sebe, což ztěžuje či dokonce znemožňuje jejich rozlišení, tento jev se nazývá konturová interakce, či crowding fenomén.

Cílem teoretické části této diplomové práce bylo popsat a vysvětlit pojem konturová interakce a zároveň vysvětlit provázanost s crowding fenoménem a jejich souvislost s vyšetřením zrakové ostrosti. V praktické části jsme experimentálně dokazovali konturovou interakci za různých jasových podmínek a následně zkoumali, zda k tomuto jevu dochází na všech úrovních jasu.

Výsledky experimentální části nám ukázali, že konturová interakce nastává za všech zkoumaných podmínek, ale spolu se snížením jasu se její velikost snižuje, což poukazuje na mechanismus vzniku konturové interakce na základě inhibičních procesů v oblasti receptivních polí.

Experiment prováděný v rámci praktické části této diplomové práce byl za podobných podmínek proveden na pracovišti Department of Vision and Hearing Sciences, Anglia Ruskin University, Cambridge, a jejich výsledky měly podobný charakter. V současnosti jsou závěry z obou studií připravovány k publikaci do časopisu Vision Research.

Tato práce byla vytvořena za účelem seznámení optometristů s nepříliš známou problematikou crowding fenoménu a konturové interakce, a uvědomění si jejich existence. Měly bychom si uvědomit, že se jedná o jevy vyskytující se v běžném životě, které mohou ovlivňovat rozlišení a identifikaci určitých znaků, pokud jsou nevhodně vzdáleny od sebe nebo nevhodně umístěny, např. zarámované písmeno či číslice.

ZDROJE

Použitá literatura a další zdroje:

- [1] BENJAMIN W.J. *Boris'h Clinical Refraction*, Butterworth-Heinemann Elsevier, Copyright 2006, ISBN: 13: 978-0-7506-7524-6

- [2] TUNNACLIFFE A. H. *Introduction to Visual Optics*, Asociation of Brithish Dispensing Opticians 1993, ISBN: 0 9009 928 3

- [3] NORTON T. T., CORLISS D. A., BAILEY J. E. *The Psychophysical measurement of visual function*; Butterworth-Heinemann Limited 2002, ISBN: 978-0-7506-9935-8

- [4] SYNEK S., SKORKOVSKÁ S. *Fyziologie oka a vidění*, Grada Publishing, a.s. 2004, ISBN: 80-247-0786-1

- [5] AUTRATA R., ČERNÁ J. *Nauka o zraku*, NCO NZO Brno 2006, ISBN: 80-7013-362-7

- [6] ROZSÍVAL P. A KOL. *Oční lékařství*, Galén 2006, ISBN: 80-7262-404-0

- [7] FLOM M. C. *Contour interaction and the crowding effect*, Problems in Optometry, April-June 1991

- [8] SIMUNOVIC M. P., CALVER R. *Crowding effect under scotopic condtion*, Vision Research 44 (2004) 963-969

- [9] ŘEHÁK J., ŘEHÁK M. A KOL. *Venózní okluze sítnice*, Grada Publishing a.s. 2011, ISBN: 978-80-247-3480-4

- [10] HOLIŠOVÁ K. *Barevné vidění: bakalářská práce*, Brno: Masarykova univerzita, Fakulta lékařská, 2007

- [11] HYCL J. *Oftalmologie, minimum pro praxi*, Triton 2006, ISBN: 80-7254-827-1
- [12] KVAPILÍKOVÁ K. *Anatomie a embryologie oka*, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, Brno 2000, ISBN: 80-7013-313-9
- [13] VENTRUBA J. *Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení*, Česká oční optika číslo 1/2008, únor 2008, ročník 49, ISSN: 1211-233X
- [14] KNOT J. *Věkem podmíněná makulární degenerace, aneb proč ji optik musí znát 2. Část*, Česká oční optika číslo 4/2010, listopad 2010 ročník 51, ISSN: 1211-233X
- [15] PLUHÁČEK F. *Fyziologická optika-výukové materiály k předmětu*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2008
- [16] ROSENFELD M., LOGAN N. *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*, Edinburg London NY Oxford Philadelphia 2009, ISBN: 978-0-7506-8778-2
- [17] AVERBACH E., CORIELL A. S. *Short-term memory in vision*. Bell Systems Technical Journal. 40, 309-328.
- [18] SIMMERS A. J., GRAY L. S., MCGRAW P. W., WINN B. *Contour interaction for high and low contrast optotypes in the normal and amblyopic observers*, *Ophthalmics and Physiologist Optics* 1999
- [19] SIDEROV J., WAUGH S. J., BEDEL H. E. *Foveal contour interaction for low contrast acuity targets*, *Vision Research* 77 (2013) 10-13

- [20] 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- připravováno k tisku
- [21] LISTY OČNÍCH OPTIKŮ: *Praktická refrakce*, Essilor International, 2007

Obrázky

- (1) Dle vzoru TUNNACLIFFE A. H. *Introduction to Visual Optics*, Asociation of Brithish Dispensing Opticians 1993, ISBN: 0 9009 928 3
- (2) Čtecí test firmy Essilor
- (3) ROSENFELD M., LOGAN N. *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*, Edinburg London NY Oxford Philadelphia 2009, ISBN: 978-0-7506-8778-2, obrázek dodatečně pozměněn
- (4) <http://zdravi.e15.cz/clanek/postgradualni-medicina/vekem-podminena-makularni-degenerace-principy-a-lecba-450134>
- (5) ROSENFELD M. LOGAN N. *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*, Edinburg London NY Oxford Philadelphia 2009, ISBN: 978-0-7506-8778-2
- (6) [http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Field+\(disambiguation\)](http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Field+(disambiguation))
- (7) PLUHÁČEK F. *Fyziologická optika-výukové materiály k předmětu*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2008
- (8) TUNNACLIFFE A. H. *Introduction to Visual Optics*, Asociation of Brithish Dispensing Opticians 1993, ISBN: 0 9009 928 3, obrázek dodatečně pozměněn

(9) SYNEK S., SKORKOVSKÁ S. *Fyziologie oka a vidění*, Grada Publishing, a.s.
2004, ISBN: 80-247-0786-1

(10) Vlastní tvorba

(11) Vlastní fotografie

Tabulky a grafy

(1) Dle vzoru VESELÝ P. *Testování zrakové ostrosti prahovou interpolační metodou log MAR ETDRS*, Česká oční optika číslo 2/2008, červen 2008, ročník 49, ISSN: 1211-233-X

(2) Vlastní tvorba

Přílohy

Informace a informovaný souhlas pro účastníky experimentální studie

Název experimentální studie: **Studie konturové interakce za různých jasových podmínek**

Vedoucí výzkumné studie: RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.
Katedra optiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita
Palackého v Olomouci
17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

Tel.: 585634310, e-mail: pluhacek@prfnw.upol.cz

Řešitel: Bc. Romana Zemanová
Katedra optiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita
Palackého v Olomouci
17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

Informace o experimentální studii:

Výzkum je součástí diplomové práce „*Vliv jasu na konturovou interakci.*“ Cílem experimentu je zjistit, jak je konturová interakce ovlivněna různými jasovými vlivy.

Kritéria pro výběr účastníků výzkumu: Do výzkumu jsou zahrnuty osoby ve věkovém rozmezí 22-24 let bez očních onemocnění, refrakční vada může být přítomna.

Účastník na výzkumné studii přispívá k rozvoji poznatků v oblasti optometrie. Informace získané v této studii slouží jako materiál pro výzkumnou část diplomové práce s názvem *Vliv jasu na konturovou interakci* zpracované Bc. Romanou Zemanovou. Výsledky experimentu budou zveřejněny v rámci této práce, popř. v odborné literatuře a mohou být prezentovány na odborných konferencích. Všechna výzkumem zjištěná data budou vždy prezentována anonymně.

Popis výzkumných procedur:

Samotné experimentální měření bude probíhat na počítačem generovaných optotypech, které figurant pozoruje přes zrcadlo. Vyšetření probíhá monokulárně.

Průběh měření: Figurantovi bude na řádkovém optotypu odhadem zjištěna zraková ostrost. Cílová hladina zrakové ostrosti bude zjištěna monokulárním pozorováním série 50-ti samostatných písmen přes speciální brýle s otvorem v místě pupily. V další části experimentu je písmeno obklopeno doprovodnými konturami v různých vzdálenostech, úkolem figuranta je identifikovat prezentované písmeno. Toto se opakuje pro různé jasové podmínky.

Vzhledem k náročnosti experimentu na udržení figurantovy pozornosti může být měření rozděleno na několik sérií. Jedna série měření trvá přibližně hodinu.

Rizika účasti ve studii:

Po měření může figurant pociťovat celkovou únavu, případně se mohou vyskytnout i astenopické potíže z nadměrného soustředění.

K této *Informaci* je přiložen formulář *Informovaného souhlasu s účastí na výzkumné studii*. Souhlas s Vaší účastí ve studii výzkumu vyjádřený Vaším podpisem před zahájením testování je především prohlášením Vaší **dobrovolné** účasti na studii. Máte právo Vaši účast ve studii kdykoliv odmítnout bez jakýchkoli postihů. Na studii se účastníte s vědomím výše uvedených rizik na vlastní nebezpečí.

Informovaný souhlas s účastí na výzkumné studii

Jméno: _____

Příjmení: _____

Pohlaví: _____

Věk:

- 1) Tímto **souhlasím** s účastí na experimentální studii: „**Studie konturové interakce za různých jasových podmínek.**“
- 2) Byl(a) jsem informován(a) o cílech výzkumu, o metodách měření a testování, které mi budou prováděny a o náročnosti výzkumné metody zvolené pro toto měření.
- 3) Byl(a) jsem informován(a) o fyzické náročnosti a případných rizicích metody výzkumu.
- 4) Byl(a) jsem informován(a), že moje účast ve výzkumu je zcela dobrovolná a může být kdykoli zrušena **bez jakýchkoliv sankcí**.

- 5) Všechny údaje získané v rámci tohoto výzkumu budou zpracovávány, prezentovány či publikovány anonymně. Tyto údaje mohou být využity pouze pro studijní a výzkumné účely pověřeným studentům a pracovníkům Katedry optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne: _____ podpis: _____