

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Vplyv vizuálnych vstupov na kontextuálnu plasticitu pri  
priestorovom počúvaní

Ivan ŠURIN

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2009

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

Vplyv vizuálnych vstupov na kontextuálnu plasticitu pri  
priestorovom počúvaní

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Ivan Šurin

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Konzultant diplomovej práce:

Ing. Beáta Tomoriová

Košice 2009

# Analytický list

---

Autor:	Ivan Šurin
Názov práce:	Vplyv vizuálnych vstupov na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní
Jazyk práce:	slovenský
Typ práce:	Diplomová práca
Počet strán:	69
Akademický titul:	Inžinier
Univerzita:	Technická univerzita v Košiciach
Fakulta:	Fakulta elektrotechniky a informatiky (FEI)
Katedra:	Katedra kybernetiky a umelej inteligencie (KKUI)
Študijný odbor:	Umelá inteligencia
Študijný program:	Umelá inteligencia
Mesto:	Košice
Vedúci DP:	Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Konzultanti DP:	Ing. Beáta Tomoriová
Dátum odovzdania:	7. máj 2009
Dátum obhajoby:	15. 6. 2009
Kľúčové slová:	kontextuálna plasticita, priestorové sluchové vnímanie
Kategória Konspekt:	Výpočtová technika; Umelá inteligencia
Citovanie práce:	Šurin, Ivan: Vplyv vizuálnych vstupov na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 69 s.
Názov práce v AJ:	Effect of visual inputs on contextual plasticity in spatial auditory perception
Kľúčové slová v AJ:	contextual plasticity, spatial auditory perception

### **Abstrakt v SJ**

Primárnym cieľom tejto práce bolo skúmanie toho, ako vplýva vizuálny vstup na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní. Vedľajším bolo porovnanie rôznych štýlov motorického odpovedania pri lokalizácii sluchového stimulu vo virtuálnom prostredí. Výsledky hlavného cieľa práce ukázali, že zraková modalita kladne prispieva k lokalizácii zdroja zvuku. To znamená, že sa zvýšila presnosť lokalizácie, čím sa dosiahli objektívnejšie namerané hodnoty. Hoci v konečnom dôsledku došlo k plasticite ale odchýlky v odpovediach sú oproti meraniam, kde subjekt mal zatvorené oči, podstatne menšie. To znamená, že sa potvrdila hypotéza, že medzi vizuálnou a sluchovou oblasťou v mozgu existujú spojenia, ktoré sa navzájom dopĺňajú a tým zlepšujú lokalizáciu cieľového stimulu.

### **Abstrakt v AJ**

Primary objective of this thesis is to explore influence of visual input on contextual plasticity during spatiality listening. Secondary objective of this thesis is to compare different styles of motoric respond during localization of auditory stimul in a virtual enviroment. Results of primary objective confirmed that visual modality positively affects localization of the sound source. Increase of precision in sound localization attributed in obtaining more accurate data. Plasticity affected results in lesser way when test subject had his eyes closed. This confirmed theorem about existence of connexions between visual and auditory cortex, which are mutually contributing to localization of targeted stimul.

# Zadanie práce

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

## DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študent: **Ivan Šurin**  
Študijný odbor: **Umelá inteligencia**  
Akademický rok: **2008/2009**  
Názov práce v slovenskom a anglickom jazyku:

**Vplyv vizuálnych vstupov na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní**  
**Effect of visual input on contextual plasticity in spatial auditory perception**

Pokyny na vypracovanie:

1. Vypracovať prehľad problematiky vplyvu vizuálneho vnímania na priestorové sluchové vnímanie.
2. Implementovať experimentálnu štúdiu vychádzajúc zo štúdie N Kopčo, V Best, and BG Shinn-Cunningham (2007). Sound localization with a preceding distractor, Journal of the Acoustical Society of America, 121, 420-432.
3. Upraviť experimentálnu procedúru v prostredí MATLAB tak, aby bolo možné oddeliť vizuálne a motorické vplyvy na kontextuálnu plasticitu.
4. Vykonať experimentálne meranie na minimálne 8 dobrovoľných ľudských subjektoch.
5. Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta.
6. Navrhnuť konceptuálny model popisujúci význam vizuálnych vstupov a motorickej aktivity na kontextuálnu plasticitu.
7. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho diplomovej práce.

Vedúci diplomovej práce:


Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Konzultant diplomovej práce:

Ing. Beáta Tomoriová


Dátum odovzdania diplomovej práce:

7.5.2009

  
prof. Ing. Ján Sarnovský, CSc.

vedúci zadávajúceho  
vedecko-pedagogického pracoviska



  
prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.

dekan

V Košiciach, dňa 31.10.2008

## **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 7. máj 2009

.....

*vlastnoručný podpis*

## **Pod'akovanie**

Týmto sa chcem poďakovať vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Norbertovi Kopčovi, PhD. a konzultantke Ing. Beáte Tomoriovej za usmernenia a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce.

## Predhovor

To či máme pri lokalizácii sluchového stimulu otvorené alebo zatvorené oči zohráva veľmi dôležitú úlohu. Doposiaľ publikované odborné články sa skôr zameriavali na vplyv zraku pri priestorovom počúvaní u zvierat ako u ľudí. Preto do dnešnej doby veľmi nepoznáme presnú hierarchiu spracovania sluchové a zrakového signálu, ako medzi sebou súvisia, ako si navzájom pomáhajú a dopĺňajú sa. Ako je možné, že človek dokáže s otvorenými očami lepšie lokalizovať zvuky v prostredí ako so zavretými, pričom zdroj zvuku nevidí? Človek dokáže z časti počúvať očami?

Cieľom tejto práce je behaviorálne skúmanie vplyvu vizuálneho vstupu na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní a taktiež vyhodnotenie, ktorý zo spôsobov motorického odpovedania, pri lokalizácii sluchového stimulu, počas experimentov je najvhodnejší z hľadiska vierohodnosti a spracovania nameraných dát.



# Obsah

<b>Zoznam obrázkov .....</b>	<b>10</b>
<b>Zoznam tabuliek .....</b>	<b>13</b>
<b>Zoznam symbolov a skratiek .....</b>	<b>14</b>
<b>Slovník termínov .....</b>	<b>15</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>16</b>
<b>1 Formulácia úlohy .....</b>	<b>18</b>
<b>2 Teoretické poznatky .....</b>	<b>19</b>
2.1 Priestorové sluchové vnímanie.....	19
2.1.1 Priestorové sluchové vnímanie, lokalizácia zvukov .....	19
2.1.2 Lokalizácia v horizontálnej rovine.....	21
2.1.3 Lokalizácia vo vertikálnej rovine.....	26
2.1.4 HRTF funkcia .....	27
2.1.5 Minimálny počuteľný uhol .....	28
2.1.6 Efekt precedencie .....	29
2.2 Pozornosť.....	29
2.2.1 Sluchová pozornosť .....	31
2.3 Multimodálne vnímanie a krosmodálne interakcie .....	32
2.3.1 McGurkov efekt .....	33
2.3.2 Bruchomluvecký efekt .....	34
2.4 Plasticita .....	34
2.4.1 Sluchová priestorová mapa .....	34
2.4.2 Rôzne prístupy k štúdiu plasticity .....	35
2.4.3 Modely plasticity .....	38
2.5 Vplyv vizuálneho vnímania na priestorové sluchové vnímanie.....	41
2.5.1 Vizuálne a sluchové interakcie v mozgu .....	41
<b>3 Experimentálna časť A .....</b>	<b>45</b>
3.1 Motivácia .....	45
3.1.1 Hypotézy .....	45
3.2 Experimentálna procedúra .....	45
3.2.1 Hardvérové zabezpečenie .....	45
3.2.2 Popis experimentu.....	47

3.3	Analýza dát.....	49
3.3.1	Výsledky .....	49
3.4	Zhrnutie A .....	54
<b>4</b>	<b>Experimentálna časť B .....</b>	<b>55</b>
4.1	Motivácia.....	55
4.1.1	Hypotézy .....	55
4.2	Experimentálna procedúra.....	55
4.2.1	Hardvérové zabezpečenie .....	56
4.2.2	Popis experimentu.....	56
4.3	Analýza dát.....	57
4.3.1	Výsledky .....	58
4.4	Vyhodnotenie typov motorického odpovedania.....	61
4.5	Zhrnutie B.....	64
<b>5.</b>	<b>Záver.....</b>	<b>65</b>
	<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>67</b>
	<b>Prílohy.....</b>	<b>69</b>

## Zoznam obrázkov

Obr. 1	System suradníc používaný v sluchových experimentoch; $r$ je vzdialenosť, $\varphi$ je azimut, $\delta$ je elevácia [4].....	20
Obr. 2	Zvukové vlny vstupujúce do ucha, sú zachytené bubienkom a predané do slímáka pomocou sluchových kostičiek (kladivko, nákovka, strmienok), v slímákovi sa zvuk mení na premenlivý tlak kvapaliny, ktorou je vyplnený. Tieto zmeny sú zachytené na vláskových bunkách a transformované na nervové impulzy, ktoré putujú do mozgu pomocou sluchového nervu [8]. .....	21
Obr. 3	ITD v závislosti od horizontálnej polohy zdroja zvuku [7]. .....	22
Obr. 4	Akustický tieň sa vytvára pre zvuky s vysokou frekvenciou, pri nízkych frekvenciách sa tento tieň nevytvorí [7]. .....	23
Obr. 5	ILD je frekvenčne závislé [3]. Rozdiely v intenzitách sa zvyšujú so zvyšujúcim sa uhlom zdroja zvuku.....	24
Obr. 6	Paralélne kódovanie ITD a ILD v sluchovom systéme. Zvuk vstupuje do pravého a ľavého ucha, vytvoria sa rozdiely v čase a v intenzite, následne sa zakódujú a zlúčia, čím sa zabezpečí priestorové vnímanie zvuku, jeho lokalizácia. ....	25
Obr. 7	Kúžeľ nejednoznačnosti. Zdroje zvukov A, B spôsobujú interaurálne časové rozdiely – ITD, zdroje zvukov C, D spôsobujú interaurálne rozdiely v intenzite – ILD [6]. .....	26
Obr. 8	(a) Ak by bol zdroj zvuku v azimute $180^\circ$ (t.j. za hlavou), bolo by ťažké rozhodnúť, či zvuk ide z $0^\circ$ alebo zo $180^\circ$ , kvôli tomu, že obidve pozície majú rovnaké ITD aj ILD. Pootočením hlavy doľava sa ľavé ucho dostalo bližšie k zdroju a preto je jasné, že zvuk šiel zozadu (b). Ak by šiel spredu, bližšie by bolo pravé ucho (c) [3]. .....	26
Obr. 9	Pri vertikálnej lokalizácii sa zvuk do do sluchového kanála dostáva mnohými odrazmi od ušnice („pinna“) [3]. .....	27
Obr. 10	HRTF(l) pre ľavé ucho a HRTF(r) pre pravé ucho (vľavo); impulz zo zdroja zvuku najskôr pride do ľavého ucha a potom do pravého ucha o čom svedčia aj posuny týchto impulzov(vpravo) [9]. .....	28
Obr. 11	Minimálny počuteľný uhol medzi dvoma zdrojmi zvuku [4]. .....	29
Obr. 12	Človek pri bežných činnostiach je vystavený množstvu zvukov. Ale iba na niektoré, pre neho dôležité, sa chce sústrediť, aktivuje sa sluchová pozornosť. ....	30
Obr. 13	Horná dvojica obrázkov ukazuje aktivované oblasti mozgu pri sluchovom podnete, stredná dvojica ukazuje aktivované oblasti mozgu pri vizuálnom podnete, dolná dvojica obrázkov ukazuje, že pri podnete,	

	ktorý vnímame vizuálne a zároveň sluchovo sa aktivujú určité časti oblasti mozgu zo sluchového a zrakového podnetu [14].	31
Obr. 14	Aktivita očí narúša sluchový priestor (ľavý kruh) a vizuálny priestor. Objekt, ktorý je počuteľný (štvorec s horizontálnymi čiarami) a zároveň viditeľný (štvorec s vertikálnymi čiarami) vytvára konflikty pri priestorovom vnímaní.	32
Obr. 15	Audio – vizuálna integrácia, McGurkov efekt.	33
Obr. 16	Lokalizačná dráha sovy. Zvuk sa premieta z ICC do ICX do OT. Sluchová priestorová mapa sa vytvára v oblasti ICX, ktorá sa spája s mapami iných modalít v OT. Vytvorila sa multimodálna mapa.	35
Obr. 17	Simulácia javu kedy dochádza k plasticite u sovy. (a) normálny stav kedy sluchový podnet aktivuje neuróny z oblastí ICC, ICX, OT. V optickom tekte sa potom združuje vizuálna a sluchová mapa. (b) je stav kedy sa posunie zorné pole sovy. Repräsentácia stimulu v jednotlivých oblastiach sa presunula na iné neuróny a výsledkom je celkové posunutie v optickom tekte.	38
Obr. 18	Systémovo – úrovňový model priestorového sluchového spracovania. Krátkodobé tréningy ovplyvňujú len vyššie stupne spracovania, dlhodobé tréningy ovplyvňujú všetky. DCN = Dorsal cochlear nucleus, AVCN = anteroventral cochlear nucleus, MSO = medial superior olive, LSO = lateral superior olive, SC = superior colliculus, MNTB = medial nucleus.	41
Obr. 19	Komora, v ktorej prebiehali experimenty. Vzdialenosť subjektu od reproduktorov (polomer kruhu) predstavoval 1,2 metra.	46
Obr. 20	Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči s ukazovátkom“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt	50
Obr. 21	Preklopené dáta pre typ „Otvorené oči s ukazovátkom“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt	50
Obr. 22	Preklopené dáta pre typ „Otvorené oči bez ukazovátka“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt	51
Obr. 23	Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči bez ukazovátka“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt	51
Obr. 24	Bar graf štandardnej chyby pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 1. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.	52
Obr. 25	Bar graf štandardnej chyby pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 2. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.	52
Obr. 26	Bar graf štandardnej odchýlky pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 1. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.	53

---

Obr. 27	Bar graf štandardnej odchýlky pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 2. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.....	53
Obr. 28	Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči s ukazovátkom“. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.....	58
Obr. 29	Preklopené dáta pre typ „Otvorené oči s ukazovátkom“. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.....	59
Obr. 30	Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči bez ukazovátka“. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.....	60
Obr. 31	Posuny pre 3 typy odpovedania voči kontextu. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.....	60
Obr. 32	Časové trvanie jednotlivých kôl pre každý typ motorického odpovedania.....	61
Obr. 33	Časové trvanie nedistraktorového a distraktorových kôl pre každý typ motorického odpovedania.....	62
Obr. 34	Štandardné chyby pre distraktorové a nedistraktorové kolo pre každý typ motorického odpovedania.....	63
Obr. 35	Štandardné odchýlky pre distraktorové a nedistraktorové kolo pre každý typ motorického odpovedania.....	63

---

## Zoznam tabuliek

Tab. 1	Zadanie 4 typov blokov .....	48
Tab. 2	Zadanie typov kôl pre 4 bloky .....	48
Tab. 3	Zadanie 3 typov blokov .....	57
Tab. 4	Zadanie typov kôl pre 3 bloky .....	57

## Zoznam symbolov a skratiek

- HRTF** **H**ead **R**elated **T**ransfer **F**unction, funkcia popisujúca transformáciu, ktorou prejde zvukový signál od zdroja po ucho. Je veľmi individuálna, keďže závisí od tvaru hlavy, uší a ramien, pretože na nich sa zvuk rôznymi odrazmi transformuje.
- ILD** **I**nteraural **L**evel **D**ifference, rozdiel v intenzite, v akej je vnímaný zvuk v jednom a v druhom uchu, spôsobený akustickým tieňom hlavy.
- ISI** **I**nter-stimulus **I**nterval, časový interval medzi dvoma stimulmi.
- ITD** **I**nteraural **T**ime **D**ifference, časový rozdiel medzi tým, kedy dorazí ten istý zvuk k jednému a k druhému uchu.
- SOA** **S**timulus **O**nset **A**synchrony, opozdenie cieľového stimulu voči podnetu.

## Slovník termínov

**Modalita** je zmysel (zrak, sluch, atď.).

**Multimodálne vnímanie** znamená, ak udalosť alebo objekt je vnímaný minimálne dvoma modalitami.

**Kontext** predstavuje subjekt a prostredie, ktorom sa nachádza.

**Podnet** predstavuje upozorňujúci signál.

**Krosmodálne vnímanie** predstavuje stav, keď jedna modalita podvedome ovplyvňuje vnímanie inej modality.

**Bias** je posun.

**Laterálny** je v smere od stredovej osi tela do strany.

**Mediálny** je v smere k stredovej osi tela (opačný posun ako laterálny).

**Trial** pozostáva z prezentácie cieľového zvuku (prípadne predtým distraktora) a odpovede subjektu.

**Distraktor** predstavuje rušivý zvuk.

**Target** je cieľový zvuk.

**Distraktor target** je cieľový zvuk v distraktorovom meraní.



## Úvod

To ako vnímame priestor je veľmi dôležité k tomu, aby sme sa v ňom vedeli orientovať. Zvuk je dynamický proces, ktorý je závislý od kontextu, odrazov v prostredí a interakciami medzi nimi. Človek pri vnímaní okolia, priestoru okolo seba, využíva dva základné zmysly – sluch a zrak. Tieto dva modalities umožňujú lokalizovať zdroje zvukov z prostredia, v ktorom sa človek nachádza bez ohľadu na to, či k tejto lokalizácii využíva vizuálny vstup alebo nie. Do dnešnej doby existuje veľmi málo štúdií, ktoré sa zaoberali vplyvom zraku pri lokalizácii akustických stimulov u ľudí na základe behaviorálnych štúdií. Preto nám nie je doposiaľ známe k akým interakciám, medzi týmito dvoma modalitami, v mozgu dochádza, ako mozog spracúva vizuálne a sluchové informácie. Cieľom tejto práce je objasniť vplyv nesluchoových faktorov na kontextuálnu plasticitu a to na základe porovnania správania sa, ak má človek otvorené a zavreté oči, a taktiež vyhodnotiť jednotlivé spôsoby motorického odpovedania pri lokalizácii cieľového stimulu. Táto diplomová práca vychádza zo štúdie Norberta Kopča, Virginia Best, Barbara G. Shinn – Cunningham „Sound localization with a preceding distractor“, kde sa zistilo, že táto kontextuálna plasticita existuje.

Experimentálna časť „A“ diplomovej práce sa zaoberá vyhodnotením vplyvu jednotlivých typov motorického odpovedania na vykonanie ďalších experimentov z hľadiska vierohodnosti získaných dát a ich vyhodnotení. Použité boli štyri rôzne typy odpovedania a pre tri typy iný spôsob vyhodnotenia nameraných dát. Dva typy motorického odpovedania boli novinkou, písmeno – číselná odpoveď a natáčanie hlavy keď mal subjekt zatvorené oči, a tretí, štvrtý bol použitý doterajší spôsob, ukazovátka.

Experimentálna časť „B“ diplomovej práce sa zaoberá vplyvom nesluchoových faktorov na kontextuálnu plasticitu – porovnanie správania sa, ak má človek otvorené alebo zatvorené oči a ak používa ukazovátka alebo písmeno – číselnú odpoveď.

Vyšetruje sa, ako zraková modalita prispieva k vzniku tejto kontextuálnej plasticity, či je rozdiel medzi tým keď človek využíva zrakovú modalitu alebo nie. Taktiež sa vyhodnocuje, ktorý z použitých typov motorického odpovedania je pre merania najvhodnejší.

---

Diplomová práca pozostáva z piatich kapitol:

- **Kapitola 1** – formulácia úlohy
- **Kapitola 2** – teoretické poznatky - priestorové sluchové vnímanie, pozornosť, multimodálne vnímanie a krosmodálne interakcie, plasticita, vplyv vizuálneho vnímania na priestorové sluchové vnímanie
- **Kapitola 3** – experimentálna časť A – vyhodnotenie typov motorického odpovedania pre ďalší priebeh experimentu
- **Kapitola 4** – experimentálna časť B – vyhodnotenie vplyvu nesluchových faktorov na kontextuálnu plasticitu a vyhodnotenie typov motorického odpovedania
- **Kapitola 5** – záver – zhrnutie experimentov

# 1 Formulácia úlohy

Celkový cieľ úlohy spočíva v porozumení toho, ako kontext, ktorý je definovaný človekom (subjektom) a prostredím, v ktorom sa nachádza, ovplyvňuje lokalizáciu zdrojov zvuku.

Špecifickým cieľom tejto diplomovej práce je objasniť problematiku vplyvu nesluchoových faktorov na kontextuálnu plasticitu.

Jednotlivé podciele práce sú:

1. Vypracovať prehľad problematiky vplyvu vizuálneho vnímania na priestorové sluchové vnímanie.
2. Implementovať experimentálnu štúdiu vychádzajúcu zo štúdie N Kopčo, V Best, and BG Shinn-Cunningham (2007). Sound localization with a preceding distractor, *Journal of the Acoustical Society of America*, 121, 420-432.
3. Upraviť experimentálnu procedúru v prostredí MATLAB tak, aby bolo možné oddeliť vizuálne a motorické vplyvy na kontextuálnu plasticitu.
4. Vykonať experimentálne meranie na minimálne 8 dobrovoľných ľudských subjektoch.
5. Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta.
6. Navrhnuť konceptuálny model popisujúci význam vizuálnych vstupov a motorickej aktivity na kontextuálnu plasticitu.

Experimentálna procedúra ako aj analýza získaných dát sú naprogramované v prostredí MATLAB.

Diplomová práca zahŕňa rôzne formy úpravy experimentálnej procedúry použitej v diplomovej práci B. Tomoriovej, nové vyhodnotenie získaných údajov s cieľom zistiť vplyv vizuálneho vstupu na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní.

## 2 Teoretické poznatky

### 2.1 Priestorové sluchové vnímanie

#### 2.1.1 Priestorové sluchové vnímanie, lokalizácia zvukov

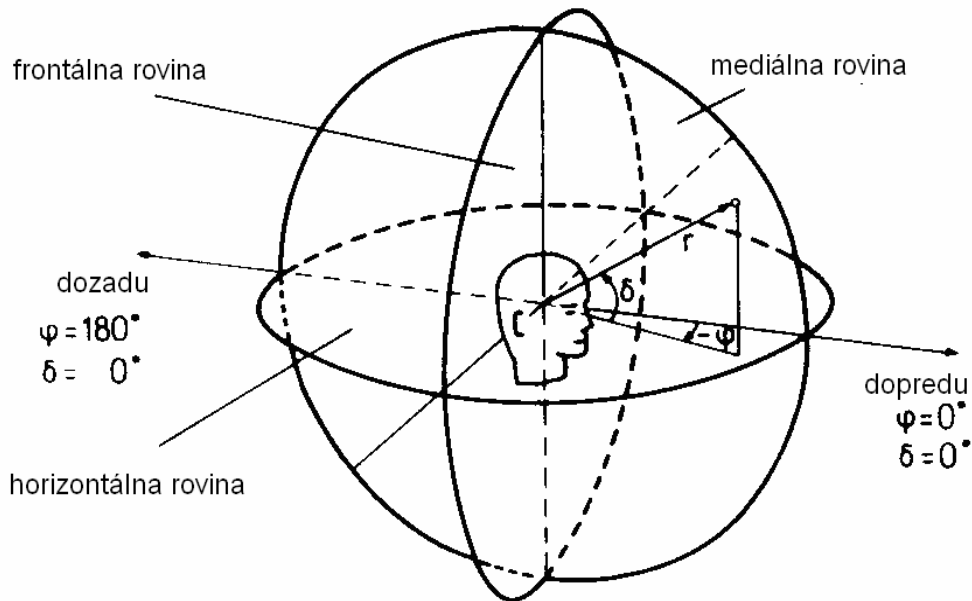
Sluch je jedným z piatich zmyslov človeka, ktorý je asi najvýznamnejší pri komunikácii s inými ľuďmi. Počúvaním trávime veľa času a sluch predstavuje rýchly a účinný spôsob ako získať informácie z prostredia, v ktorom sa nachádzame. To čo náš sluchový systém spracováva sú vlny, ktoré sa šíria daným prostredím. Tieto akustické vlny majú svoje vlastnosti: frekvencia, hlasitosť(amplitúda), vlnová dĺžka.

Každý deň sme vystavený situáciám, pri ktorých musíme odhadnúť polohu prichádzajúceho zvuku z rôznych zdrojov a súčasne z rôznych umiestnení v priestore. Táto schopnosť lokalizácie nám umožňuje predchádzať nebezpečenstvu – pozornostný mechanizmus [2] (prežitie daného jedinca alebo uchránenie svojich potomkov pred predátorom), lokalizovať objekty v prostredí a taktiež nám pomáha ak chceme počuť dôležité stimuly (kolegu pri rozhovore) a potláčať iné komplexné zvuky alebo zvuky z hlučných prostredí. Popísaním tejto schopnosti u ľudí a zvierat sa zaoberajú rôzne fyziologické, neurofyziologické a psychologické štúdie [5].

Ak by sme mali porovnať zrakové a sluchové vnímanie priestoru tak logicky môžeme usúdiť, že sluchové vnímanie je výhodnejšie lebo pokrýva celý priestor okolo jedinca [2], pričom zraková modalita pokrýva iba tú časť, ktorá je v jeho vizuálnom poli [4].

Každý zdroj zvuku v prostredí je definovaný tromi súradnicami (Obr. 1) [4]:

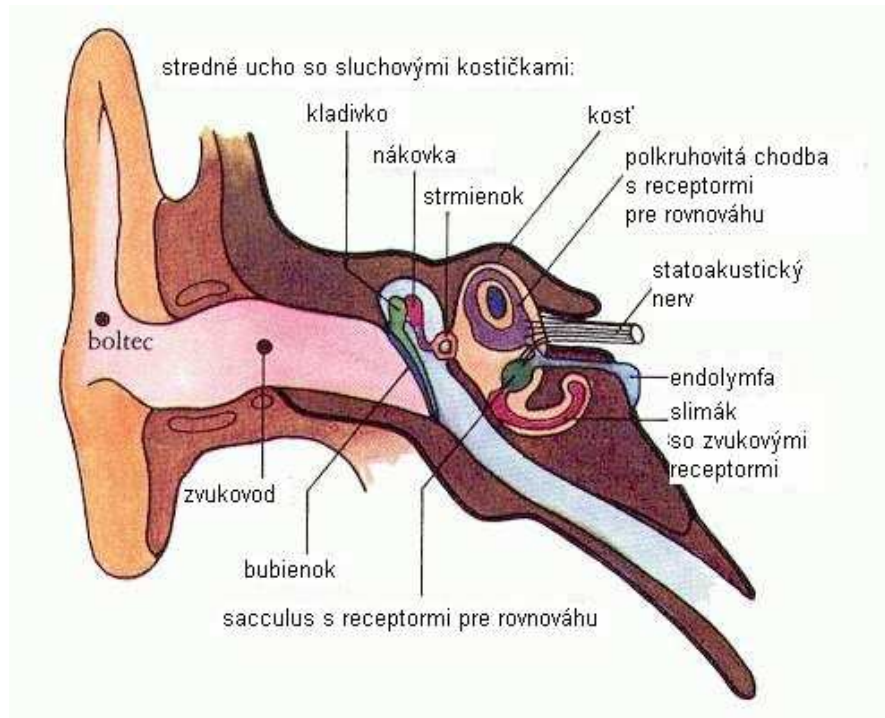
- Azimut – horizontálna odchýlka od daného referenčného bodu, ktorým je zvyčajne predná časť tváre.
- Elevácia – vertikálna odchýlka od daného referenčného bodu, ktorým je zvyčajne predná časť tváre.
- Vzdialenosť



Obr. 1 Systém suradníc používaný v sluchových experimentoch;  $r$  je vzdialenosť,  $\varphi$  je azimut,  $\delta$  je elevácia [4]

Avšak reprezentácia priestoru pomocou zvuku je omnoho zložitejšia ako pri zraku, kde jednotlivé body z prostredia sa premietajú na sietnicu oka a tým sa získava počiatková informácia o polohe zdroja.

Sluchový systém však musí informáciu o polohe zdroja zvuku „vypočítať“ [4]. Akýmsi ekvivalentom sietnice je v sluchovom systéme bazilárna membrána, ktorá sa nachádza v štruktúre nazvanej kochlea (slimák) nachádzajúcej sa vo vnútornom uchu [4]. Na tejto úrovni sa zvukové vlny menia na nervové impulzy. Avšak bazilárna membrána nám nepodáva informáciu o tom, odkiaľ zaznel zvuk. Bazilárna membrána je tonotopicky organizovaná, čo znamená, že nekóduje polohu ale frekvenciu. Potom pomocou tejto membrány dokážeme zistiť frekvencie, z ktorých zvuk pozostáva. Informácia o polohe zdroja zvuku sa získava až v neskoršom štádiu spracovania sluchového systému [4]. Priebeh spracovania zvuku, ktorý vstupuje do sluchového orgánu, až po získanie nervového impulzu, ktorý vstupuje do mozgu, je zobrazený na Obr 2.



**Obr. 2** Zvukové vlny vstupujúce do ucha, sú zachytené bubienkom a predané do slimáka pomocou sluchových kostičiek ( kladivko, nákovka, strmienok ), v slimákovi sa zvuk mení na premenlivý tlak kvapaliny, ktorou je vyplnený . Tieto zmeny sú zachytené na vlásokových bunkách a transformované na nervové impulzy, ktoré putujú do mozgu pomocou sluchového nervu [8].

Lokalizácii zvuku v horizontálnej a vertikálnej rovine je odlišná, keďže náš sluchový systém na každú z nich využíva iný mechanizmus. Pri určovaní zdroja zvuku vo vertikálnej rovine nám k tomu postačuje jeden sluchový orgán, pri lokalizácii v horizontálnej rovine potrebujeme obe uši, v ktorých sa zvuk navzájom kombinuje [3]. Tieto nervové impulzy ďalej putujú do mozgu, ktorý ich vyhodnotí. Následne mozog stanoví časový rozdiel medzi zvukom, ktorý prišiel skôr do jedného a neskôr do druhého ucha (ITD = Interaural Time Difference) a rozdiel v intenzite pri dopade daného zvuku do jedného a druhého ucha (ILD = Interaural Level Difference).

### 2.1.2 Lokalizácia v horizontálnej rovine

Na správne určenie zdroja zvuku v horizontálnej rovine musíme mať k dispozícii obe sluchové orgány. Informáciu o pozícii zdroja zvuku kóduje sluchový systém v dvoch fázach. Prvá fáza predstavuje interaurálne časové rozdiely a druhá fáza interaurálne rozdiely v intenzitách pri dopade zvuku do oboch uší.

### 2.1.2.1 Interaurálne časové rozdiely – ITD

Akýkoľvek zvuk, ktorý je vybudенý zo zdroja vzdialeného od sagitálnej roviny (rovnobežný so strednou pozdĺžnou rovinou tela) dochádza skôr do ucha, ktoré je bližšie k zdroju ako do druhého ucha, keďže jeho vzdialenosť od zdroja zvuku je väčšia. Pre čisté tóny je fázový rozdiel rovný časovému rozdielu prichádzajúcej zvukovej vlny do oboch uší. Fázový rozdiel  $\Delta\phi$  je závislý od interaurálneho časového rozdielu (ITD) pre tón s frekvenciou  $f$  [5]:

$$\Delta t = \frac{\Delta\phi}{2 \times \pi \times f} [s]$$

Pre zvuky s veľkou vlnovou dĺžkou je vzťah pre interaurálne časové rozdiely  $\Delta t$  závislý na azimute vľavo respektíve vpravo uhla  $\theta$ . Časový rozdiel sa pohybuje v desatinách milisekúnd [3].

$$\Delta t = \frac{3 \times a}{c} \sin \theta [s]$$



**Obr. 3 ITD v závislosti od horizontálnej polohy zdroja zvuku** Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..

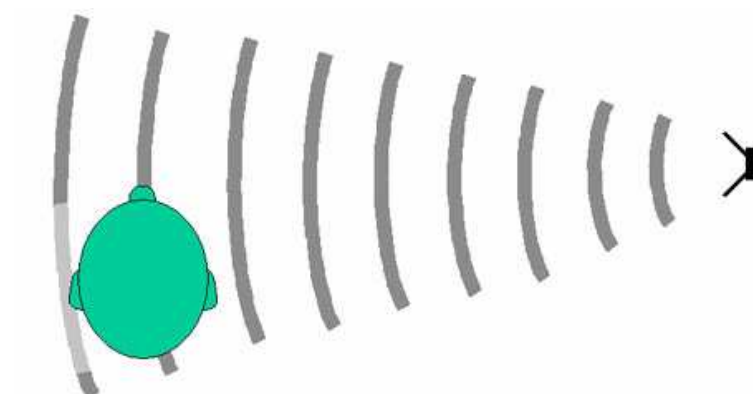
V prípade, že polomer hlavy „a“ je cca 8,75 cm, rýchlosť zvuku prichádzajúceho kolmo sprava je 34 400 cm / s dosiahne ľavé ucho o 0,763 ms neskôr ako pravé. Pre zvuky prichádzajúce z boku je ITD maximálny [5]. Ak zvuk prichádza priamo spredu, ITD je nulový (minimálny) [4].

V mozgovom kmeni sú špecializované neuróny citlivé na rôzne ITD a pomocou nich dokážeme určiť, kde bol zdroj daného zvuku. ITD je pre danú polohu zdroja zvuku rovnaký, nezávisí od výšky tónu (frekvencie) [4]. Ak nastane situácia, že nepočujeme

počiatočné zaznenie zvukovej vlny, potom je vytýčenie ITD zložitejším problémom, lebo tento zvuk počuje človek v oboch ušiach súčasne. Môžeme však porovnávať rozdiel v tom, kedy rovnaká fáza zvukovej vlny dôjde do ktorého ucha. V prípade nízkofrekvenčných zvukov, ktoré majú väčšiu vlnovú dĺžku ako je šírka hlavy, je to relatívne jednoduché, keď sa však jedná o vysokofrekvenčné zvuky, situácia je zložitejšia [3].

### 2.1.2.2 Interaurálne rozdiely v intenzitách – ILD

Pri lokalizácii zvukov v horizontálnej rovine si sluchový systém pomáha aj tým, že určuje rozdiely intenzity zvuku pri dopade do pravého a ľavého ucha (ILD). Tento rozdiel medzi intenzitami v akých zvuk počujeme v jednom a v druhom uchu, je zapríčinený tvarom ľudskej hlavy, ktorá vrhá zvukový tieň (Obr. 4)[3].

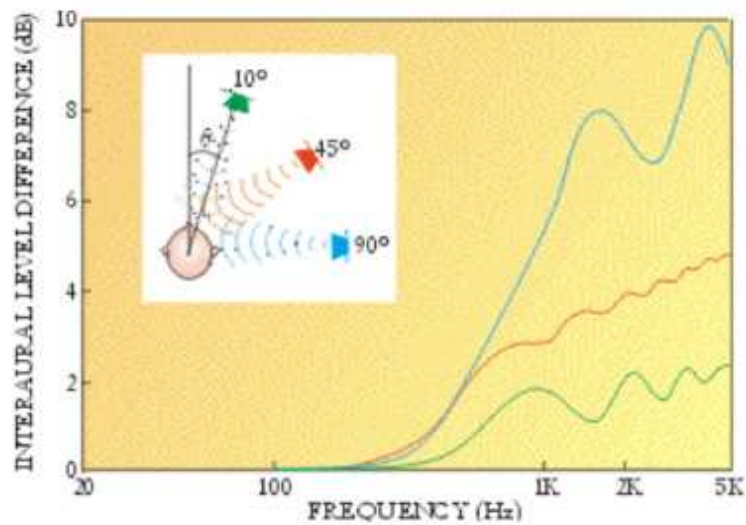


**Obr. 4 Akustický tieň sa vytvára pre zvuky s vysokou frekvenciou, pri nízkych frekvenciách sa tento tieň nevytvorí [7].**

Ak zdroj zvuku sa nachádza pred hlavou a v jej strede tak, rozdiel v intenzitách je rovný nule, v prípade, že zdroj sa nachádza v kolmom smere k prednej časti hlavy potom ILD nadobúda maximálne hodnoty. Tento priebeh je vidieť na Obr.5.

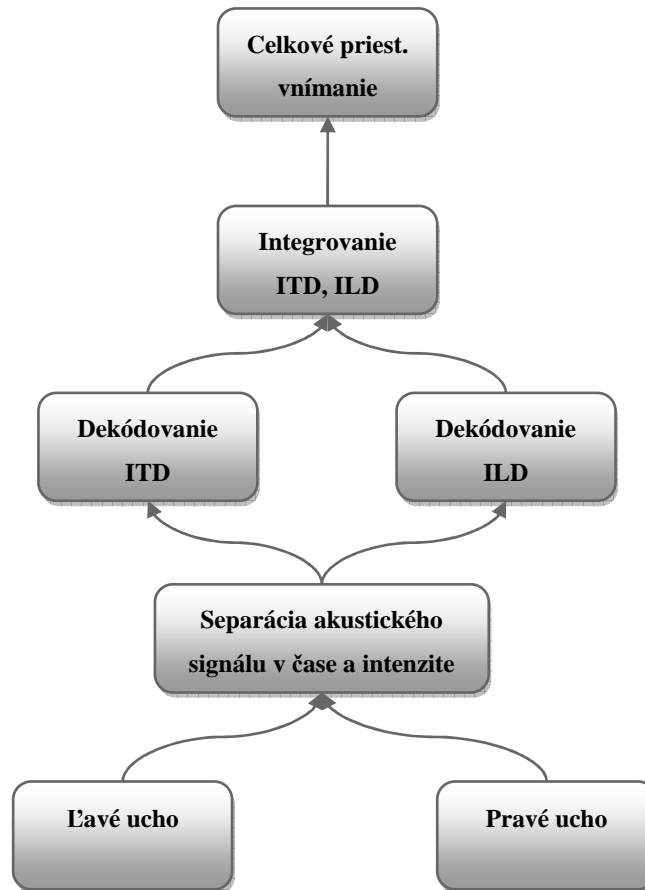
Na základe týchto hodnôt neuróny v mozgu „povedia“ polohu zdroja zvuku v priestore. Pre zdroje zvukov vzdialené minimálne 1m má určovanie ILD význam iba pri vysokofrekvenčných zvukoch, pretože zvuky nízkych frekvencií nevytvárajú zvukový tieň [3]. ILD je teda na rozdiel od ITD frekvenčne závislé, rastie s rastúcou frekvenciou. Má význam pri frekvenciách vyšších ako 2000Hz.





**Obr. 5** ILD je frekvenčne závislé [3]. Rozdiely v intenzitách sa zvyšujú so zvyšujúcim sa uhlom zdroja zvuku.

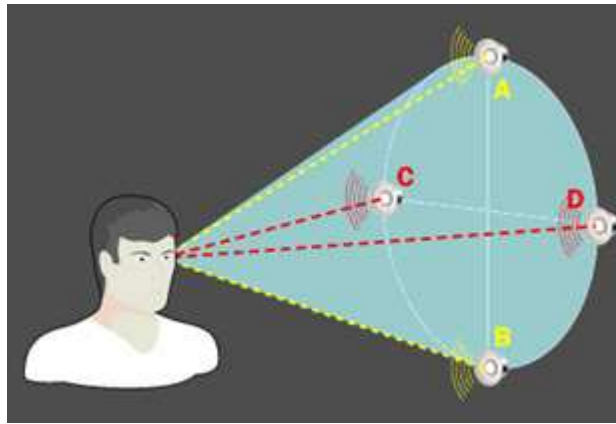
Môžeme zhrnúť, že celá priestorová lokalizácia zvukov závisí od časových rozdielov (ITD) a rozdielov v intenzite (ILD). Zvuky v rozsahu 20 – 2000Hz sa spracúvajú pomocou ITD, zvuky v rozsahu 2000Hz – 20000Hz pomocou ILD [4]. Tieto dva parametre mozog spracúva a podáva informáciu o polohe zdroja zvuku (Obr. 6). Avšak táto informácia nie je úplne jednoznačná, keďže jedným parametrom ITD, ILD zodpovedá viacero bodov v priestore.



**Obr. 6** Paralelné kódovanie ITD a ILD v sluchovom systéme. Zvuk vstupuje do pravého a ľavého ucha, vytvoria sa rozdiely v čase a v intenzite, následne sa zakódujú a zlúčia, čím sa zabezpečí priestorové vnímanie zvuku, jeho lokalizácia.

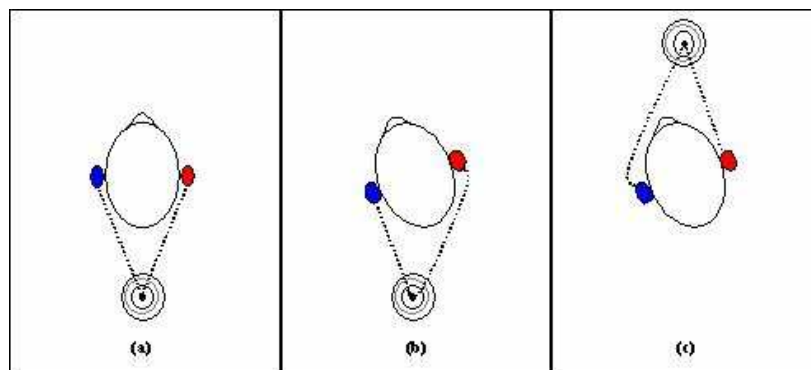
### 2.1.2.3 Kúžlel' nejednoznačnosti

ITD a ILD zohrávajú veľmi dôležitú úlohu pri lokalizácii zvuku v priestore ale nie postačujúcu. Neumožňujú úplne určenie miesta odkiaľ zvuk zaznel, keďže jedným hodnotám ITD a ILD zodpovedá viacero bodov v priestore [4]. Tieto body vytvárajú povrch kúžleľa, ktorý sa nazýva kúžlel' nejednoznačnosti (Obr. 7). Tento kúžlel' je zobrazený v ideálnom tvare. V skutočnosti je deformovaný, je daný tvarom hlavy. Prakticky si môžeme kúžlel' predstaviť pri situácii, kedy vieme určiť azimut odkiaľ zaznel zvuk ale nedokážeme definovať polohu zdroja t.j. vpredu, zozadu, zhora alebo zdola [4].



Obr. 7 Kúžeľ nejednoznačnosti. Zdroje zvukov A, B spôsobujú interaurálne časové rozdiely – ITD, zdroje zvukov C, D spôsobujú interaurálne rozdiely v intezite – ILD [6].

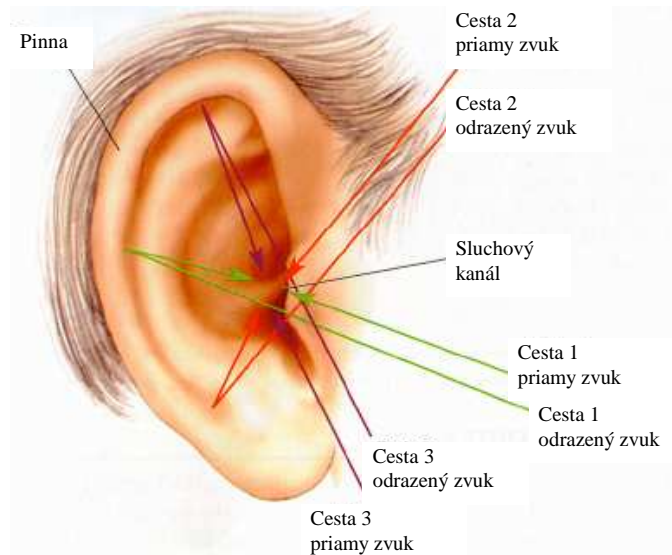
Na to aby sme správne lokalizovali zdroj zvuku postačuje natočenie hlavy. Tým sa kúžeľ posunie a nejednoznačnosť sa vytratí (Obr. 8).



Obr. 8 (a) Ak by bol zdroj zvuku v azimute  $180^\circ$  (t.j. za hlavou), bolo by ťažké rozhodnúť, či zvuk ide z  $0^\circ$  alebo zo  $180^\circ$ , kvôli tomu, že obidve pozície majú rovnaké ITD aj ILD. Pootočením hlavy doprava sa ľavé ucho dostalo bližšie k zdroju a preto je jasné, že zvuk šiel zozadu (b). Ak by šiel spredu, bližšie by bolo pravé ucho (c) [3].

### 2.1.3 Lokalizácia vo vertikálnej rovine

Lokalizácia zvuku vo vertikálnej rovine sa zameriava na zdroje zvukov, ktoré vstupujú do sluchového orgánu vo zvislom smere. V tomto prípade nám interaurálne rozdiely v časoch a v intenzotách nepomôžu [4]. Zvuková vlna, ktorá vstupuje do ucha sa láme(odráža) na jej záhyboch, ktoré nazývame „pinna“. Práve táto časť najviac vplýva na vertikálny vstup zvuku do pravého a ľavého ucha (Obr. 9).



**Obr. 9** Pri vertikálnej lokalizácii sa zvuk do do sluchového kanála dostáva mnohými odrazmi od ušnice („pinna“) [3].

Vstupujúci zvuk do ucha je tiež daný polohou zdroja zvuku vo vertikálnej rovine, odrazmi v danom priestore a taktiež je čiastočne tienený.

#### 2.1.4 HRTF funkcia

Ak zoberieme do úvahy zložitejšie zvuky z daného prostredia tak jednotlivé frekvencie a šumy človek potláča, čím sa komplexne mení počiatkové spektrum zvuku, ktoré prichádza do sluchového orgánu [4]. Môžeme povedať, že došlo k filtrácii zvuku. Prechod, od zdroja až po sluchový kanál, k akému došlo spektrum zvuku popisujú HRTF funkcie (Head – Related Transform Function). Nazývame ju smerová prenosová funkcia. HRTF závisí od azimutu a elevácie vtedy ak zdroje sú umiestnené viac ako 1m od stredu hlavy, pre bližšie zdroje zohráva dôležitú úlohu aj vzdialenosť [4]. Najväčšie zmeny v HRTF sú pri vysokých frekvenciách z čoho vyplýva, že dochádza k vzájomnému pôsobeniu vlnovej dĺžky a „pinny“.

HRTF funkcia je pre každého človeka iná, lebo závisí od tvaru hlavy a tvaru uší [3]. Pre akýkoľvek bod v priestore prislúcha HRTF dvojica [4]. Jedna je pre pravé ucho a druhá pre ľavé (Obr. 10). Ak by sme chceli tieto HRTF(l) a HRTF(r) matematicky popísať tak musíme ich definovať ako pomer hladiny akustického tlaku prítomného v ušnom bubienku ľavého  $\phi_L(\omega, \Theta, \phi, d)$  a pravého ucha  $\phi_R(\omega, \Theta, \phi, d)$  a pozíciou, ktorá odpovedá centru hlavy  $\phi_f(\omega)$

$$HRTF(r) = \frac{\phi_R(\omega, \Theta, \phi, d)}{\phi_f(\omega)}$$

$$HRTF(l) = \frac{\phi_L(\omega, \Theta, \phi, d)}{\phi_f(\omega)}$$

kde  $\omega$  je uhlová frekvencia,  $\Theta$  je azimut,  $\phi$  je elevácia,  $d$  je vzdialenosť poslucháča od zdroja zvuku [10].

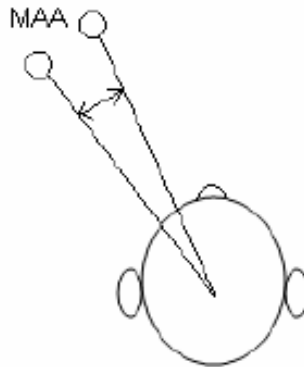
Väčšinou priestory pri lokalizácii zvukov predstavujú uzavreté miestnosti a preto HRTF v sebe obsahuje aj odrazy od stien, podlahy, predmetov v miestnosti, atď [4]. Ak máme pre daný bod v priestore danú dvojicu HRTF tak môžeme z tohto miesta sledovať zvuk, ktorý do neho vstupuje. Potom takýto bod môžeme považovať za nový zdroj zvuku.



**Obr. 10 HRTF(l) pre ľavé ucho a HRTF(r) pre pravé ucho (vľavo); impulz zo zdroja zvuku najskôr pride do ľavého ucha a potom do pravého ucha o čom svedčia aj posuny týchto impulzov(vpravo) [9].**

### 2.1.5 Minimálny počuteľný uhol

Pod minimálnym počuteľným uhlom (Minimal Audible Angle) rozumieme uhol aký sluchový systém dokáže rozlíšiť medzi dvoma zdrojmi zvuku (Obr. 11). Ide vlastne o priestorovú rozlíšiteľnosť zvuku, ktorý zaznie z jedného a raz z druhého zdroja zvuku, ktoré sú pred hlavou. Najlepší minimálny počuteľný uhol je  $1^\circ$  pri zdrojoch zvuku, ktoré sa nachádzajú pred hlavou. Taktiež MAA závisí od frekvencie, kde najväčší uhol je pri frekvenciách v rozsahu 2 – 4 kHz, keďže toto je pásmo, kde sa prelína ITD s ILD.



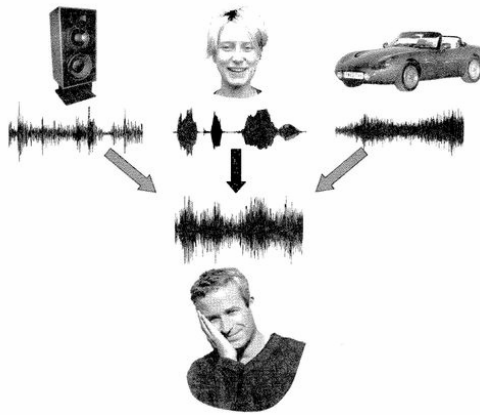
Obr. 11 Minimálny počuteľný uhol medzi dvoma zdrojmi zvuku [4].

### 2.1.6 Efekt precedencie

Jednoznačne môžeme povedať, že je jednoduchšie určovanie polohy zdroja zvuku vo vonkajšom prostredí, ako keby sme ho mali lokalizovať v uzavretej miestnosti. Zvuk vo vnútornom prostredí sa odráža od stien, podlahy, poprípade predmetov, ktoré sa v nej nachádzajú a týmto vzniká množstvo zvukových odrazov, ktoré vstupujú do sluchového kanála. Sluchový systém aj napriek tomu dokáže oddeliť zvuk z priameho zdroja od jednotlivých odrazov a to na základe času, ktorý prislúcha jednotlivým zvukom z prostredia. Najkratší čas, ako aj najmenšiu vzdialenosť, od zdroja k sluchovému orgánu prejde zvuk z hlavného(primárneho) zdroja, väčšie časové hodnoty a hodnoty vzdialenosti majú odrazené zvuky. Tlmenie jednotlivých odrazov a uprednostňovanie primárneho zdroja zvuku sa označuje ako „precedence efekt“ alebo „efekt precedencie“. Dôležité je, aby bolo zabezpečené časové oneskorenie medzi jednotlivými zvukmi. Pri jednoduchých klikoch musí byť táto hodnota v rozsahu 1ms – 5ms, pre vyššie hodnoty časového oneskorenia sa vnímajú obe zvuky.

## 2.2 Pozornosť

V závislosti od toho na akú priestorovú úlohu sa zameria človek v danom okamihu (obraz, hmat, zvuk, ...) (Obr. 12), dochádza v mozgu k rôznym aktivitám. Tieto mozgové aktivity sú vyvolané vďaka mechanizmom modalít, ktorými človek disponuje.



Obr. 12 Človek pri bežných činnostiach je vystavený množstvu zvukov. Ale iba na niektoré, pre neho dôležité, sa chce sústrediť, aktivuje sa sluchová pozornosť.

Pri bežných situáciách sa človek zameriava respektíve vníma len tie podnety, ktoré sú pre neho dôležité [4]. A to, ktoré sú uprednostnené t.j. ktoré putujú na ďalšie spracovanie v mozgu, určujú práve mechanizmy pozornosti [12]. Komplexná definícia pozornosti je veľmi komplikovaná, keďže nie je dokázané, či pozornosť sama o sebe vôbec existuje. Pozornosťné mechanizmy predstavujú filter. Poznáme dva typy pozornosti [4].

- a) **Strategická alebo endogénna pozornosť** je pozornosť kedy cieľavedome sa zameriavame na konkrétny podnet.
- b) **Automatická alebo exogénna pozornosť** je pozornosť kedy sa zameriame na podnet bez toho, aby sme to vedome chceli. Väčšinou ide o hlasné zvuky, ktoré na seba automaticky upútajú pozornosť [2].

Pozornosť pozostáva z troch zložiek:

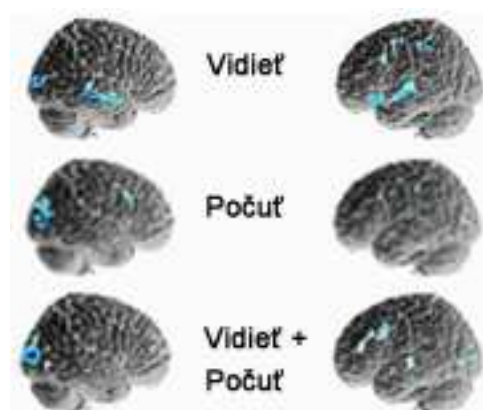
- a) **Selekcia** – sa zaoberá otázkou na základe čoho sa pozornosť zameriava. Či je to objekt v priestore, nejaká oblasť alebo na základe vlastnosti objektu.
- b) **Vigilancia** – inak povedané „bdelosť“. Zaoberá sa udržaním pozornosti na daný objekt.
- c) **Riadenie** – vychádza z vigilancie. Zaoberá sa presunom pozornosti na iný objekt v priestore [2].

### 2.2.1 Sluchová pozornosť

Sluchové pozornosťné mechanizmy prispôsobujú neurálnu aktivitu tým, že kódujú priestorovú lokalizáciu, zvukové hodnoty tých stimulov, na ktoré sa sústreďme a taktiež počiatočnú sensorickú reprezentáciu prítomných stimulov [11].

Priestorová sluchová pozornosť zahŕňa vnímanie viacerými modalitami (zrak, sluch, ...) a patrí medzi krosmodálne vnímanie (Obr. 13). Súčasne integruje veľké množstvo podnetov. Viaceré štúdie sa zaoberajú na prítomnosť sluchovej a zrakovej pozornosti a ich interakcie v spoločnej mozogvej oblasti.

Hlavné vlastnosti sluchovej pozornosti sú obmedzenosť a selektivita. Obmedzená je preto, lebo nedokáže integrovať naraz všetky podnety v danom okamžiku [4] a selektívna preto, lebo z množstva podnetov sa dokáže zamerať na tie, ktoré sú dôležité, napríklad – priestorová lokalizácia, frekvencia a intenzita zvuku, trvanie prezentovaného tónu a dôležité je aj to, či ide o reč alebo iné zvukové podnety [11]. Keďže ide o množstvo vzájomných akustických procesov tak v mozgu musia existovať paralelne poprepájané neurálne miesta [11]. V skutočnosti tieto miesta pozornosti sluchového spracovania sú variabilné a pravdepodobne závislé od aktuálnych behaviorálnych úloh. V prípade vizuálneho systému pozornosti je predpoklad ten istý. Vo väčšine literatúr sa skúma všeobecná nervová aktivita, ktorá je založená na vizuálnej a sluchovej pozornosti. Odhaľujú veľké prekrývanie frontoparietálnej oblasti pri ich vzájomnej aktivácii [12].



Obr. 13 Horná dvojica obrázkov ukazuje aktivované oblasti mozgu pri sluchovom podnete, stredná dvojica ukazuje aktivované oblasti mozgu pri vizuálnom podnete, dolná dvojica obrázkov ukazuje, že pri podnete, ktorý vnímame vizuálne a zároveň sluchovo sa aktivujú určité časti oblasti mozgu zo sluchového a zrakového podnetu [14].

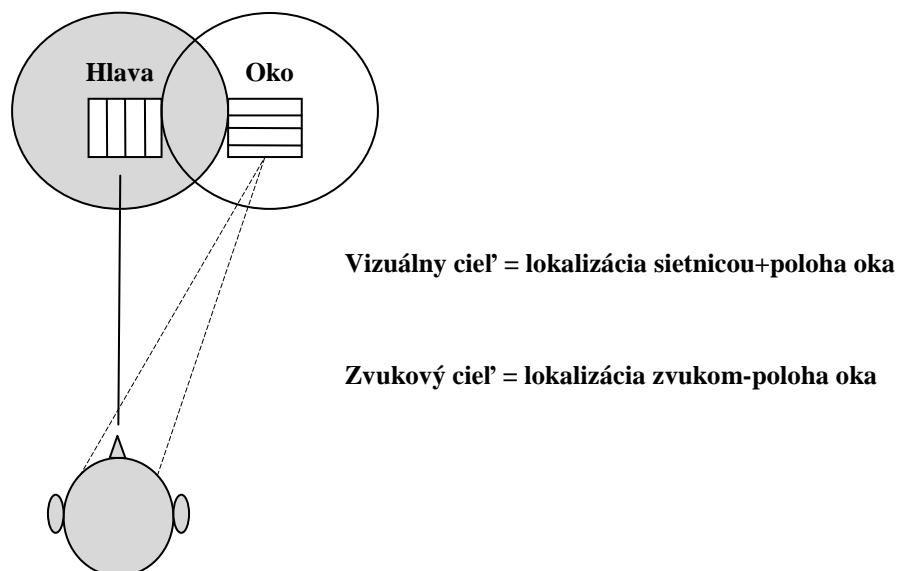


## 2.3 Multimodálne vnímanie a krosmodálne interakcie

Veľa štúdií sa zaoberá len unimodálnou pozornosťou t.j. vnímanie podnetu len jedným zmyslom. Išlo buď o sluchovú alebo zrakovú pozornosť, nikdy nie obe súčasne a následne výskum ich interakcií. Pozornosť sa skúmala osobitne pre každú modalitu [18].

Ale pri každodennej činnosti vnímame okolie, v ktorom sa nachádzame, viacerými modalitami, čím zapájame viac zmyslov ako jeden. Sluch a zrak nám slúžia na vytváranie priestorových máp externého sveta(okolia) pri akejkoľvek činnosti. Ale sluchové a zrakové mapy vznikajú prostredníctvom dvoch zmyslov, ktoré sú navonok od seba oddelené a tiež používajú rozdielne mechanizmy [15].

Zrak zohráva dôležitú úlohu v mozgových procesoch a pri interpretácii sluchovej informácie [17]. Medzi pozornosťou u sluchovej a zrakovej modality, ktoré sú vybudené súčasne, existuje mnoho spoločných črt [11] (Obr. 14). K ich paralelnému pôsobeniu využíva dva mechanizmy: buď je to efekt bottom – up alebo efekt top – down. Ďalšou podobnosťou je, že v procese pozornosti sa prispôbujú priestorové a iné vlastnosti u oboch modalít. Okrem spomínaných vlastností je dokázané, že vizuálna stimulácia aktivuje sluchové kortikálne oblasti v mozgu [11].



**Obr. 14** Aktivita očí narúša sluchový priestor (ľavý kruh) a vizuálny priestor. Objekt, ktorý je počuteľný(štvorec s horizontálnymi čiarami) a zároveň videný(štvorec s vertikálnymi čiarami) vytvára konflikty pri priestorovom vnímaní.

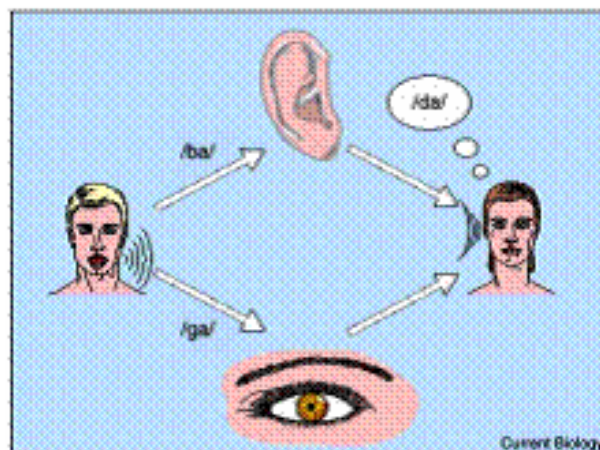
V tejto časti si ďalej popíšeme dva najčastejšie uvádzané príklady multimodálneho vnímania, krosmodálnych interakcií.. Konkrétne budeme popisovať interakcie medzi vizuálnym a sluchovým vnímaním, keďže je to aj jedným z cieľov tejto práce.

### 2.3.1 McGurkov efekt

Jednoduchým príkladom multimodálneho vnímania je vnímanie reči [4]. Človek, ktorý sa nachádza v hlučnom prostredí je vystavený množstvu zvukov a preto vnímať reč človeka v danej chvíli je problematické. Ako pomoc, človek využíva v takej situácii zrakový zmysel tým, že sleduje mimiku, gestá rúk, pohyb pier.

Z toho vyplýva, že len sluchové vnímanie nám nepostačuje. Zraková informácia získaná z prostredia zohráva dôležitú úlohu, čo počujeme. Takýmto príkladom je McGurkov efekt [16].

Podstata tohto efektu spočíva v tom, že na monitore je zobrazená tvár človeka, ktorý vyslovuje slabiku „ga“. Ale z reproduktorov zaznie slabika „ba“ a nakoniec úlohou subjektu je povedať, čo počul. Odpoveďou je slabika „da“ (Obr. 15). Na tomto efekte je zaujímavé to, že vyslovená slabika nie je zhodná so slabikou, ktorú subjekt mohol vidieť na monitore a ani s tou, ktorá zaznela z reproduktorov. Jednoducho došlo k určitej interakcii zrakovej a sluchovej informácii [13].



Obr. 15 Audio – vizuálna integrácia, McGurkov efekt.

### 2.3.2 Bruchomluvecký efekt

Doteraz sme povedali, že zrková informácia ovplyvňuje hlavne „čo“ počujeme. Ale zároveň ovplyvňuje aj smer odkiaľ zaznel zvukový podnet. Ak človeku, ktorý sa nachádza v priestorovej doméne, sa vizuálna informácia o polohe objektu nezhoduje so sluchovou informáciou potom dominuje vo väčšine práve zrak. Lokalizácia sluchového stimulu je ovplyvnená konkurenčným zrkovým stimulom, kde poloha zdroja sluchového stimulu sa vníma z toho istého miesta odkiaľ dostávame zrkové stimuli [18]. Príklad, ktorý to opisuje je tzv. „bruchomluvecký“ efekt [16]. Bábku vidíme pohybovať ústami a preto sa nám zdá, že hovorí ona a nie človek, ktorý ju ovláda [4]. Tento jav sa môže použiť pri štúdiu mechanizmov, ktoré budú založené na zrkovej kalibrácii sluchového priestoru [17]. Bruchomluvecký efekt sa skúma aj v experimentálnych podmienkach, kde subjekt má za úlohu lokalizovať zvuk. S týmto zvukom je miestami počas experimentu súbežne prezentovaný aj vizuálny stimul [4].

Zrkové a sluchové podnety z priestoru sú dôsledkom rozdielnych výpočtových mechanizmov a zároveň vznikajú v rozdielnych oblastiach v priestore [17]. Vzorka svetla, ktorá dopadne na sietnicu oka poskytuje informáciu o umiestnení zrkového stimulu vzhľadom k polohe hlavy, jej očí („eye – centered“) [19], zatiaľ čo, sluchová informácia sa vypočítava z binaurálnych rozdielov, ktoré sú závislé od polohy zdroja zvuku vzhľadom k hlave subjektu („head – centered“) [19].

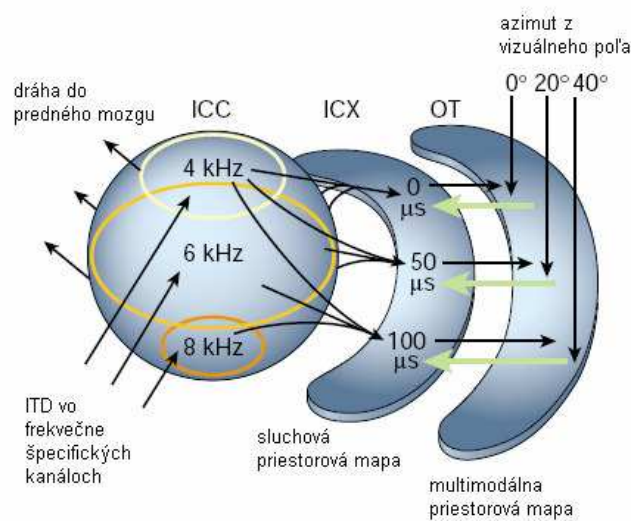
## 2.4 Plasticita

Úvodom tejto časti si potrebujeme vysvetliť, čo rozumieme pod pojmom plasticita. Definícia slova plasticita je: bezproblémové prispôsobovanie sa organizmu prostrediu. Takže môžeme povedať, že sluchový systém sa dokáže meniť v závislosti od okolia – prispôsobuje sa danému okoliu na základe skúseností.. Sluchová priestorová mapa človeka, ako aj u zvierat, je schopná meniť sa, nie je statická ako by sme si to mysleli.

### 2.4.1 Sluchová priestorová mapa

Ako sme si už povedali, sluchový stimul z okolia prechádza do sluchového orgánu a končí v mozgu, konkrétne v sluchovom kortexe. Jednotlivé oblasti, ktorými prechádza stimul sú tonotopicky organizované, čo znamená, že rôzne frekvencie zo sluchového podnetu sa spracúvajú v rôznych sluchových kanáloch. Následne tieto kanály sa

sústredujú v určitej časti, kde sa indikujú neuróny stredného mozgu a vytvárajú sluchovú priestorovú mapu. Aktivita neurónov z oblasti zabezpečuje lokalizáciu v priestore alebo neuróny sú nastavené na parametre, ktoré umožňujú lokalizáciu. Ako príklad si môžeme uviesť priestorovú mapu sovy. V prípade, že je hladná tak musí lokalizovať zvuky potenciálnej koristi, ktoré vytvárajú sluchovú mapu v mozgu sovy. Hlavná lokalizačná dráha sovy pozostáva z troch častí: centrálné jadro, externé jadro a optické tektum. Centrálné jadro alebo aj „Centrálné jadro Colliculus inferior“(ICC) je rozdelené na tri oblasti, pričom každá z týchto oblastí sa aktivuje pre rôzne frekvencie. Výstupy z centrálného jadra smerujú do „externého jadra Colliculus inferior“(ICX), ktoré predstavuje miesto, kde sa táto mapa vytvára [21]. Poslednú časť lokalizačnej dráhy predstavuje optické tektum, ktoré je vyvolané sluchovou mapou. Zahŕňa v sebe aj vizuálnu mapu a ďalšie mapy od iných modalít, takže dochádza k vytvoreniu mapy zo všetkých zmyslov – „multimodálna mapa“ [4] (Obr. 16).



**Obr. 16** Lokalizačná dráha sovy. Zvuk sa premieta z ICC do ICX do OT. Sluchová priestorová mapa sa vytvára v oblasti ICX, ktorá sa spája s mapami iných modalít v OT. Vytvorila sa multimodálna mapa.

## 2.4.2 Rôzne prístupy k štúdiu plasticity

Pod štúdiom plasticity máme na mysli jej vyvolanie. Plasticita sa vykonáva na subjektoch, ktorými sú ľudia ale taktiež aj živočíchy. Živočích, ktorý je pre štúdium plasticity najlepší predstavuje sova. Sova je známa ako nočný živočích, v noci si

vyhľadáva potenciálnu korisť, v noci prežíva. Pre ne je lokalizácia zvukov nevyhnutná. Potom je sova známa tým, že má zafixované oči v smere hlavy, nedokáže nimi hýbať, čo pri ľudských subjektoch sa nedá tomu veľmi zabrániť. Ak zaznie sluchový podnet z prostredia, sova natočí hlavu bez toho aby pohybovala s očami. Odpovede sa zaznamenajú a vyhodnotia a určí sa presnosť odpovedí na cieľový stimul. Takýto spôsob odpovedania je pre výskum relatívne ľahko vykonateľný.

Poznáme viacero prístupov k štúdiu plasticity sluchového systému. Medzi najznámejšie patria tieto:

- **dlhodobé vystavenie subjektu konštantnému zvuku**

V poradí tretím spôsobom ako vyvolať plasticitu je vystavenie subjektu konštantnému zvuku. Ako už z názvu vyplýva, pri tomto prístupe sa subjektu prehráva zvuk. Tento zvuk trvá približne štyri minúty a predstavuje rušivý element. Človek ma za úlohu určovať smer odkiaľ prišiel zvuk, ktorý sa prehrá bezprostredne po ňom. Výsledkom je, že človek odpovedal smerom od rušivého zvuku.

- **prekrytie ucha**

Tento prístup využíva adaptáciu sluchového systému, ku ktorej môžeme dospieť ak zmeníme hodnoty ITD a ILD pre zvuk, ktorý chceme lokalizovať. Preto sa využíva metóda prekrytia ucha. Je jednoduché si predstaviť, že v takomto prípade okamžite nastanú rozdiely v intenzitách zvuku pre ľavé a pravé ucho.

Nech zdroj zvuku sa nachádza v pravej časti do subjektu. Zvuk sa bude šíriť v priestore postupne, najprv dopadne do pravého ucha s väčšou intenzitou a neskôr do ľavého ucha s menšou intenzitou. Na takéto prostredie je naučený aj mozog. Ak si napríklad rukou prekryjeme pravé ucho tak zvuk s väčšou intezitou bude prichádzať do ľavého ucha – dochádza k narušeniu pôvodných lokalizačných parametrov v mozgu. Úlohou je dokázať, či sluchový systém sa dokáže adaptovať na nové podmienky tak, že dôjde k premapovaniu(preučeniu) sluchového systému. Či dôjde k zmenám hodnôt v lokalizačných parametroch v mozgu zistíme na základe presnosti odpovedania subjektu. Na základe vykonaných exerimentov na sovách sa dospelo k záveru, že ak mali zatienené ucho tak odpovede vybudili posuv od prekrytého ucha [22]. Ďalej sa zistilo, že u sovy mladšie ako dva mesiace, pri prekrytom uchu, sa bez veľkých

---

problémov adaptovali na nové prostredie. Po určitom čase však sovy nadobudli správnu lokalizáciu zvukov. U starších sov sa táto adaptácia nepotvrdila. Pri odobratí prekryvátka mladé sovy na začiatku vykazovali nepresnosť, no po určitom čase sa opäť prispôbili prostrediu. V mozgu sovy dochádzalo k tomu, že neuróny na úrovni OT nadobudli nové hodnoty interaurálnych rozdielov v čase a v intenzitách.

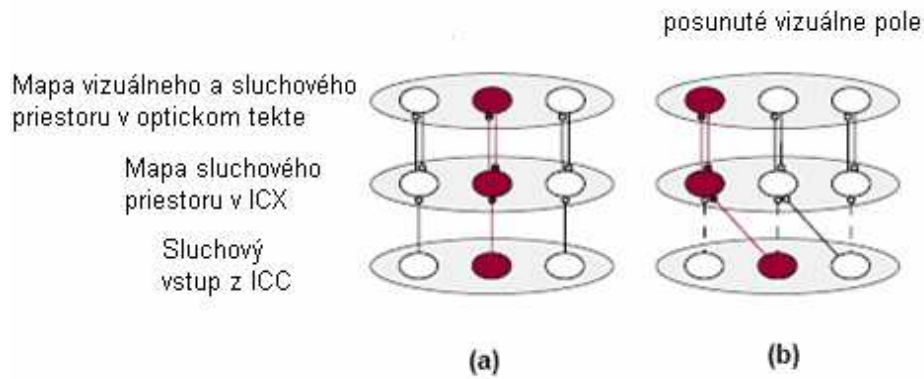
- **precedence efekt**

Posledný spôsob ako vyvolať plasticitu je úzko spätý s precedenciou. Tento efekt sa spočíva v tom, že zvuky z dvoch reproduktorov, ktoré sú na pravej a ľavej strane, počujeme ako jeden z jedného reproduktora, pri ich určitom časovom omeškaní. Ak sa tieto dva rebráky medzi sebou zamenili tak opäť nastal požadovaný efekt. Môžeme povedať, že došlo k plasticite sluchového systému.

- **posun vizuálneho poľa**

Ďalším spôsobom vyvolávania plasticity je posun vizuálneho poľa. Ak sa sove posunulo vizuálne pole pomocou „priziem“ (podobné okuliarom) tak jej sluchové pole sa opäť prispôbilo, zrakové a sluchové polia sa zarovnali. Ak sa sove odobrali prizmy tak sa naspäť nastavila na pôvodné ITD. Tento efekt nastal u mladých ako aj u starších typoch sov.

Môžeme povedať, že došlo k rozporu v tom ako sa vnímal akustický podnet, jeho zdroj. Ako vieme tak zrak má veľký vplyv na nastavenie sluchovej mapy a k rozkolu došlo medzi vizuálnou a sluchovo vnímanou polohou zdroja. Z toho dôvodu dochádza k javu kedy sluchová mapa sa snaží zarovnať so zrakovou. Preto vzniká plasticita a s ňou spojené plastické zmeny [4] (Obr. 17).



**Obr. 17** Simulácia javu kedy dochádza k plasticite u sovy. (a) normálny stav kedy sluchový podnet aktivuje neuróny z oblastí ICC, ICX, OT. V optickom tekte sa potom združuje vizuálna a sluchová mapa. (b) je stav kedy sa posunie zorné pole sovy. Reprezentácia stimulu v jednotlivých oblastiach sa presunula na iné neuróny a výsledkom je celkové posunutie v optickom tekte.

Ako príklad sluchovej adaptácie u ľudí môžeme uviesť experimenty, ktoré boli zamerané na vertikálne určenie polohy zdroja zvuku. Pri tomto type sa zvuk odráža od ušných záhyboch a tým sa menia jeho parametre, ktorý následne vstupuje do ucha. Takže ich úpravou môžeme dosiahnuť iné charakteristiky vstupujúceho zvuku do uší. Ak sa pripevnili pomocné záhyby tak určovanie polohy zdroja sa zhoršilo ale po čase sa človeku vrátila. Dôležitým poznatkom, ktorý sa zistil je, že človek hneď po odobratí pomocných záhybov vedel správne lokalizovať podnety – tak ako na začiatku. Z toho vyplýva, že subjekt nemal problém pracovať s novými hodnotami parametrov. To však znamená, že vedel rozlišovať z pomedzi dvoch skupín hodnôt pre vertikálnu lokalizáciu zvuku.

### 2.4.3 Modely plasticity

Zatiaľ, čo výpočty, ktoré prebiehajú v mozgu, ktoré sú podstatné pri lokalizácii zdroja zvuku, medzi sebou navzájom súvisia, tak úplne presná lokalizácia závisí na systematickom kalibrovaní týchto výpočtov pri každodenných skúsenostiach. Behaviorálne ako aj fyziologické štúdie demonštrujú, že priestorový sluchový systém sa adaptuje za účelom naučiť sa a udržiavať presnú lokalizáciu zvuku. Mentálny vývoj akým je plasticita, môže prekonávať individuálne rozdiely medzi jednotlivcami v podobe tvaru hlavy a uší ako aj zmeny veľkosti hlavy u zvierat. Sluchový systém sa však musí prekalibrovať v krátkom časovom pásme s cieľom umožniť lokalizáciu

v prípade, že poslucháč mení akustické prostredia. Doterajšie výsledky ukazujú, že dlhodobé a krátkodobé experimenty ovplyvňujú vnímanie lokalizácie sluchového zdroja. Zatiaľ čo, priestorový sluchový systém ukazuje, že je schopný prekalibrácie. Aj napriek tomu má obmedzenia pri plasticite. Akýkoľvek komplexný model priestorovej sluchovej plasticity, popisujúci účinky experimentu pri priestorovom vnímaní, musí objasňovať ako tieto limity dávajú najavo, či išlo o krátkodobé alebo dlhodobé tréovanie pri zmenách priestorových vodítok.

Predtým než začneme popisovať model musíme si niečo povedať o jednotlivých typoch plasticity. Poznáme dva typy plasticity, krátkodobú a dlhodobú. Pri tomto popise budeme vychádzať zo štúdií a poznatkov, ktoré spracovala Barbara Shinn – Cunningham.

#### **a) Dlhodobá plasticita**

Mnoho výskumov sa zaoberalo ako nové usporiadania v experimentoch ovplyvnili odpovede subjektu. Tieto výskumy ukázali, že vývoj týchto neurofyziologických odpovedí závisí na vhodnom sluchovo – vizuálnom zážitku. U dospelých zvierat sa pri dlhodobom tréovaní tiež ukázala plasticita, ale v menšom rozsahu. Pozorovala sa vo vnútri inferior colliculus (IC). V ďalších štúdiách, kde subjektom bol človek, sa zaoberali tým, ako lokalizácia uskutočňuje zmeny pri dlhodobom tréovaní. Výnimku tvorili ľudia, ktorí podstúpili operáciu na korekciu vrodenej sluchovej atrezie(stav kedy je jeden sluchový kanál zablokovaný). U nich sa úplne obnovenie sluchového systému nedosiahlo. Dokonca po niekoľkých mesiacoch po operácii pacienti vykazovali chyby pri priestorových sluchových úlohách, hoci ich citlivosť na základné priestorové parametre, napríklad ITD a ILD, mali v norme [23].

Tieto behaviorálne a fyziologické fakty predpokladajú, že s dlhodobým tréovaním s viac než jedným súborom priestorových vodítok môžeme reprezentovať jednu pozíciu v exocentrickom priestore. Po adaptácii subjekty správne ukazovali na zdroj, pričom sa menila jeho elevácia [23].

Podľa Barbary Shinn – Cunningham a z hľadiska fyziológie dlhodobé tréovanie mení, adaptuje zvukové receptívne pole tak, že receptívne pole si postupne nevytvára odklon od pôvodnej k novej lokalizácii. Namiesto toho prietorové vnímanie nastáva



---

najprv bimodálne (pôvodné a nové lokalizácie) a až potom dôjde k zakódovaniu novej lokalizácie.

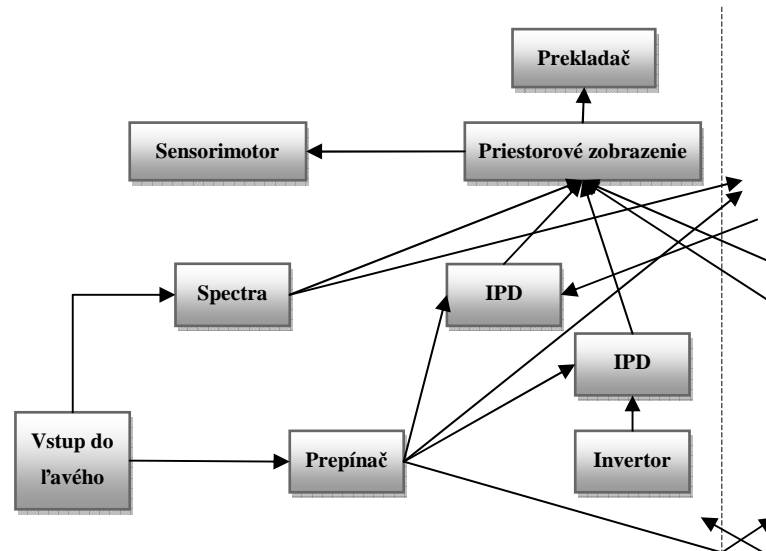
### **b) Krátkodobá plasticita**

Štúdie krátkodobej plasticity ukazujú ako rýchlo sa dokázali subjekty adaptovať na zmeny v priestorových vodičkach – zakódovanie zdroja zvuku. Treba ďalej povedať, že adaptácia predstavuje len časť z komplexného premapovania priestoru. Výsledky jednotlivých experimentov hovoria o tom, že sluchový systém je optimalizovaný na vypočítanie priestorovej lokalizácie pre podnety z prostredia a taktiež sa zistilo, že krátkodobé tréningy nemôže ovplyvniť výpočtový proces priestorovej pozície. Môže len reprezentovať to, ako sa mapujú jednotlivé priestorové vnemy.

#### **2.4.3.1 Systémový model plasticity**

Doterajšie popisy systémového modelu len prebiehali na jeho jednotlivých úrovniach. Tento model priestorového sluchového spracovania v sebe zahŕňa výsledky z fyziologických experimentov, ktoré sa zaoberajú procesmi priestorovej lokalizácie a procesmi v plasticite. Tieto získané výsledky sa zhodujú s hypotézami, že sluchová informácia sa spracúva na hierarchickej úrovni a základné parametre pri lokalizácii (ITD, ILD, frekvencia,...) sa spoločne integrujú a vytvárajú priestorovú reprezentáciu. Predbežný model podľa Shinn – Cunningham predpokladá, že táto integrácia sa približuje k maximálnemu odhadu pozície zdroja, ktorý je založený na nižších stupňoch spracovania. V navrhovanom modeli IPD, ILD a spektrum frekvenčných kanálov sa sústreďujú v jednom kroku do formy priestorovej reprezentácie. V prípade, že hodnoty IPD a ILD sa zhodujú pri rovnakej frekvencii, potom dochádza k rozporu, ale obe interaurálne parametre majú priamy vplyv na aktivitu neurónov vo finálnej reprezentácii. Model Shinn – Cunningham sa zhoduje s funkčnými modelmi priestorového sluchového spracovania u sov. IPD a ILD informácie sa nepodielajú súčasne pri tvorbe priestorového vnemu ale každý parameter vplyva oddelene na lokalizáciu zdroja.

Zatiaľ čo, krátkodobé tréningovanie vytvára zmeny „kde“ v exocentrickom priestore sa vníma zdroj zvuku, dlhodobé tréningovanie spôsobuje „ako“ poloha zdroja zvuku sa vypočítava z hodnôt základného stimulu.



Obr. 18 Systémovo – úrovňový model priestorového sluchového spracovania. Krátkodobé tréningovanie ovplyvňuje len vyššie stupne spracovania, dlhodobé tréningovanie ovplyvňuje všetky. DCN= Dorsalcochlear nucleus, AVCN = anteroventral cochlear nucleus, MSO = medial superior olive, LSO = lateral superior olive, SC = superiorcolliculus, MNTB = medical nucleus.

## 2.5 Vplyv vizuálneho vnímania na priestorové sluchové vnímanie

Funcie zrakového a sluchového systému sa navzájom prekrývajú, ovplyvňujú sa. Obidva zmysly vnímajú stimuly, ktoré sa nachádzajú v určitej vzdialenosti od tela a rozlišujú sa v somatosenzorickom systéme. Na rozdiel od iných zmyslov, zrak a sluch sú schopné poskytnúť detailnú priestorovú a časovú informáciu. Teda môžeme povedať, že zrak a sluch majú za úlohu privádzať informáciu z externého sveta o objektoch a udalostiach, ktoré sa v ňom dejú.

### 2.5.1 Vizuálne a sluchové interakcie v mozgu

V prípade, ak sa subjekt nachádza v prostredí len s jedným akustickým zdrojom tak už dochádza v mozgu k náročným výpočtom, ktoré musí mozog spracovať na základe dvoch akustických signálov, ktoré vstupujú do uší. Ako sme už spomenuli,

činnosti medzi zrakom a sluchom sa ovplyvňujú. Interakcie medzi zrakovým a sluchovým systémom môže prinášať viaceré výhody.

Po prvé, jeden alebo druhý sensorický systém môže tomu druhému poskytnúť stratenú informáciu. Napríklad vizuálny systém je vynikajúci v prípade získanie priestorových informácií. Ale ak sa nachádzame v tmavej miestnosti tak zrak zlyháva, neposkytuje žiadnu informáciu o objektoch, ktoré sa tam nachádzajú. Ďalším prípadom je fakt, že zrak nedokáže vnímať objekty, ktoré sú mimo zorného poľa očí. Vtedy zohráva dôležitú úlohu sluchový systém, ktorý dokáže tieto medzery vyplniť.

Po druhé, ak zrakový a sluchový zmysel poskytuje informáciu o tom istom objekte alebo situácii tak ich kombináciou dostáva človek presnejší vnem, ktorý z oboch vyplýva. Tento typ vzájomného pôsobenia je najlepšie ilustrovať na príklade, kedy zraková a sluchová informácia sa skutočne trochu odlišuje pričom vnem je jednotný pre obe. Typickým príkladom je McGurk – ov efekt, ktorý je opísaný v časti 2.3.1 V krátkosti – človek skutočne povie „ga“ z reproduktorov zaznie slabika „ba“ a človek, ktorý má vysloviť, čo počul povie „da“. V mozgu dochádza k interakcii medzi zrakovou a sluchovou informáciou, ktorá poskytuje jednotný vnem ako dôsledok dvoch zdrojov informácií.

Trvalé nezhody medzi vizuálnou a sluchovou informáciou môžu smerovať k trvalým zmenám v spôsobe, akým je informácia jedného z dvoch zmyslov vnímaná, pričom vznikajú sprievodné javy v zmenách nervového spracovania. Často spomínaným príkladom je štúdia na sovách, kde od malička sú im nasadené prizmi a postupne sa mení ich správanie v lokalizácii zvuku, ktoré je zhodné s posunutým zrakovým poľom. Po odobratí priziem sa sovy ľahko vrátili do normálneho stavu lokalizácie ako dospelé jedince. Z toho vyplýva, že musí existovať premapovanie, ktoré umožňuje vykonať tieto zmeny.

Práca Recanzone a kolektív demonštruje, že u ľudí a opíc, ktorým bola prezentovaná nesúhlasná vizuálna informácia, dochádzalo k podobnej kalibrácii sluchového systému. Ak sa prezentoval zrakový stimul, ktorý bol trochu posunutý od sprevádzaného zvuku, došlo k situácii kedy nastal posun aj vo vnímaní polohy zdroja. V tomto prípade ide o bruchomluvecký efekt, ktorý je podrobne popísaný v časti 2.3.2 Zdá sa, že podľa toho ako je zaťažený mozog informáciami od sensorických vstupov, podľa toho sa vytvára predpoklad spoľahlivosti komplexného vnemu.

Audio – vizuálne interakcie, spomenuté v predchádzajúcom odstavci, si vyžadujú sériu výpočtov na úrovni mozgu. Pravdepodobne najdôležitejší problém aký mozog musí vyriešiť je to ako správne identifikovať z pomedzi zrakových a sluchových informácií tie, ktoré medzi sebou súvisia. V spomenutých príkladoch bruchomluveckého a McGurkového efektu práve k tejto správnej identifikácii nedochádza: zachytené zrakové podnety nesúhlasia s so zvukom, s polohou zdroja; zvuková stopa z videa nie je ten istý zvuk, ktorý človek vyslovil. Existujú tri predpoklady, ktoré objasňujú súvis medzi vizuálnymi a zrakovými signálmi pri rovnakej udalosti:

1. Priestorový – odhadujú sa signály z približne tej istej pozície v priestore.
2. Temporálny(časový) – predpokladajú sa signály s tým istým časovým oneskorením.
3. Prostredníctvom skúseností – predpokladajú sa signály, ktoré boli združené pred nimi.

Najväčší problém pri integrácii zrakových a sluchových signálov je v tom, že oba ich zdroje inicializujú činnosť rozdielnych súradníc t.j. iných mechanizmov spracovania. Zraková priestorová informácia sa získava z miesta aktivácie na sietnici oka. Miesto, kde vznikla táto aktivácia závisí od vizuálneho objektu vzhľadom k smeru zraku. Pri sluchu je to naopak. Poloha zvuku sa určuje na základe ITD a ILD. Tieto parametre špecifikujú polohu zvuku vzhľadom k hlave a ušiam. Séria behaviorálnych štúdií poskytuje dôkazy, že mozog určitým spôsobom vypočítava polohu, jednotlivé parametre. Fyziologických výskumy predpokladajú, že tento proces výpočtu súradníc sluchových signálov začína pomerne v skoršom štádiu sluchovej dráhy: mnoho neurónov v IC(Inferior colliculus) sú citlivé na polohu očí. Táto senzitivita sa tiež prenáša do sluchovej kôry. Momentálne nie je známe, kde signály, ktoré reprezentujú polohu očí, mohli by vystupovať v sluchovej dráhe alebo v akom smere sa šíria t.j. prostredníctvom stúpajúcich ale klesajúcich prepojení. Aký druh transformácie uskutočňuje neurálne spojenie je tiež nejasné.

Vplyv polohy zraku na sluchové neuróny v IC a sluchovej kôre narúša sústredenie hlavy pri priestorovej sluchovej informácii, ale nie pri sústredení zraku.

---

Reprezentácia sluchovej informácie v IC a sluchovom kortexe je skoro podobná tomu, ktorý je v intraparietálnom kortexe, ktorý je špeciálne spojený riadiacou činnosťou očí.

Nie len poloha oka vplýva na aktivitu sluchových oblastí, ale taktiež aj stimuly na sietnici oka. Dôkazom toho, že zrak vplýva na sluchové spracovanie je mnoho anatomických, fyziologických a behaviorálnych štúdií. Navrhnutie koncepcie medzi zrakovou a sluchovou kôrou sa vykonalo u primátov (cicavcov).

## 3 Experimentálna časť A

Tento experiment vychádza zo štúdie N.Kopča, V.Best a B.G.Shinn-Cunningham „Sound localization with a preceding distractor“ [17]. V tomto experimente sa skúmal vplyv vizuálneho vstupu na kontextuálnu plasticitu a taktiež vplyv motorického odpovedania pri určovaní zdroja zvuku. Skúmalo sa správanie, ak má človek otvorené alebo zatvorené oči a používa pri odpovediach ukazovátka alebo písmeno – číselnú odpoveď.

### 3.1 Motivácia

V predchádzajúcich experimentoch sa používalo na lokalizovanie zvuku ukazovátka a človek mal pri tom zatvorené oči. Nevieme však, nakoľko to ovplyvnilo samotné výsledky. Keď sa porovnávali odpovede pri otočení subjektu vľavo a vpravo, tak neboli veľmi symetrické. Preto skúsime obmieňať spôsob odpovedania.

#### 3.1.1 Hypotézy

Táto experimentálna časť predstavuje pilotnú štúdiu, z ktorej sa budú vyvodzovať dôsledky a rôzne vplyvy na ďalší priebeh experimentu. Preto sa v tejto časti nebudú popisovať hypotézy, ktoré sú stanovené pre tento experiment.

### 3.2 Experimentálna procedúra

V tejto časti si popíšeme prostredie a pomôcky, ktoré boli použité na hardverové zabezpečenie experimentu a taktiež aj návrh experimentu pre softvérove zabezpečenie.

#### 3.2.1 Hardvérové zabezpečenie

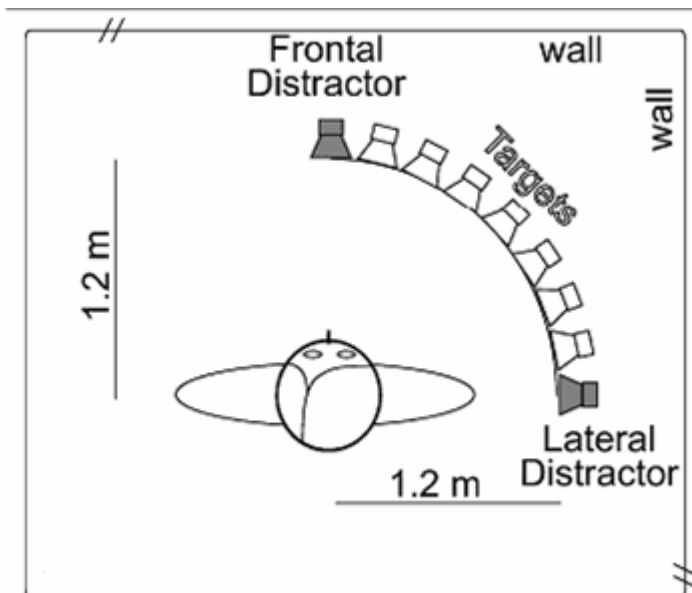
Celý experiment sa vykonal v špeciálnej upravenej komore s rozmermi 1,9m x 2,5m x 2,8m. Podlaha v miestnosti bola pokrytá kobercom, mala akustické dlaždice a tvrdé steny. V miestnosti sa nachádzali len nevyhnutné veci na realizáciu experimentu. Najdôležitejšie sú reproduktory, ktorých bolo desať. Tieto reproduktory boli rozdelené do troch skupín:

1. inštrukčný reproduktor (1 kus)

2. distraktorové reproduktory (2 kusy)

3. nedistraktorové reproduktory (7 kusov)

Distraktorové a nedistraktorové reproduktory boli rozložené do štvrtkruhu s polomerom 1,2 m, pričom distraktorové reproduktory sa nachádzali na krajoch tohto rozmiestnenia t.j. predstavovali úplne krajné reproduktory. Uhol, ktorý zvierali dva reproduktory vedľa seba stojace, predstavoval hodnotu  $11,5^\circ$  s povolenou odchýlkou  $0,25^\circ$  a zároveň sa nachádzali vo výške 1,5m, čo predstavuje výšku operadla na stoličke, kde subjekt umiestni hlavu pred začatím experimentu. Inštrukčný reproduktor sa nachádzal mimo experimentálnych. Jeho úloha spočívala v tom, že podával pokyny napr. kde má byť otočený, či má mať otvorené alebo zatvorené oči, pre subjekt počas celého experimentu.



**Obr. 19 Komora, v ktorej prebiehali experimenty. Vzďialenosť subjektu od reproduktorov (polomer kruhu) predstavoval 1,2 metra.**

Pred reproduktormi bola zavesená akustická tkanina, ktorá zabraňovala tomu, aby subjekt mohol vidieť reproduktory za ňou. Navyiac táto plachta siahala za krajné reproduktory, čo malo význam v tom, že subjekt nebol obmedzený pri odpovedaní v rámci polohy reproduktorov. Na plachte boli pripevnené viditeľné písmeno – číselne dvojice, ktoré sa používali pri experimente ako jeden zo spôsobov odpovedania. Potom sa v miestnosti nachádzala experimentálna stolička s operadlom hlavy. Celú komoru snímala kamera umiestnená na strope pomocou, ktorej sa získavali súradnice reproduktorov, subjektu a ukazovátka ak bola v miestnosti počas experimentu tma.

### 3.2.2 Popis experimentu

Tohto experimentu sa zúčastnili dva subjekty so sluchom v norme. Pred každým začatím experimentu boli subjektu podané potrebné inštrukcie k tomu, aby mohol začať vykonávať experiment.

Celý experiment pre jeden subjekt je rozdelený do štyroch sedení. Potom jedno sedenie je ďalej rozdelené do štyroch blokov, ktoré sa navzájom líšia kombináciou motorickej odpovede a vizuálneho vstupu (v rámci ktorých sa spôsob odpovedania nebude meniť.) Tab. 1:

- Zatvorené oči s ukazovátkom – pri tomto type odpovedania má subjekt zatvorené oči a na lokalizáciu používa ukazovátka. Na hlavu si musí nasadiť špeciálnu čiapku tak, aby uši boli v prirodzenej polohe.
- Otvorené oči s ukazovátkom – pri tomto type odpovedania má subjekt otvorené oči, na lokalizáciu používa ukazovátka. Na hlavu si musí nasadiť špeciálnu čiapku tak, aby uši boli v prirodzenej polohe.
- Otvorené oči bez ukazovátka – pri tomto type odpovedania má subjekt otvorené oči, na lokalizáciu polohy zdroja zvuku používa klávesnicu pomocou, ktorej zadáva tú písmeno – číselnú dvojicu odkiaľ si myslí, že zaznel zvuk. Subjekt sa kontroloval, či je vo východzej polohe (vpravo, vľavo) pomocou kamery.
- Zatvorené oči bez ukazovátka – pri tomto type odpovedania má subjekt zatvorené oči, na lokalizáciu používa drôtenú konštrukciu, ktorú si musí stále nasadiť pred začatím tohto bloku na hlavu tak, aby uši zostali v prirodzenej polohe. Subjekt sa kontroloval, či je vo východzej polohe tým, že musel byť v rozsahu 5° od skutočnej východzej polohy.

Každý blok, vyššie uvedený, pozostával z piatich kôl. Tieto kolá sa ďalej rozdelili na štyri distraktorové kolá a jedno nedistraktorové kolo Tab. 2.



**Tab. 1 Zadanie 4 typov blokov**

ID bloku	Typ bloku
1	zavreté oči, ukazovátka
2	otvorené oči, ukazovátka
3	otvorené oči, bez ukazovátka
4	zavreté oči, bez ukazovátka

**Tab. 2 Zadanie typov kôl pre 4 bloky**

ID kola	Typ kola
1	distraktorové
2 (opakovanie 1)	distraktorové
3 (opakovanie 1)	distraktorové
4 (opakovanie 1)	distraktorové
5	nedistraktorové

Distraktorové a takisto aj nedistraktorové kolo pozostáva zo 175 meraní. Tieto merania sa líšia v rámci spomínaných kôl takto:

- Distraktorové kolo pozostáva:

$7$  (pozícií cieľového zvuku)  $\times$   $2$  (opakovania) =  $14$  – úvodných meraní

$7$  (pozícií cieľového zvuku)  $\times$   $3$  =  $21$  – koncových meraní

Zo stredných  $140$  meraní, kde začneme vyvolávať plasticitu, chceme  $25\%$  nedistraktorových a  $75\%$  distraktorových:

$7 \times 5 = 35$  – nodistraktorové merania

$7 \times 15 = 105$  – distraktorové merania

- Nedistraktorové kolo pozostáva:

Výlučne len z nedistraktorových meraní o počte  $175$ .

Celkovo za každé sedenie sme získali pre každý typ kola  $20$  meraní ( $5$  meraní pre každú pozíciu v rámci kola  $\times$   $4$  opakovania kola v sedení; pre nedistraktorové kolo  $20$  meraní pre každú pozíciu v rámci kola) pre každú pozíciu cieľového zvuku.

Poradie kôl v bloku nech bude náhodné, aj poradie blokov v sedení, a nech sa v rámci bloku striedajú aj otočenia subjektu k ľavému a pravému distraktoru (kolá bolo treba pomiešať tak, aby bolo dokopy za celý experiment každé kolo merané toľkokrát pri otočení vľavo ako pri otočení vpravo).

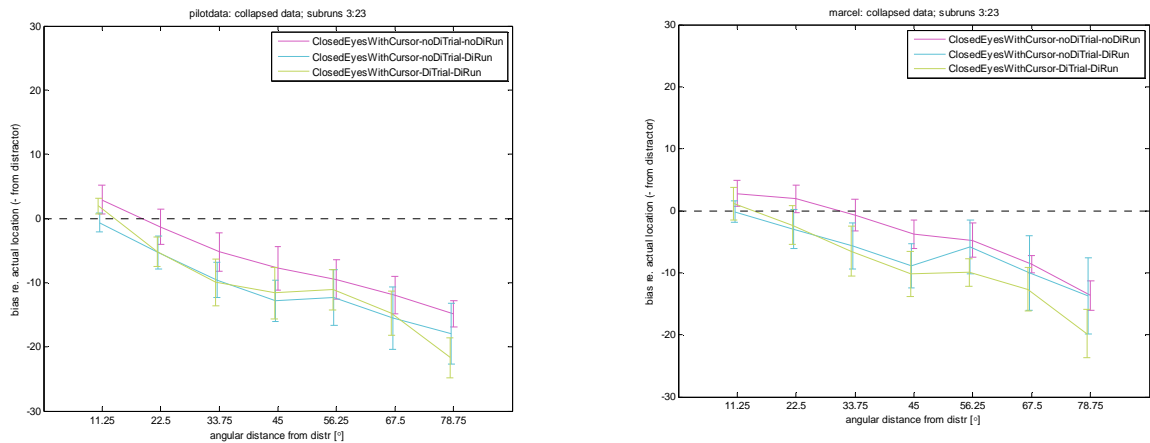
Distraktorový klik sa prezentoval so  $SOA = 25ms$  v celom experimente, pri každom type odpovedania.

### 3.3 Analýza dát

V tejto časti sa nachádzajú výsledky z experimentálnej časti A. Namerané dáta sa prekláпали cez mediálnu rovinu, čím sme získali dvojnásobné množstvo dát pre každý reproduktor. Analýza dát prebiehala formou vyhodnocovania priemerných odpovedí a štandardných odchýlok. Pokiaľ nie je uvedené inak, obrázky ukazujú priemer a štandardnú chybu priemeru cez subkolá a sedenia. V tomto experimente nie sú z analýz vyradené žiadne dáta.

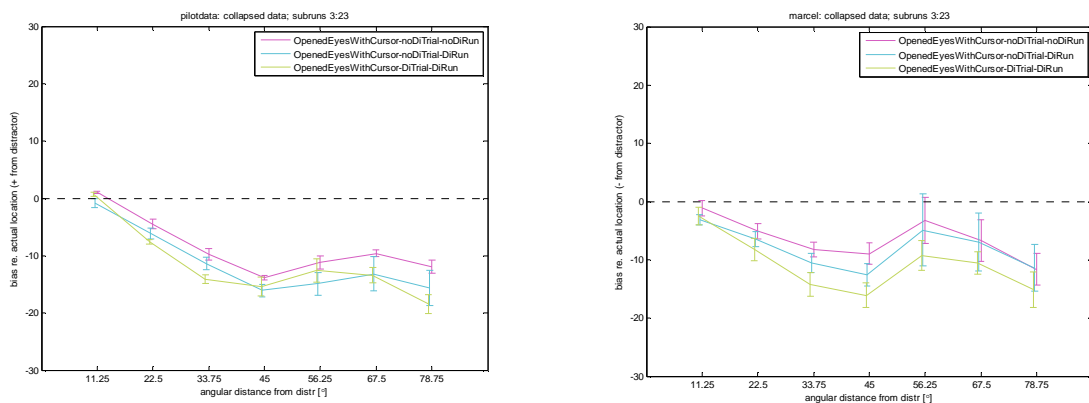
#### 3.3.1 Výsledky

V tejto časti sa budeme zaoberať tým, či došlo k vzniku kontextuálnej plasticity a ďalej sa zameriame na to, aký typ odpovedania z pomedzi štyroch, je najvhodnejší pre získavanie dát a ktorý vykazoval najhoršie odchýlky. Kontextuálna plasticita sa sleduje ako posun medzi ružovou a modrou čiarou. Ružová čiara v tomto prípade reprezentuje kontext (odpovede subjektu v danom prostredí) t.j. odpovedanie v nedistraktorových kolách a modrá čiara reprezentuje odpovedanie v distraktorových kolách.



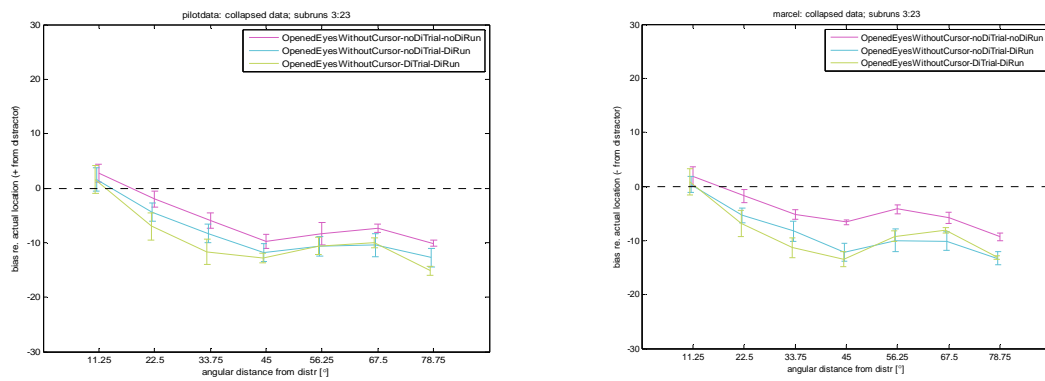
**Obr. 20** Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči s ukazovátkom“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt

Z grafov na obr. 20 je vidieť, že kontextuálna plasticita sa prejavila u oboch subjektoch, hoci pri druhom subjekte postupne zanikala, pri type odpovedania „Zatvorené oči s ukazovátkom“. Veľkosti štandardných chýb pre jednotlivé azimuty reproduktorov sú podobné.



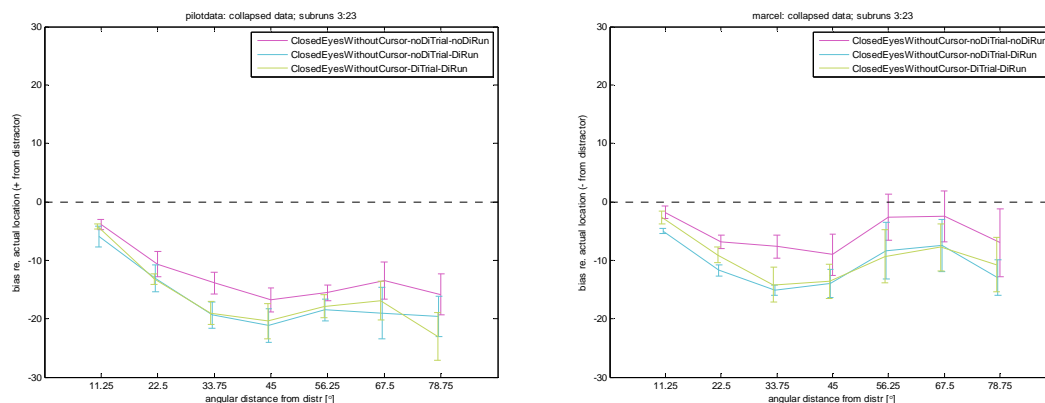
**Obr. 21** Preklopené dáta pre typ „Otvorené oči s ukazovátkom“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt

Z grafov na obr. 21 je vidieť, že kontextuálna plasticita sa prejavila u oboch subjektoch, hoci v menšej miere ako na obr. 1, pri type odpovedania „Otvorené oči s ukazovátkom“. V globále môžeme povedať, že veľkosti štandardných chýb sú pre tento typ podstatne menšie ako pri type „Zatvorené oči s ukazovátkom“. Znamená to, že máme k dispozícii vierohodnejšie dáta ako v prvom prípade.



**Obr. 22** Preklopené dáta pre typ „Otvorené oči bez ukazovátká“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt

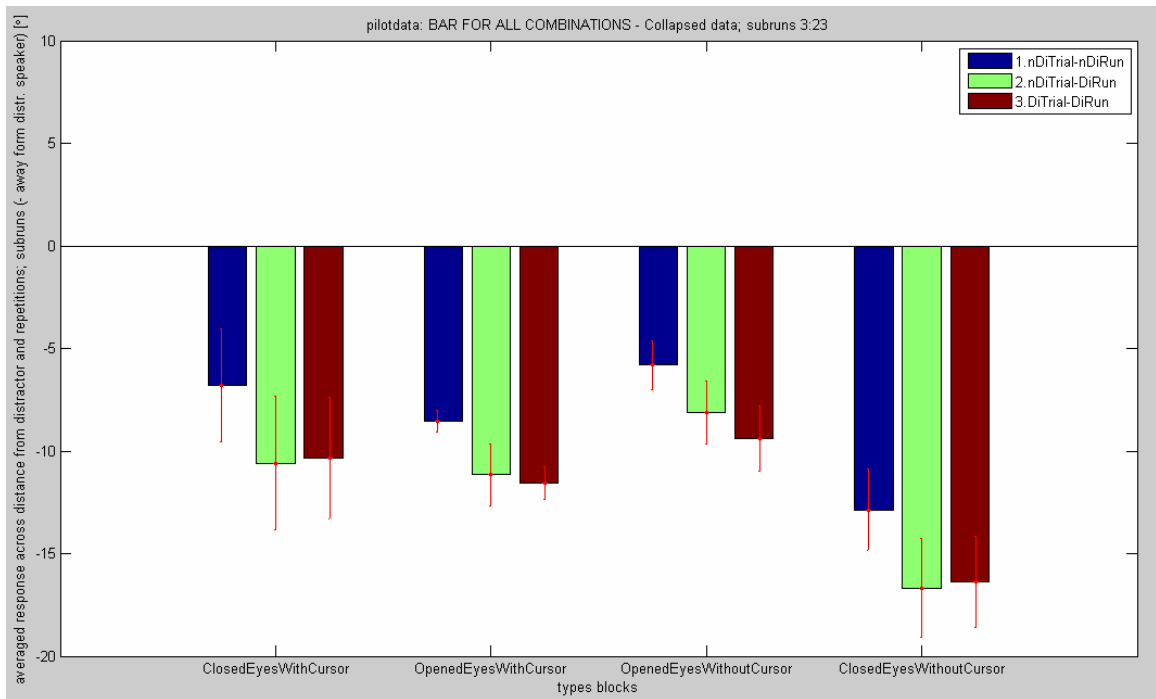
Z grafov na obr. 22 je vidieť, že kontextuálna plasticita sa prejavila u oboch subjektoch. Pri tomto type štandardné chyby dosahujú najmenšie hodnoty, čo znamená, že tento typ odpovedania, použitím písmen a číslic, je z hľadiska získania dát najlepší v porovnaní s ostatnými.



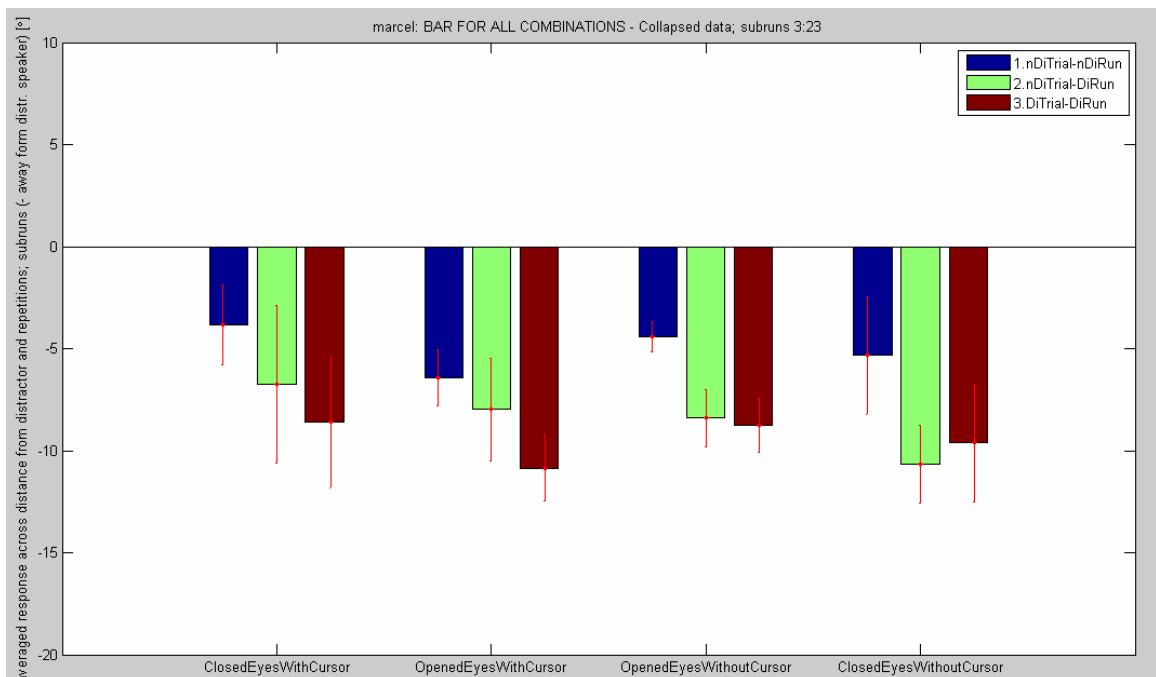
**Obr. 23** Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči bez ukazovátká“. Graf vľavo pre 1. subjekt, vpravo pre 2. subjekt

Z grafov na obr. 23 je vidieť, že kontextuálna plasticita sa prejavila u oboch subjektoch. Pri tomto type sa štandardná chyba zväčšuje smerom doprava (graf vpravo), čo znamená, že subjekt bol obmedzený pri odpovedaní natáčaním hlavy, tela popri prípade stoličky alebo dochádzalo k tomu, že drôtená konštrukcia sa nejak samovoľne pohybovala na hlave.

Na dôkladnejšiu analýzu si ukážeme grafy, ktoré nám viac povedia o tom, aký typ odpovedania je najlepší z časového hľadiska a z pohľadu veľkosti štandardných odchýlok a štandardných chýb.

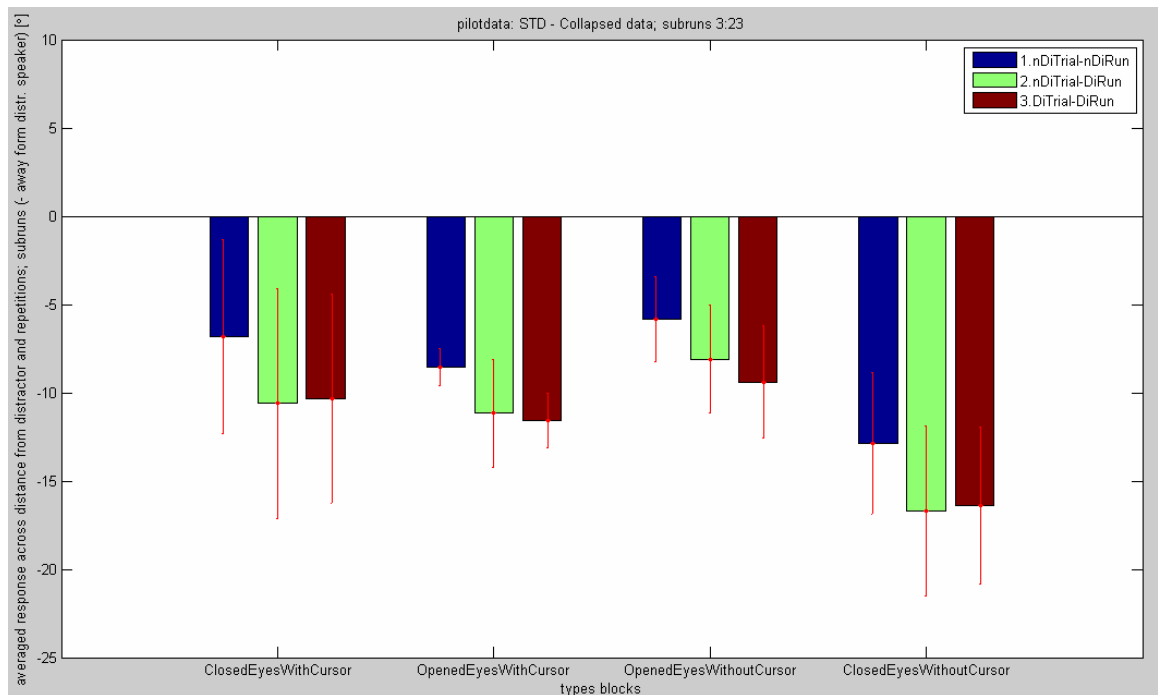


**Obr. 24** Bar graf štandardnej chyby pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 1. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.

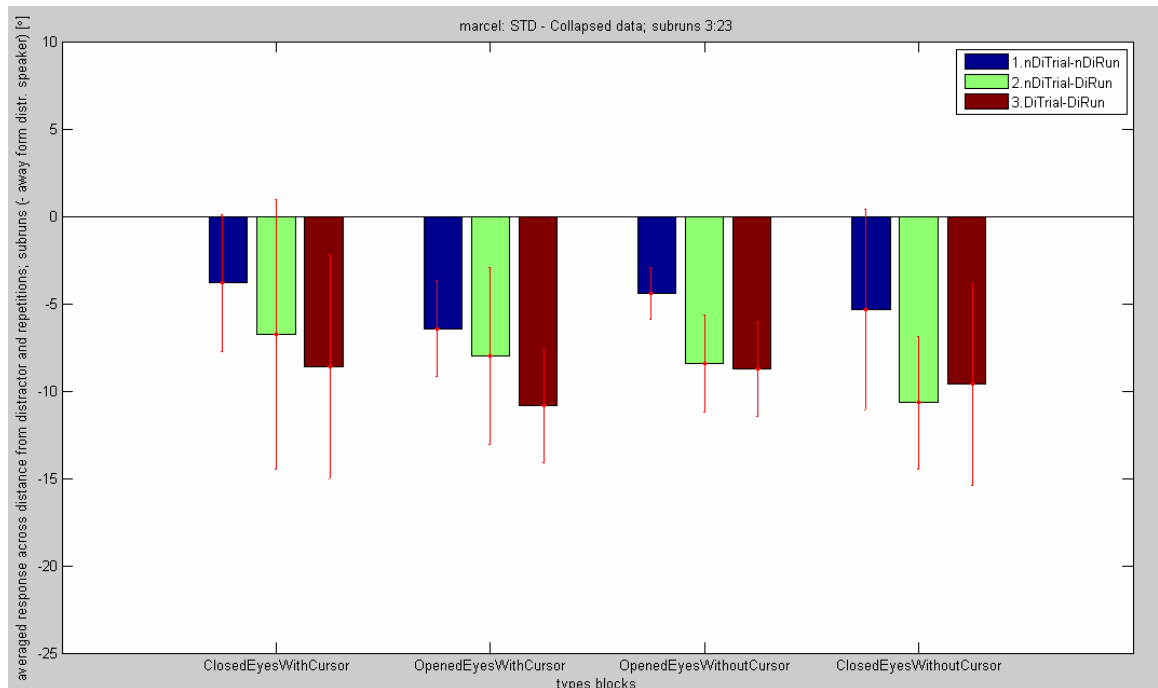


**Obr. 25** Bar graf štandardnej chyby pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 2. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.

Bar grafy, na obr. 24 a obr. 25, ukazujú, že najväčšie priemerné odpovede oboch subjektov boli pri type „Zatvorené oči bez ukazovátka“. Z čoho vyplýva, že namerané dáta nie sú pre nás veľmi vierohodné.



**Obr. 26** Bar graf štandardnej odchýlky pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 1. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.



**Obr. 27** Bar graf štandardnej odchýlky pre všetky typy kôl a typy prostredí, subjekt 2. Odpovede sú spriemernené cez subkolá, sedenia a reproduktory.

Z bar grafov na obr. 26 a obr. 27. je vidieť, že najväčšie priemerné odpovede a taktiež najväčšie štandardné odchýlky sa dosahovali pri type odpovedania „Zatvorené oči bez ukazovátka“.

### **3.4 Zhrnutie A**

Zo získaných výsledkov sme dospeli k záveru, že pre ďalšie vykonávanie experimentu sa vylúči typ odpovedania „Zatvorené oči bez ukazovátka“. V tomto prípade mohlo dochádzať k tomu, že drôtená konštrukcia, ktorú mal subjekt na hlave, sa mohla pohybovať alebo si ju subjekt mohol počas experimentu rôzne nastavovať, čo malo nežiadúci efekt na získavanie dát a tým sa vytvárali veľké odchýlky pri odpovedaní. Taktiež subjekt bol obmedzovaný pri lokalizácii aj napriek tomu, že si mohol pomáhať otáčaním stoličkou, telom a hlavou. Preto ďalšie merania sa vykonali už bez tohto typu odpovedania.

## 4 Experimentálna časť B

Tento experiment vychádza zo štúdie N.Kopča, V.Best a B.G.Shinn-Cunningham „Sound localization with a preceding distractor“ [17]. V tomto experimente sa skúmal vplyv vizuálneho vstupu na kontextuálnu plasticitu a taktiež vplyv motorického odpovedania pri určovaní zdroja zvuku. Skúmalo sa správanie, ak má človek otvorené alebo zatvorené oči a používa pri odpovediach ukazovátka alebo písmeno – číselnú odpoveď.

### 4.1 Motivácia

V predchádzajúcich experimentoch sa používalo na lokalizovanie zvuku ukazovátka a človek mal pri tom zatvorené oči. Nevieme však, nakoľko to ovplyvnilo samotné výsledky. Keď sa porovnávali odpovede pri otočení subjektu vľavo a vpravo, tak neboli veľmi symetrické. Preto skúsime obmieňať spôsob odpovedania.

#### 4.1.1 Hypotézy

Predpokladáme, že

- k vyvolaniu kontextuálnej plasticity napomáhal fakt, že poslucháči mali oči zatvorené a to pomohlo k vzniku kontextuálnej plasticity, pretože pri otvorených očiach by sa mohlo odpovedanie stanoviť na základe vizuálnej spätnej väzby.
- pozorovaná kontextuálna plasticita sa udiala na skoršom stupni ako motorická mapa odpovedí človeka.
- posuny v odpovediach sa nepozorovali preto, že sa menila sluchová priestorová mapa, ale z dôvodu, že poslucháči robili posuny v odpovediach od distraktora.

### 4.2 Experimentálna procedúra

V tejto časti si popíšeme prostredie a pomôcky, ktoré boli použité na hardverové zabezpečenie experimentu a taktiež aj návrh experimentu pre softvérovo zabezpečenie.



#### 4.2.1 Hardvérové zabezpečenie

Celé hardvérové zabezpečenie je také isté ako v experimentálnej časti A, odsek 3.2.1. Nebola potrebná žiadna modifikácia hardvérových prostriedkov pre vykonanie tohto experimentu.

#### 4.2.2 Popis experimentu

Tohto experimentu sa zúčastnili dva subjekty so sluchom v norme ale do výsledkov sa zahrnuli aj predchádzajúce namerané dáta na dvoch subjektoch. To znamená, že tento experiment sa dokopy vykonal na štyroch subjektoch. Pred každým začatím experimentu boli subjektu podané potrebné inštrukcie k tomu, aby mohol začať vykonávať experiment.

Celý experiment pre jeden subjekt je rozdelený do štyroch sedení. Potom jedno sedenie je ďalej rozdelené do troch blokov, ktoré sa navzájom líšia kombináciou motorickej odpovede a vizuálneho vstupu (v rámci ktorých sa spôsob odpovedania nebude meniť.) Tab. 3:

- Zatvorené oči s ukazovátkom – pri tomto type odpovedania má subjekt zatvorené oči a na lokalizáciu používa ukazovátka. Na hlavu si musí nasadiť špeciálnu čiapku tak, aby uši boli v prirodzenej polohe.
- Otvorené oči s ukazovátkom – pri tomto type odpovedania má subjekt otvorené oči, na lokalizáciu používa ukazovátka. Na hlavu si musí nasadiť špeciálnu čiapku tak, aby uši boli v prirodzenej polohe.
- Otvorené oči bez ukazovátka – pri tomto type odpovedania má subjekt otvorené oči, na lokalizáciu polohy zdroja zvuku používa klávesnicu pomocou, ktorej zadáva tú písmeno – číselnú dvojicu odkiaľ si myslí, že zaznel zvuk. Subjekt sa kontroloval, či je vo východzej polohe (vpravo, vľavo) pomocou kamery.

**Tab. 3 Zadanie 3 typov blokov**

ID bloku	Typ bloku
1	zavreté oči, ukazovátka
2	otvorené oči, ukazovátka
3	otvorené oči, bez ukazovátka

**Tab. 4 Zadanie typov kôl pre 3 bloky**

ID kola	Typ kola
1	distraktorové
2 (opakovanie 1)	distraktorové
3 (opakovanie 1)	distraktorové
4 (opakovanie 1)	distraktorové
5	nedistraktorové

Popis delenia blokov na kolá (Tab. 4), popis nedistraktorových a distraktorových kôl, počet distraktorových a nedistraktorových meraní v danom kole a ich rozloženie, sa zhoduje s popisom experimentu v experimentálnej časti A v odseku 3.2.2.

Celkovo za každé sedenie sme získali pre každý typ kola 20 meraní (5 meraní pre každú pozíciu v rámci kola x 4 opakovania kola v sedení; pre nedistraktorové kolo 20 meraní pre každú pozíciu v rámci kola) pre každú pozíciu cieľového zvuku.

Poradie kôl v bloku nech bude náhodné, aj poradie blokov v sedení, a nech sa v rámci bloku striedajú aj otočenia subjektu k ľavému a pravému distraktoru (kolá bolo treba pomiešať tak, aby bolo dokopy za celý experiment každé kolo merané toľkokrát pri otočení vľavo ako pri otočení vpravo). Distraktorový klik sa prezentoval so SOA = 25ms v celom experimente, pri každom type odpovedania.

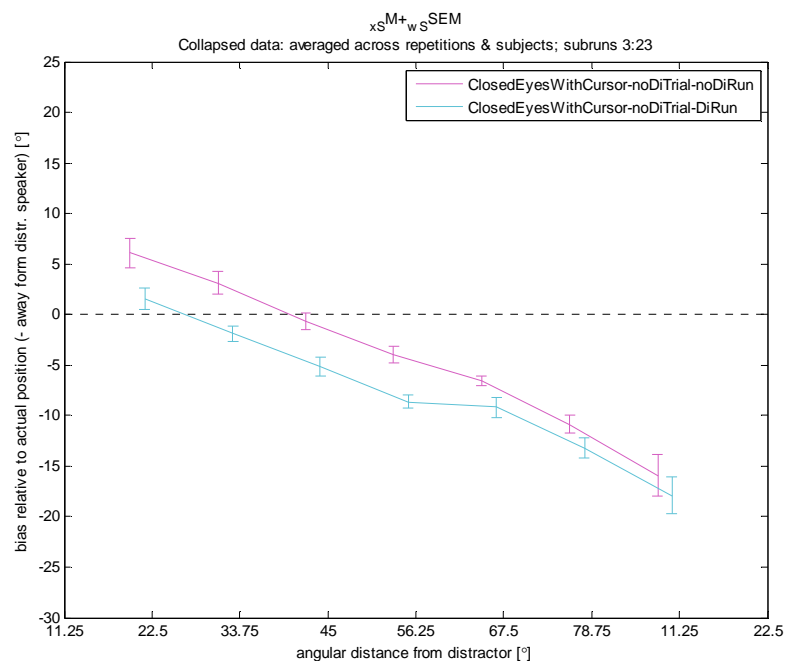
### 4.3 Analýza dát

V tejto časti sa nachádzajú výsledky z experimentálnej časti B a z experimentálnej časti A – len pre typy odpovedania „Zatvorené oči s ukazovátkom“, „Otvorené oči s ukazovátkom“, a „Otvorené oči bez ukazovátka“. To znamená, že experimentu sa celkovo

zúčastnili štyri subjekty. Namerané dáta sa preklápali cez mediálnu rovinu, čím sme získali dvojnásobné množstvo dát pre každú polohu reproduktora. Analýza dát prebiehala formou vyhodnocovania priemerných odpovedí a štandardných odchýlok. Pokiaľ nie je uvedené inak, obrázky ukazujú priemer a štandardnú chybu priemeru cez subjekty. V tomto experimente nie sú z analýz vyradené žiadne dáta.

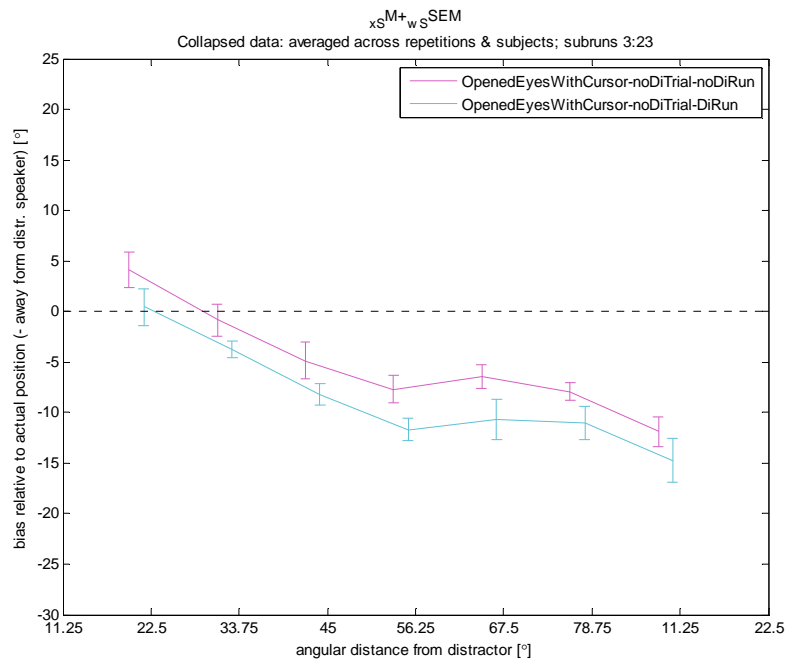
### 4.3.1 Výsledky

V tejto časti sa budeme zaoberať tým, či došlo k vzniku kontextuálnej plasticity a ďalej sa zameriame na to, či sa potvrdili predpoklady alebo nie. Kontextuálna plasticita sa sleduje v grafoch ako posun medzi ružovou a modrou čiarou. Ružová čiara v tomto prípade reprezentuje kontext (odpovede subjektu v danom prostredí) t.j. odpovedanie v nedistraktorových kolách a modrá čiara reprezentuje odpovedanie v distraktorových kolách na nedistraktorové merania.



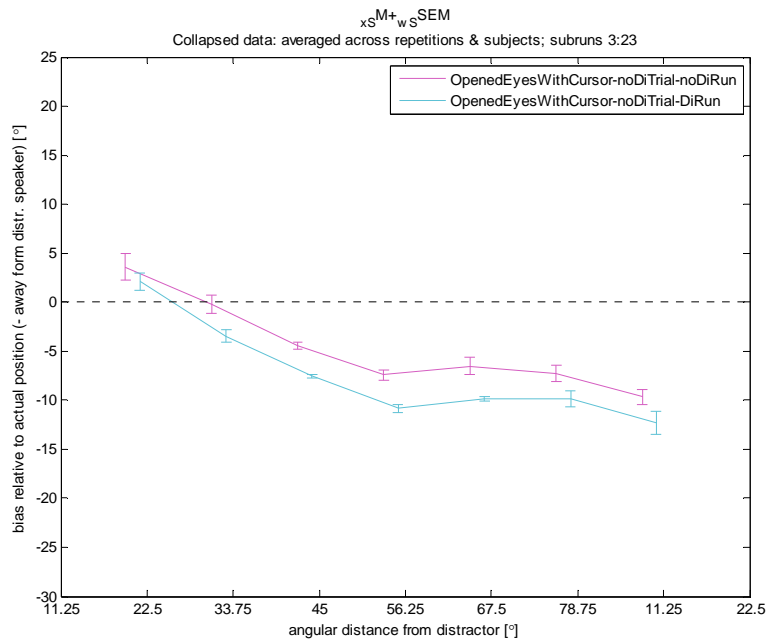
**Obr. 28** Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči s ukazovátkom“. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.

Na grafe obr. 28, pri type odpovedania „Zatvorené oči s ukazovátkom“, sledujeme, že došlo k vyvolaniu kontextuálnej plasticity. Potvrdila sa štúdia zo [17]. Jej efekt sa znižuje smerom od distraktora. Mohlo to byť spôsobené typom motorickej odpovede a taktiež tým, že subjekty mali zatvorené oči – bez vizuálneho vstupu.



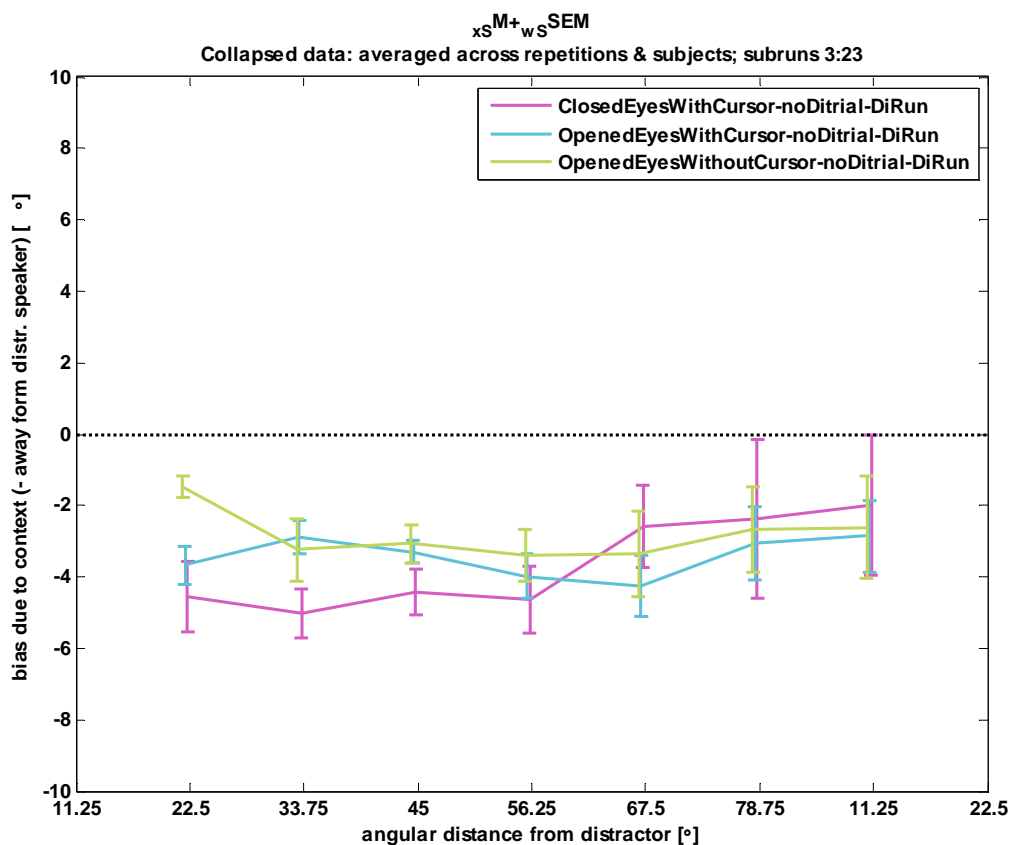
**Obr. 29** Preklopené dáta pre typ „Otvorené oči s ukazovátkom“. Odpovede sú priemerné cez subjekty, subkolá a sedenia.

Na grafe obr. 29, pri type odpovedania „Otvorené oči s ukazovátkom“ sledujeme, že došlo k vyvolaniu kontextuálnej plasticity aj keď subjekty mali otvorené oči. V porovnaní s typom na obr. 28 je vidieť, že ak subjekt má otvorené oči, tak dokáže vychádzať z nejakej pomyselné nulovej pozície a tak lokalizovať prezentovaný cieľový stimul. Preto obe čiary na obr. 29 sú si podobné v priebehu.



**Obr. 30** Preklopené dáta pre typ „Zatvorené oči bez ukazovátka“. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.

Na grafe obr. 30, pri type odpovedania „Otvorené oči bez ukazovátka“ sledujeme, že došlo k vyvolaniu kontextuálnej plasticity hoci sme použili iný typ motorického odpovedania ako na obr. 29. Z toho vyplýva, že kontextuálna plasticita vznikla v závislosti od sluchovej mapy človeka a nie tým, čo používal subjekt na odpovedanie. Taktiež aj v tomto prípade, v porovnaní s obr. 29, subjekty vychádzali z pomyslenej nulovej pozície a až tak lokalizovali cieľový stimul bez ohľadu na typ motorického odpovedania. Týmto sa potvrdzuje efekt, že človek pri lokalizácii využíva vizuálny vstup. Veľkou výhodou tohto typu odpovedania je, že dosiahnuté štandardné chyby t.j. rozptyl odpovedania, dosahuje najmenšie hodnoty z pomedzi ostatných dvoch typov.



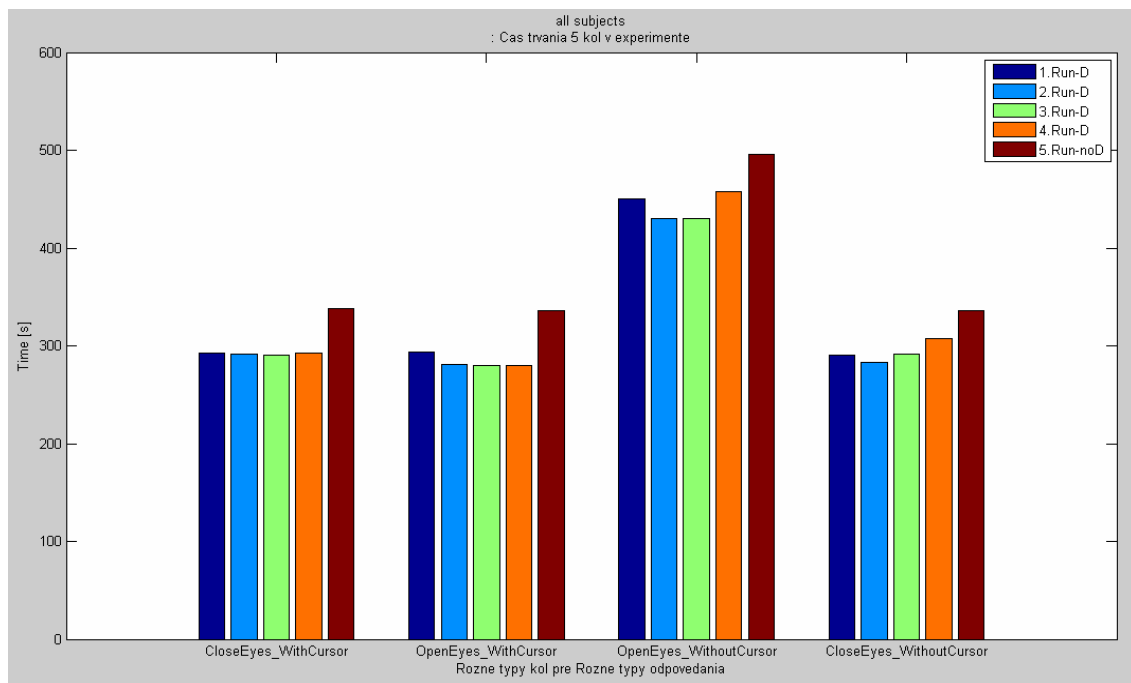
**Obr. 31** Posuny pre 3 typy odpovedania voči kontextu. Odpovede sú spriemernené cez subjekty, subkolá a sedenia.

Grafy na obr. 31 zobrazujú posuny pre každý typ odpovedania vzhľadom ku kontextu (nedistraktorovému kolu – os nula) pre daný typ. Errorbary zobrazujú štandardnú chybu

priemeru. Z grafu vyplýva, že najmenší rozptyl odpovedania, najvierohodnejšie dáta t.j. veľkosť errorbarov, je v prípadoch, kedy subjekty mali otvorené oči (žltá a modrá čiara).

#### 4.4 Vyhodnotenie typov motorického odpovedania

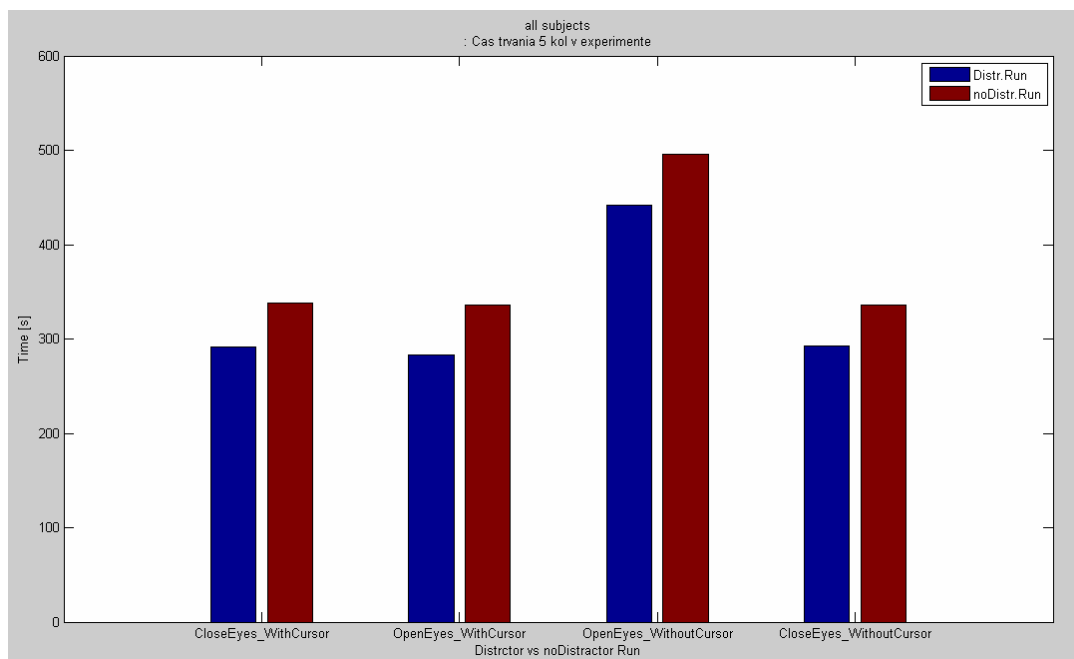
Ďalej sa budeme zaoberať porovnávaním jednotlivých typov motorického odpovedania z viacerých hľadísk, čo sa týka experimentu. Každý typ odpovedania je niečím charakteristický, či už obmedzovanosťou pri odpovedaní, jednoduchosťou pri lokalizácii cieľového stimulu, časovým trvaním alebo reprezentáciou zberu dát vzhľadom k ich vyhodnocovaniu. Z pohľadu budúceho vykonávania experimentov je skúmanie rôznych typov odpovedania veľmi dôležité. Napomôže k tomu, že experimenty sa stanú efektívnejšie a získané dáta budú presnejšie. Zaoberať sa budeme všetkými štyrmi typmi odpovedania bez ohľadu na to, že jeden z nich sa počas experimentu vylúčil.



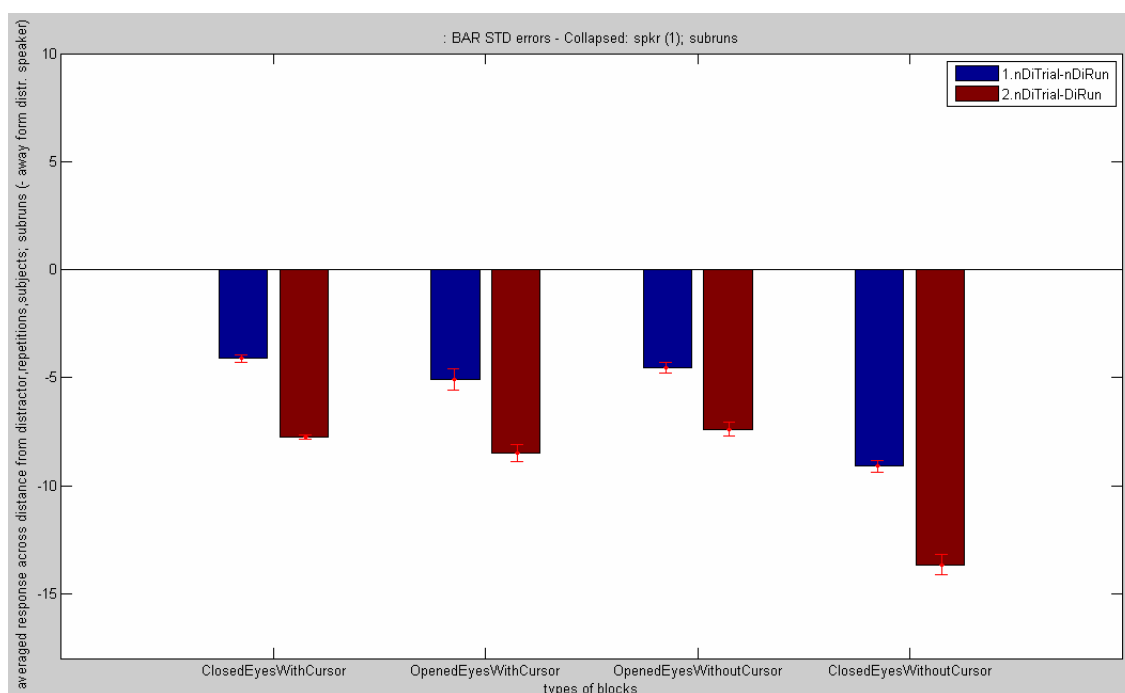
Obr. 32 Časové trvanie jednotlivých kôl pre každý typ motorického odpovedania.

Na obr. 32 je zobrazené časové trvanie jednotlivých kôl pre každý typ odpovedania. Je vidieť, že časovo najnáročnejšie je kolo „Otvorené oči bez ukazovátka“. Subjekt musí pri tomto type po zaznení cieľového stimulu natočiť hlavu, vybrať a odčítať príslušnú dvojicu, zadať ju pomocou klávesnice a vrátiť hlavu do východzej polohy. Všetky tieto

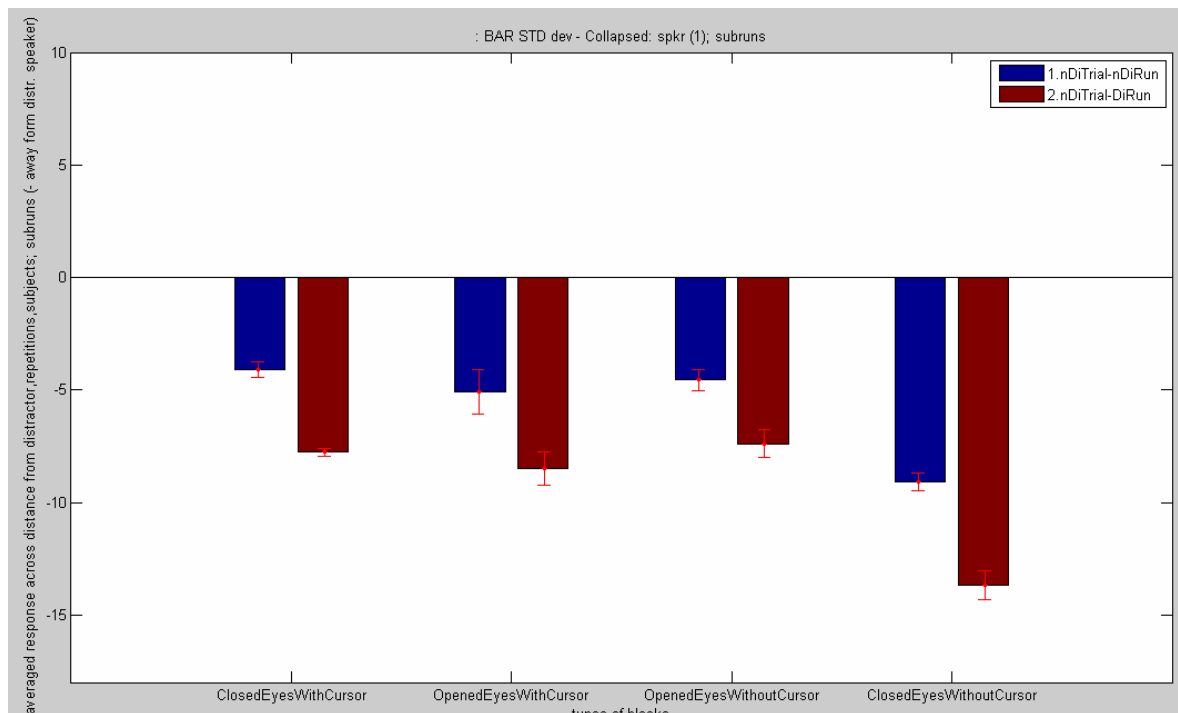
úkony spojené s lokalizáciou predlžujú trvanie jednotlivých kôl, či už distraktorové alebo nedistraktorové. Ostatné tri typy sú časovo podobné. Keby sme sa na nich pozreli bližšie tak najkratšie kolá sú pri type „Otvorené oči s ukazovátkom“. V porovnaní kôl v rámci jedného typu je časovo najnáročnejšie stále nedistraktorové kolo. Môžeme to vidieť na obr. 33, kde čas trvania distraktorových kôl je spriemernený do jedného výsledného času.



**Obr. 33 Časové trvanie nedistraktorového a distraktorových kôl pre každý typ motorického odpovedania.**



**Obr. 34 Štandardné chyby pre distraktorové a nedistraktorové kolo pre každý typ motorického odpovedania.**



**Obr. 35 Štandardné odchýlky pre distraktorové a nedistraktorové kolo pre každý typ motorického odpovedania.**



Na obr. 34 môžeme vidieť, veľkosti štandardných chýb a na obr. 35 veľkosti štandardných odchýlok spriemernených cez všetky subjekty pre každý typ motorického odpovedania. Z tohto pohľadu ako najlepšie z pomedzí všetkých typov odpovedania patria „Zatvorené oči s ukazovátkom“, „Otvorené oči s ukazovátkom“ a „Otvorené oči bez ukazovátka“. Štandardné parametre nedosahujú také hodnoty, ktoré by boli pre nás neprijateľné. Skôr nás zaujíma  $y - os$ . Na nej sú spriemernené odpovede cez polohu reproduktora, subkôl, sedení a nakoniec subjektov. Najväčšie hodnoty dosahuje pri štvrtom type odpovedania, čo znamená, že sa dosahovali veľké rozdiely v odpovedaní.

## 4.5 Zhrnutie B

Z nameraných výsledkov môžeme usúdiť, že prvá hypotéza sa nepotvrdila. Kontextuálna plasticita nastala aj vtedy, keď subjekty mali otvorené oči, dokonca v porovnaní so zatvorenými očami sa zväčšila. Vizuálna spätná väzba nijako nezabránila jej vzniku. Zaujímavé je, že ak mal človek otvorené oči, tak priebehy pre nedistraktorové a distraktorové kolo sú si navzájom podobné. Z toho môžeme usúdiť, že oči zohrávali úlohu pri lokalizácii stimulov v tom zmysle, že subjekt sa pomocou nich dokázal nastaviť do nejakej pomyselnéj, východzej pozície a odtiaľ lokalizoval cieľový stimul.

V poradí druhá hypotéza sa potvrdila. Kontextuálna plasticita sa udiala vtedy, keď sme použili na odpovedanie ukazovátka ale aj pri písmeno – číselnej odpovedi. Grafy z týchto dvoch meraní sa zhodujú v priebehu. To znamená, že nami sledovaná kontextuálna plasticita závisí od sluchovej mapy človeka. Lokalizácii cieľového stimulu je vyvolaná na úrovni počúvania (sluchu) a nie na úrovni motorického odpovedania.

Potvrdila sa v poradí tretia hypotéza, ktorá vrela o tom, že posuny v odpovediach sa nepozorovali preto, že sa menila sluchová priestorová mapa, ale z dôvodu, že poslucháči robili posuny v odpovediach od distraktora. Namerané dáta ukazujú, že došlo k posunom v odpovediach od distraktora v distraktorovom aj nedistraktorovom kole. Mohlo to byť spôsobené tým, že subjekt očakával sluchový podnet zo smeru od distraktora.

## 5. Záver

Cieľom experimentu bolo zistiť vplyv nesluchoových faktorov na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní. Za nesluchové faktory sa považovalo to, či subjekt má otvorené alebo zatvorené oči a tiež to, či pri odpovedaní na cieľový stimul používa ukazovátka alebo písmeno – číselnú odpoveď.

Z pilotného experimentu sme dospeli k záveru, že typ odpovedania „Zatvorené oči s ukazovátkom“ sa vylúči z ďalšieho priebehu experimentu, keďže vykazoval najväčšie odchýlky pri odpovedaní, čo znamená, že dáta pre tento typ sa pre nás stali málo vierohodné. Odchýlky mohli byť spôsobené buď mechanickými vplyvmi tým, že subjekt si konštrukciu mohol rôzne nastavovať počas experimentu, poprípade sa mohla po čase vychýľovať z východzej pozície, alebo tým, keď subjekt sa nevrátil do počiatkovej polohy, tak z inštrukčného reproduktora zaznel pokyn, do ktorej strany sa má nasmerovať. Preto mohlo dochádzať k tomu, že sa znižoval efekt plasticity podľa toho, ako často zaznel inštrukčný reproduktor a tým sa narúšala pôvodná, získaná lokalizácia.

Experimentálna časť B sa zaoberala jadrom problematiky. Úlohou bolo potvrdiť alebo vyvrátiť hypotézy, ktoré boli stanovené pre tento experiment. Zistilo sa, že subjekt aj keď využíva vizuálny vstup, tak aj napriek tomu dochádza k vzniku kontextuálnej plasticity. Zrak v tomto prípade neslúžil na elimináciu plasticity sluchovej mapy človeka, ako sa predpokladalo, ale na to, že poslucháč pomocou zraku sa nastavil do takzvanej nulovej pozície odkiaľ lokalizoval cieľové stimuly. Pri otvorených očiach človek mal menší rozptyl odpovedania, čo znamená, že zrak kladne prispieva k lokalizácii. Subjekt vedel presnejšie rozlíšiť jednotlivé oblasti v priestore podľa toho odkiaľ zaznel cieľový stimul. V prípade, že subjekt nevyužíva vizuálny vstup, jeho odchýlky sú oproti otvoreným očiam podstatne väčšie.

Ďalším zistením pre tento experiment bolo, že kontextuálna plasticita sa udiala v sluchovej dráhe človeka a nie vplyvom motorického odpovedania. Pri oboch použitých typoch motorického odpovedania došlo k vzniku kontextuálnej plasticity, a čo navyše boli si navzájom podobné, hoci boli použité dva rôzne typy odpovedania. To znamená, že nami skúmaná plasticita nevzniká na úrovni typu motorického odpovedania, keďže nemala vplyv na výsledné priebehy, ale vzniká v sluchovej dráhe v mozgu na základe počúvania.

---

Pri každom type odpovedania dochádzalo k tomu, že subjekty smerovali svoje odpovede do oblasti, z ktorej očakavali sluchový podnet bez ohľadu na to, či sa priamo vyvolávala plasticita alebo nie. Nepriamo sa tak posúvala sluchová mapa.

Výskum kontextuálnej plasticity má veľký význam. Pochopenie tomu ako sa dokáže zdravo počujúci človek prispôbiť sluchovému kontextu je veľmi dôležité v tom, že podobné plastické zmeny môžu prebiehať v centrálnej sluchovej dráhe u ľudí s poškodeným sluchom. Preto je potrebné vylepšovanie navrhovania načúvacích zariadení, ktoré by dokázali predvídať a následne sa prispôbiť neurálnej plasticite.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] KOPČO, N., *Sluch II: Anatómia a fyziológia sluchovej dráhy – kortikálne spracovanie zvuku*, prednášky k predmetu, 2009, dostupné na internete: <http://neuron-ai.tuke.sk/~kopco/kui440/>
- [2] KOPČO, N., *Sluch, počutie a sluchová kognícia*, prednášky k predmetu, 2009, dostupné na internete: <http://neuron-ai.tuke.sk/~kopco/kui440/>
- [3] TOMORIOVÁ, B., *Krosmodálne riadenie pozornosti pri priestorovom počúvaní*, Diplomová práca, 2007
- [4] TOMORIOVÁ, B., *Neurálna plasticita a riadenie strategickej pozornosti pri priestorovom počúvaní*, Písomná práca k dizertačnej skúške, 2008
- [5] HARTMANN M. W., *How we localize sound* [online], [cit. 2009-01-10]. Dostupné na internete: <<http://www.aip.org/pt/nov99/locsound.html>>.
- [6] *Acoustic source location* [cit. 2009-01-10 ], Dostupné na internete: <<http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/c/acoustic%20source%20location/source.html>>.
- [7] KOPČO, N., *Priestorové sluchové vnímanie*, prednášky k predmetu, 2009, Dostupné na internete:< <http://neuron-ai.tuke.sk/~kopco/kui440/>>
- [8] McGRATH, D., *High Resolution Simulation Of Acoustic Environments*, [online]. [cit. 2009-01-10] Dostupné na internete: <[http://www.headwize.com/tech/lake1\\_tech.htm](http://www.headwize.com/tech/lake1_tech.htm)>
- [9] KAPRALOS, B., JENKIN, M. R. M., MILIOS, E., *Auditory perception and spatial (3D) auditory systems*, Department of Computer Science York University, Technical Report CS-2003-07.
- [10] FRITZ B. J., ELHILALI M., DAVID V. S., SHAMMA A. S., *Auditory attention – focusing the searchlight on sound*, Centre for Auditory and Acoustic Research, Institute for Systems Research, University of Maryland, (2007).
- [11] SACH J. A., BAILEY P., *Some characteristics of auditory spatial attention revealed using rhythmic masking release*, Perception & Psychophysics, University of York, York, England, (2004).
- [12] PAIGE D. G., O'NEILL E. W., RAZAVI B., *Auditory spatial perception with dynamically realigns with changing eye position*, University of Rochester School of Medicine and Dentistry, Rochester, New York, (2007).
- [13] KOPČO N., LIN F-I., SHINN – CUNNINGHAM G. B., GROH J., *The ventriloquism effect: How visual information calibrates auditory spatial processing*, Hearing Research Center, Department of Cognitive and Neural Systems, Boston University, Boston.

- 
- [14] RECANZONE H. G., *Rapidly induced auditory plasticity: The ventriloquism aftereffect*, Center for Neuroscience and Section of Neurobiology, Physiology and Behavior, University of California at Davis, (1998).
- [15] SHINN – CUNNINGHAM G. B., *Models of Plasticity in Spatial Auditory Processing*, Departments of Cognitive and Neural Systems and Biomedical Engineering, Boston University, (2001).
- [16] GROH M. J., BULKIN A. D., *Seeing sounds: visual and auditory interactions in the brain*, Center for Cognitive Neuroscience, Department of Psychology and Neuroscience, Department of Neurobiology, Duke University (2006).
- [17] KOPČO N., SHINN – CUNNINGHAM, G. B., *Sound localization with a preceding distractor*, Hearing Research Center, Boston University, Boston(2006).

## **Prílohy**

Príloha A: Systémová príručka

Príloha B: Používateľská príručka

Príloha C: CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe, zdrojové kódy

Príloha D: Obrazová príloha