

Potlačenie motorických rytmov v mozgu pri pozorovaní pohybu

Igor Farkaš, Barbora Cimrová, Ján Rybár

Centrum pre kognitívnu vedu, KAI FMFI, Univerzita Komenského
Mlynská dolina, 84248 Bratislava

E-mail: {farkas, cimrova, rybar}@fmph.uniba.sk

Abstrakt

V neurovede je známe, že pri vykonávaní, pozorovaní ale aj predstavovaní si motorického pohybu, napríklad rukou, dochádza v motorickej oblasti mozgovej kôry k desynchronizácii aktivít neurónov, ktoré sa na úrovni EEG signálu prejavujú v zmenách takzvaných mí rytmov. Reakcia mozgu na pozorovaný pohyb sa dáva do súvislosti so zrkadliacimi neurónmi, ktoré ponúkajú novú paradigmu sociálnej kognície. V príspevku sa zaoberáme aktuálnymi otázkami výskumu v tejto oblasti, kde patrí aj otázka abstrakcie motorických akcií. Prezентujeme dva vlastné experimenty založené na meraní desynchronizácie mí rytmov počas pozorovania motorických akcií s rôznymi typmi abstrakcie. Výsledky experimentov sú z časti konzistentné s predchádzajúcimi poznatkami, no prinášajú aj prekvapujúce zistenia.

1 Úvod

Pre človeka, ako výrazne sociálnu bytosť, majú veľký význam spoločenské interakcie a porozumenie daniu naokolo (Gallese, Keysers a Rizzolatti, 2004). Popri jazyku prebieha komunikácia medzi ľuďmi aj neverbálne, a to pomocou gest či rôznych motorických pohybov. Motorický repertoár človeka je veľmi pestrý, a významy motorických akcií (úkonov) môžu mať rozmanitú podobu, od veľmi konkrétnych, až po vysoko abstraktné (Farkaš, Malý, Rebrová, 2011a). Pod konceptom *porozumenia akciám* rozumieme schopnosť agenta (človeka či zvierat'a) pozorujúceho iného agenta vykonávajúceho nejakú akciu (napr. uchopenie kúska jedla a vloženie do úst) rozlíšiť, že pozorovaný agent niečo vykonáva. Súčasne musí agent vedieť odlišiť vykonávanú akciu od iných akcií a vedieť vhodne zareagovať (Gallese a spol., 1996). Porozumenie pozorovaným akciám nutne zahŕňa vizuálne vnímanie, otázne však je, či pre úplné porozumenie stačí len analýza vizuálnych vlastností, alebo je potrebný ďalší mechanizmus, ktorý nám napomáha „zaujať perspektívu“ pozorovaného aktéra. Rizzolatti a spol. (2001) rozlišujú dve základné hypotézy o porozumení akciám. Prvá, *vizuálna hypotéza* funguje čisto na báze vizuálnej analýzy jednotlivých častí pozorovanej scény. Táto hypotéza má blízko ku klasickým, symbolovým teóriám kognície

(kognitivismu), ktoré predpokladajú, že perцепčné, motorické a kognitívne procesy sú oddelené a od seba nezávislé. Naopak, *hypotéza priameho párovania*, ktorá je konzistentná s paradigmou ukotvenej kognície (Barsalou, 2008; Wilson, 2002), ako alternatíve ku tradičnému kognitivismu tvrdí, že pre (hlbšie) porozumenie pozorovanej akcii je potrebné akciu vnútorne pripodobniť k niečomu, čo pozorujúci agent už pozná. Tento pohľad na prepojenie perцепcie, akcie (a kognície) je v súčasnosti veľmi aktuálny, no podobné idey nájdeme už v ranej histórii psychológie, napriek absencii podporujúcich neurovedných poznatkov. Dobrým príkladom je ideomotorická teória akcie (James, 1890), ktorá hovorí, že každá akcia, ktorú ideme vykonať, je v mozgu/mysli kódovaná na základe toho, aký perцепtuálny efekt bežne má. V súčasnosti existuje pre ideomotorické teórie veľa empirických poznatkov (prehľad možno nájsť v práci Rebrová, 2012). Jedným z predpokladov modernej ideomotorickej teórie je aj spoločné kódovanie akcií a vnemov s nimi spojených, ktoré získalo v ostatných dekádach silnú empirickú podporu. Teória spoločného kódovania predpokladá, že akcia a perцепcia zdieľajú spoločnú reprezentačnú bázu (Hommel a spol., 2001). Zmyslové vnímanie akcie automaticky aktivuje jej motorický komponent a naopak, vykonávanie akcie aktivuje aj vnemové udalosti, ktoré sa s ňou spájajú. Teória motorickej kognície zase zdôrazňuje ukotvenie kognície v akcii, pričom perceptions a teda schopnosť vnímať, výrazne vylepšuje schopnosť konať (Jackson a Decety, 2004).

2 Motorická rezonancia

Motorická rezonancia je kľúčovým konceptom v kontexte pozorovania akcií a celkovo v motorickej kognícii. Štúdie dokazujúce prítomnosť motorickej rezonancie pri pozorovaní akcie sú najčastejšie založené na skúmaní takzvaného mí (μ) rytmu v EEG signáli (frekvenčné pásmo alpha vln). Ako jedni z prvých pozorovali Cohen-Seat a spol. (1954) a Gastaut a Bert (1954), že ku desynchronizácii mí rytmov, ktoré sú typické pre stav motorického pokoja, dochádza nielen vtedy, keď proband vykonáva nejakú akciu, ale aj keď akciu pozoruje. Mí rytmy majú teda s alfa rytmami (ktoré nachádzame najmä

v zrakovkej kôre) spoločné to, že sú synchronizované v stave pokoja (mí), alebo pri relaxácii so zatvorenými očami (alfa). Pri otvorení očí, resp. v prípade nejakej formy motorickej akcie, sa rytmy desynchronizujú.

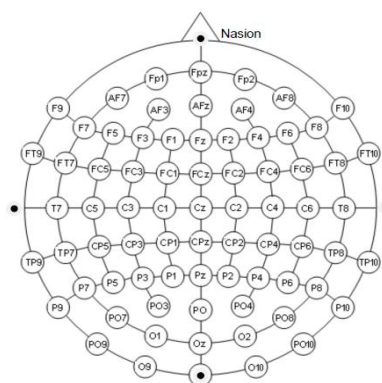
Motorická rezonancia nie je výsadou dospelých. Van Elk a kol. (2008) ukázali, že už u 14–16 mesačných detí možno pozorovať desynchronizáciu v μ a β frekvenčných pásmach počas toho, ako pozorujú iné deti loziť, no nie v prípade, že ich pozorujú chodiť. Toto zistenie opäť potvrdzuje, že pri pozorovaní dochádza automaticky k akémusi hľadaniu vhodného kandidáta z motorického repertoára pozorovateľa.

Veľký význam pri motorickej rezonancii hrajú zrkadliace neuróny, ako potenciálny kandidát umožňujúci realizovať v mozgu spoločné kódovanie percepcie a akcie. Zrkadliace neuróny boli (náhodou) objavené najskôr u opíc (Pellegrino a spol., 1992), a neskôr i u človeka, najprv nepriamo, pomocou zobrazovacích metód (Rizzolatti a Craighero, 2004), a napokon i priamo meraním elektrickej aktivity neurónov (Mukamel a spol. 2010), v premotorickej kôre a neskôr i v iných oblastiach mozgu. Sú to motorické neuróny, ktoré podľa definície pália, ak subjekt vykonáva motorickú akciu, ale pália aj vtedy, keď subjekt pozoruje tú istú alebo podobnú akciu. Motorická rezonancia vzniká pri vlastnom pohybe, ale tým, že premotorická kôra má spojenia na motorickú kôru, aktivita zrkadliacich neurónov aj počas pozorovania akcie môže prispieť k zmene aktivity v motorickej kôre, kde meriame motorickú odozvu (Pineda, 2005).

Jednou zo zaujímavých otázok v súvislosti s motorickou rezonanciou je koncept abstrakcie (Farkaš, Malý, Rebrová, 2011a) v súvislosti so systémom zrkadliacich neurónov (mirror neuron system, MNS). Na rozdiel od opíc, zrkadliace neuróny u ľudí reagujú na široké spektrum podnetov, či už sú to necielené bezvýznamné pohyby rúk (Fadiga a spol., 1995) alebo akcie vykonávané rôznymi nástrojmi (napr. kliešte), aj bez prítomnosti cieľového objektu (Peeters a spol., 2009). Oberman a spol. (2007) zistili, že motorickú odozvu vyvoláva u človeka pohľad nielen na iného človeka, ale aj na robotické rameno. Ide tu teda o všeobecnejší a abstraktnejší mechanizmus, ktorý pravdepodobne zastrešuje oveľa viac kognitívnych funkcií než v prípade opíc. Vieme, že jednotlivé laloky mozgovej kôry (frontálny, spánkový) sú hierarchicky organizované (viz referencie vo Farkaš, 2013) a zrkadliace neuróny reagujú zrejme tiež na rôznych úrovniach abstrakcie (invariance). Napríklad, podľa najnovších poznatkov sa ukazuje, že väčšina zrkadliacich neurónov v oblasti F5 je závislá na perspektíve pohľadu, ostatné zrkadliace neuróny nie sú (Caggiano a spol., 2011; pozri aj Gallese, 2009). V tomto príspevku sa tiež zameriavame na aspekt abstrakcie pri pozorovaní akcií.

3 Experimenty

V ďalšom texte uvedieme dva experimenty s meraním EEG počas pozorovania pohybu ruky (Daróczy, 2012) alebo pohybu tela (Schoeberl, 2013). Na meranie EEG sme použili 16-kanálový zosilňovač g.USBamp 3.0 (od firmy g.tec, Ltd., Rakúsko). Dáta boli merané pomocou 8 aktívnych elektród umiestnených v čiapke na pozíciách (podľa medzinárodného systému 10–20): T7, C3, CZ, C4, F3, FZ, F4, T8 (obr. 1). Elektróda na pravom ušnom boltci bola použitá ako referencia, a zemniaca elektróda bola štandardne na pozícii Fpz.



Obr. 1. Medzinárodný systém pozícií 10–20 na povrchu lebky pre elektródy na meranie signálu EEG.

V oboch experimentoch išlo v podstate o porovnanie experimentálnych podmienok (pohyb) s kontrolnou podmienkou (motorický kľud) z hľadiska aktivity EEG. Každá podmienka trvala istý počet desiatok sekúnd, pričom sme z nej odstrihli časový úsek (z oboch koncov) v snahe eliminovať možné prechodové efekty súvisiace so zmenou vizuálneho podnetu (Vanni a spol., 1999). Na vyseknutý úsek segmentu sme aplikovali metódu odhadu spektrálnej hustoty (multitaper power spectral density estimate). Potom sme vypočítali kumulovanú hodnotu energie signálu v pásme 8–13 Hz (oblasť mí rytmov) na každej vybratej elektróde pre každý segment. Inšpirovaní prácou Oberman a spol. (2007), sme ako mieru potlačenia mí rytmov (mu rhythm suppression, MRS)¹ počítali dekadický logaritmus pomeru energií v experimentálnej podmienke $PSD(exp)$ a v kontrolnej podmienke $PSD(rlx)$ podľa vzťahu

$$MRS = \log \frac{PSD(exp)}{PSD(rlx)}$$

¹ Potlačenie mí rytmov EEG sa v literatúre označuje aj ako desynchronizácia viazaná na udalosť (event-related desynchronization, ERD).

Počítanie logaritmu pomeru dvoch hodnôt má za cieľ zohľadniť individuálne rozdiely a umožniť tak konzistentné porovnanie hodnôt v rámci skupín. Keďže supresia vedie k zníženiu spektrálnej hustoty (energie) v danom frekvenčnom pásme, očakávaná hodnota MRS je záporná a porovnáva sa s nulou pomocou jednovzorkového *t*-testu. Na štatistickú analýzu dát sme použili softvér SPSS.

3.1 Experiment 1: Pozorovanie pohybu rúk

Tento experiment bol motivovaný prácou Oberman a spol. (2007), kde zistili, že motorickú odozvu vyvoláva u človeka pohľad aj na nedeliberatívne pohyby bez cieľového objektu (umelá ruka dvíhaná šnúrkou) alebo na robotické rameno. Implementovali sme však vlastné experimentálne podmienky.

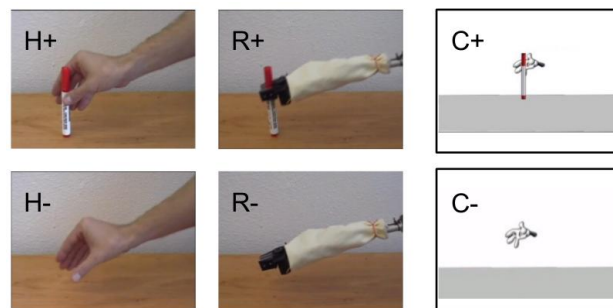
Participanti

Na experimente sa zúčastnilo 20 participantov, študentov UK v Bratislave, vo veku 20–34 rokov ($M = 24,7$, $SD = 2,96$). Na základe vizuálnej analýzy dát sme museli vylúčiť jedného participanta z vyhodnocovania. Piatich participantov boli ľaváci, zvyšných 14 participantov boli praváci. Každý participant vyplnil pred experimentom o ňom dotazník.

Metóda

Po slovnom úvode mali participantí vykonať úlohu, a to sledovať video skomponované z $3 \times 2 = 6$ experimentálnych podmienok (segmentov) plus kontrolnej podmienky (prázdna obrazovka). Každý segment trval 80 sekúnd, čím sme získali video s celkovou dĺžkou $7 \times 80 = 560$ sekúnd. Každý segment sa vyskytol vo videu dvakrát, teda v celkovej dĺžke 160 sekúnd. Celé video bolo farebné a bez zvuku. Participantí sedeli asi 40 cm pred obrazovkou počítača. Popri experimente mali súčasne vykonávať prídavnú úlohu, a to počítat' (a povedať) počet skrytých vizuálnych efektov na konci každého segmentu. Takýmto spôsobom sme sa chceli uistiť, že participantí sa po celý čas sústredili na obrazovku. Pripravili sme 4 rôzne verzie videa, s rôznym poradím segmentov, čím sme vylúčili možnosť vplyvu poradia. Počet vizuálnych efektov bol premenlivý.

Pre označenie jednotlivých experimentálnych podmienok sme použili tieto symboly: typ „ruky“: H (human) v prípade ľudskej ruky, R v prípade robotického ramena a C (cartoon) v prípade animovanej ruky (presnejšie povedané, iba zápästia). Symbol „+“ označuje prítomnosť cieľového objektu, „-“ jeho absenciu. Jednotlivé podmienky sú na obrázku 2.



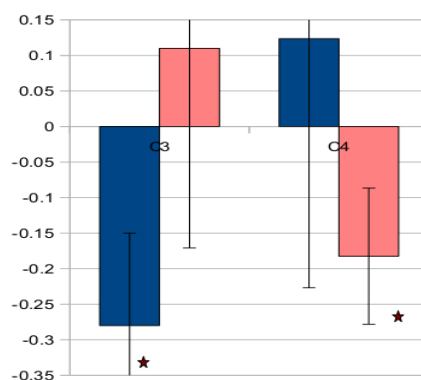
Obr. 2. Šesť experimentálnych podmienok s pohybom.

Z každého segmentu sme odstrihli začiatok a koniec v dĺžke 10 sekúnd, či sme dostali 60-sekundový segment, ktorý sme vyhodnocovali. Pomocou spektrálnej analýzy sme vypočítali kumulovanú hodnotu energie signálu v pásme 8–13 Hz na každej elektróde pre každý segment. Údaje pre dva segmenty odpovedajúce tej istej skupine sa spočítali. Počítali sme mieru potlačenia mí rytmov (MRS, vysvetlenú vyššie) na elektródach C3 a C4, kde sa prejavili najvýraznejšie rozdiely.

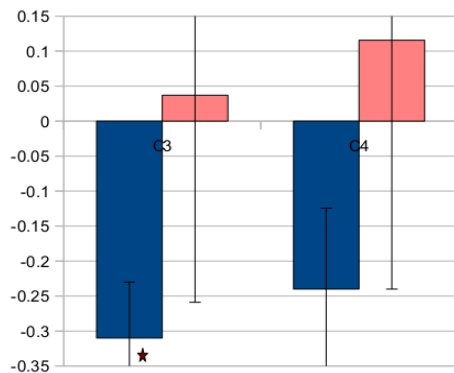
Ohľadne počítania vizuálnych stimulov, všetci participantí odpovedali so 100%-nou presnosťou, takže môžeme povedať, že akékoľvek individuálne rozdiely nevznikli v dôsledku absencie pozornosti.

Výsledky

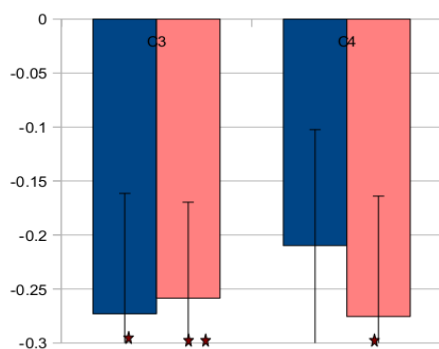
Po nameraní dát a výpočte MRS sme najprv vykonali sériu jednovzorkových Studentových *t*-testov, v ktorých sme porovnávali supresiu (MRS) počas každej experimentálnej podmienky v porovnaní s kontrolnou podmienkou. Tieto výsledky sú znázornené na obrázkoch 3–5 pre tri typy ruky na elektródach C3 a C4.



Obr. 3. Potlačenie mí rytmov (MRS) pri pozorovaní ľudskej ruky (H) s objektom (modrá), a bez neho (ružová), na elektródach C3 (vľavo) a C4 (vpravo).



Obr. 4. Potlačenie mí rytmov (MRS) pri pozorovaní robotickej ruky (R) s objektom (modrá), a bez neho (ružová), na elektródach C3 (vľavo) a C4 (vpravo).



Obr. 5. Potlačenie mí rytmov (MRS) pri pozorovaní animovanej ruky (C) s objektom (modrá), a bez neho (ružová) na elektródach C3 (vľavo) a C4 (vpravo).

Tab. 1. Výsledky *t*-testov pre jednotlivé exp. podmienky.

Elektróda	C3		C4	
	<i>t</i> (18)	<i>p</i>	<i>t</i> (18)	<i>p</i>
H+	-2,16	0,040	0,353	0,728
H-	0,39	0,696	-1,897	0,073
R+	-3,60	0,020	-2,00	0,053
R-	0,005	0,996	0,326	0,748
C+	-2,43	0,025	-1,945	0,067
C-	-2,88	0,01	-2,453	0,024

Na obrázkoch 3–5 a v tabuľke 1 je vidieť, že signifikantný efekt MRS bol nájdený na elektróde C3 v prípade všetkých troch typov ruky s objektom, a prekvapujúco na oboch elektródach len v prípade animovanej ruky bez objektu. Následná analýza bola zameraná na zisťovanie hlavných efektov (prítomnosť objektu, hemisféra) ako aj ich interakcie, a to osobitne v rôznych prípadoch ruky (H, R a C). Na to sme použili dvojcestný test ANOVA. Avšak ani v jednom prípade

sme nenašli hlavný efekt objektu, hemisféry, alebo ich interakcie.

Zhrnutie

Tento experiment bol zameraný na pozorovanie pohybových stimulov s rôznymi úrovňami abstrakcie a ich účinku na aktiváciu systém zrkadliacich neurónov. Výsledky naznačujú, aj keď nie úplne konzistentne, že pozorovanie ľudskej, robotickej i animovanej ruky môže spôsobiť desynchronizáciu mí rytmov, a to i v prípade bez cieľového objektu. Nenašli sme rozdiel medzi hemisférami, súdiac podľa hodnôt nameraných na elektródach C3 a C4. Na elektróde C3 sme namerali potlačenie vo všetkých troch skupinách s objektom (čo odpovedá kontralaterálnej hemisfére u pravákov). Dôvod prečo sme nepozorovali signifikantný efekt na elektróde C4 (pravá hemisféra) môže byť ten, že väčšina participantov (14) boli praváci. Naše výsledky majú čiastočne bližšie k práci Muthukumaraswamy a spol. (2004), kde nepozorovali signifikantnú supresiu v podmienkach bez objektu, zatiaľ čo naše výsledky sú zmiešané, lebo trochu prekvapujúco pôsobí pozorovanie potlačenia mí rytmov na oboch elektródach pri pozorovaní animovanej ruky v prípade absencie objektu. Výsledky možno považovať za pilotné, a určite by bolo vhodné experiment zdokonaľiť a zopakovať.

3.2 Experiment 2: Pozorovanie pohybu tela

Zistilo sa, že MNS je aktivovaný pri pozorovaní biologického pohybu a pomáha inferovať pohybové vzorce aj v prípadoch, keď vizuálny vstup je riedky. Takže, aj bodový pohyb postavy človeka dokáže aktivovať premotorickú kôru (Saygin a spol., 2004) a potlačiť tak mí rytmus v motorickej kôre ako korelát aktivity MNS (Muthukumaraswamy a Johnson, 2004). Avšak, poznatky o MRS v prípade pohybových vzorcov, ktoré nepatria (presne) do motorického repertoára človeka sú protichodné. Na jednej strane existuje evidencia, že takéto vzorce alebo pohyb neživých objektov sú spracovávané odlišnými neurálnymi obvodmi, ktoré nezahŕňajú MNS (Pyles a spol. 2007; Buccino a spol., 2004). Na druhej strane, ako už bolo uvádzané vyššie, MNS u človeka reaguje na široký rozsah podnetov vrátane tranzitívnych i netranzitívnych ľudských pohybov (Buccino a spol., 2004) a akcií vykonávaných robotickou alebo animovanou rukou (Oberman a spol., 2007; Daróczy, 2012).

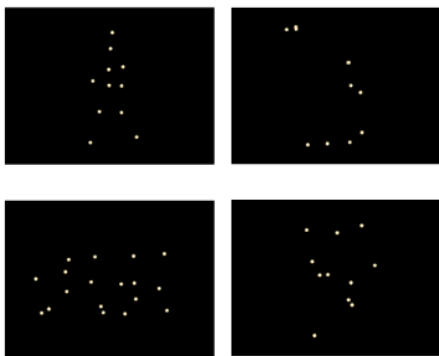
Participantí

Experimentu sa zúčastnilo 22 študentov UK in Bratislava, pričom 20 z nich poskytlo použiteľné dáta (v jednom prípade vznikli technické problémy, v druhom prípade

zase subjekt nevidel žiaden pohyb človeka či zvierat'a). Tieto subjekty boli vo veku 22–30 rokov ($M = 24,5$; $SD = 1,98$). V experimentálnej skupine bolo 13 mužov a 7 žien. Ohľadne preferovanej ruky bolo 15 pravákov a 5 ľavákov. Všetci boli informovaní o procedúre a súhlasili s participáciou v experimente.

Metóda

Vizuálne podnety (stimuli) pozostávali z bielych bodových svetielok (10–18 bodov), ktoré boli prezentované na čiernom pozadí. Svetielka sa buď pohybovali náhodne, boli statické alebo znázorňovali biologický pohyb človeka, mačky alebo holuba (Obr. 6). Pohyb evokoval pocit, že objekt sa pohybuje doľava stojac pritom na mieste. Okrem toho sme prezentovali aj pomiešané (scrambled) verzie pohybu, ktoré zachovávali lokálne vzorce pohybu jednotlivých bodov, ale ich počiatkové pozície boli náhodne poprehadzované na obrazovke. Tieto pohybové vzorce (segmenty) a ich pomiešané verzie sme získali z verejne dostupnej stránky Bio Motion Lab, Queen's University in Kingston, Ontario, na linke <http://www.biomotionlab.ca>. V prípade nebiologického pohybu sme generovali stimuly tak, aby ich veľkosť bola rovnaká. Body sa pohybovali náhodne a ich dynamika nepripomínala žiaden biologický pohyb. Ako kontrolnú podmienku sme použili statický obraz náhodne rozmiestnených bodov.



Obr. 6. Znázornenie bodového pohybu človeka (vľavo hore), mačky (vľavo dole), holuba (vpravo hore), a príklad „pomiešaného“ pohybu človeka (vpravo dole).

Participanti sa pozerali na 8 rôznych typov segmentov obsahujúcich bodové stimuly (človek, mačka, holub + ich pomiešané verzie + náhodný pohyb bodov + statický obraz). Video segmenty vo veľkosti asi 20×20 cm boli prezentované na LCD obrazovke, pričom participant sedel vo vzdialenosti asi meter od obrazovky. Tomu odpovedá asi $8\text{--}11^\circ$ vizuálneho uhla. Participanti boli inštruovaní nepohybovať očami a fixovať pozornosť na stred objektu. Pred experimentom nebolo participantom povedané, že niektoré segmenty budú

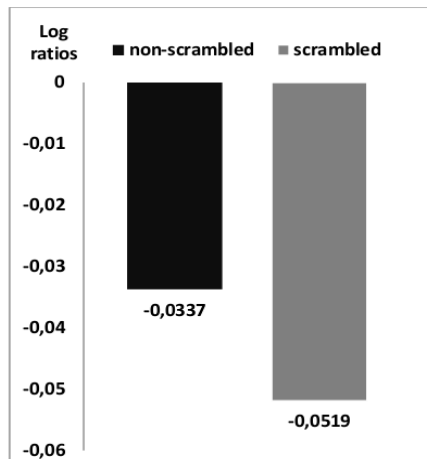
predstavovať biologický pohyb. Bolo im však povedané, že si majú všimnúť občasnú krátkodobú (250 ms) zmenu farby niektorých bodov (podľa Ulloa a Pineda, 2007) a vždy na konci každého segmentu uviesť počet týchto zmien. Tým sme chceli zabezpečiť ich permanentnú vizuálnu pozornosť. Segmenty boli prezentované v 3 blokoch (po 8 segmentov) v náhodnom poradí. Každý segment trval 40 sekúnd a po ňom nasledovala pauza 30 sekúnd. EEG dáta boli vyhodnocované počas 30 sekúnd v rámci každého segmentu (okrajové 5-sekundové úseky boli odstrihnuté). Súčasťou experimentu bol aj dotazník. Nakoľko vstupné stimuly boli riedke, nebolo isté, že každý participant v nich rozpozná pohyb. Preto mali participanti v dotazníku odpovedať, či rozpoznali biologický pohyb (a ak áno, tak aký), a či videli nejaký vzor pri pomiešaných stimuloch a pri náhodnom pohybe.

Výsledky

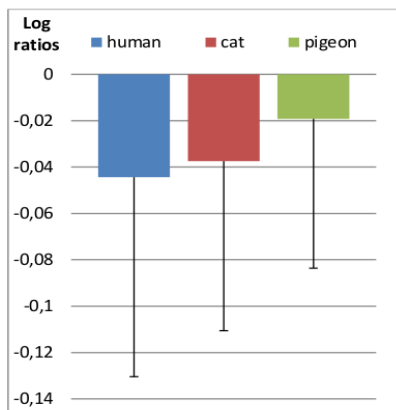
Dáta boli spracované spôsobom opísaným vyššie. Hodnoty pre 3 opakovania toho istého segmentu boli spriemernené a podrobené štatistickej analýze. Najprv sme analyzovali MRS pomocou trojcestného vnútroskupinového testu ANOVA s faktormi druh (človek, mačka, holub), pohyb (skutočný, pomiešaný) a elektróda (C3, Cz, C4). Keďže sme našli signifikantný hlavný efekt pre druh a elektródu, dáta sme zlúčili do dvoch skupín (skutočný a pomiešaný pohyb). Na porovnanie oboch skupín s kontrolnou podmienkou sme použili jednovzorkové *t*-testy. Výpočet MRS v prípade pohybu náhodných bodov sme nezahrnuli do počiatkovej faktorovej analýzy, ale urobili sme osobitnú analýzu pomocou jednovzorkových *t*-testov.

Všetci participanti zvládli test pozornosti s farebnými bodmi s vysokou presnosťou (priemerné skóre bolo asi 95%), vďaka čomu sme predpokladali, že počas experimentu dávali pozor. V prípade pohybu mačky, väčšina subjektov rozpoznala nejakého cicavca (mačku, psa, ošípanú a i.) v pohybe. Pri pozorovaní holuba, 12 participantov videlo vtáka, šiesti nejaké iné zviera a jeden videl robota. Dotazník taktiež odhalil, že v niektorých prípadoch mali participanti tendenciu vidieť pohyb človeka alebo zvierat'a aj v prípadoch pomiešaných stimulov. Avšak vo väčšine prípadov im pomiešaný a náhodný pohyb nedávali zmysel.

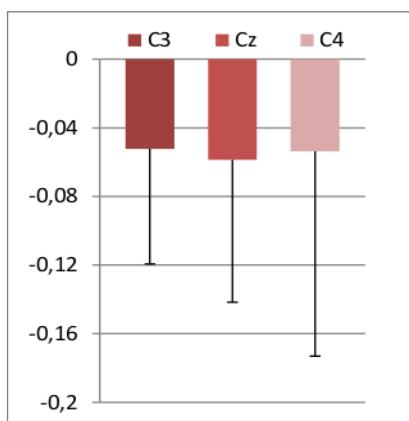
Počiatková trojcestná ANOVA odhalila hlavný efekt pohybu (skutočný, pomiešaný) ($p = 0,036$). Ostatné hlavné efekty, t.j. druh a elektróda, ako aj všetky interakcie neboli signifikantné. Nasledovné *t*-testy porovnania všetkých dát pre pomiešaný a skutočný pohyb oproti kontrolnej podmienke ukázali, MRS je vysoko signifikantné v oboch podmienkach ($p < 0,01$). V prípade pomiešaných pohybov bolo MRS ešte výraznejšie ako v prípade skutočných pohybov (Obr. 7), čo je prekvapujúce.



Obr. 7. MRS v prípade oboch typov pohybu.



Obr. 8. MRS v troch prípadoch skutočného pohybu (človek, mačka, holub), s pomerne veľkými štandardnými odchýlkami, ktoré zrejme spôsobili, že nebol nájdený hlavný efekt faktora druh v teste ANOVA.



Obr. 9. MRS pri náhodnom pohybe bolo signifikantné na elektródach C3 a Cz.

Aj keď sme nenašli signifikantný hlavný efekt faktora druh, je vzhľadom na predchádzajúci výskum MNS pravdepodobné, že ľudský pohyb spôsobuje väčšie MRS než pohyb zvieratá, čo bolo ale pravdepodobne zatienené vysokou variáciou. Avšak, priemerná hodnota MRS v prípade pohybu človeka bola menšia (t.j. výraznejšie MRS) ako v prípade zvieratá (Obr. 8).

V prípade náhodného pohybu jednovzorkové *t*-testy odhalili signifikantné MRS na elektródach C3 a Cz ($p < 0,05$), no nie C4, zrejme v dôsledku príliš vysokej variability (Obr. 9).

Diskusia

Výsledky tohto experimentu sú zväčša konzistentné s predchádzajúcimi výsledkami týkajúcimi sa zapojenia sa MNS pri pozorovaní stimulov, ktoré nepatria do motorického repertoára človeka. Konkrétne, našli sme signifikantné MRS na ľavej hemisfére (C3) v prípade náhodného pohybu, pričom podobný výsledok uvádzajú Engel a spol. (2007) v fMRI štúdiu, kde zistili aktiváciu štruktúr MNS (bilaterálne premotorické a temenné oblasti, okcipitálno-temporálna oblasť a pravé STS) pri pozorovaní nebiologického pohybu. Okrem toho, náš experiment neodhalil štatisticky významný rozdiel medzi MRS pri pohybe človeka a zvieratá, aj keď obe MRS boli signifikantné. Toto možno interpretovať i tak, že MNS sa aspoň čiastočne aktivuje, keď sa subjekt pozerá na pohyb zvieratá, preto si to asocioje s pohybom človeka. Avšak na druhej strane treba povedať, že účastníci v dotazníku potvrdili, že (vo väčšine prípadov) rozpoznali pohyb zvieratá. Na druhej strane je prekvapujúce vzhľadom na predchádzajúci výskum (Pyles a spol., 2007; Buccino a spol. 2004), že sme nenašli rozdiel v MRS medzi pohybom človeka a zvieratá. Možno to bolo spôsobené malým počtom účastníkov, čo spôsobilo vysokú variáciu dát. Okrem toho, prekvapením je aj výraznejšie MRS v prípade pomiešaného pohybu v porovnaní so skutočným pohybom. V predchádzajúcej štúdiu s EEG s podobným experimentálnym dizajnom bol nájdený práve (kvalitatívne) opačný efekt, než ktorý by sme očakávali (Ulloa a Pineda, 2007). Na druhej strane, ich experiment sa odlišoval od nášho v dvoch relevantných aspektoch: Po prvé, Ulloa a Pineda použili rôzne typy ľudského pohybu (napr. skákanie, kopanie) a im odpovedajúce pomiešané verzie, no nie náhodný pohyb (ako my). Preto fakt, že sme našli efekt MRS v prípade pomiešaných pohybov môže mať niečo do činenia s variabilitou stimulov. Tým chceme povedať, že keď účastníci videli rôzne verzie pohybu človeka a zvieratá, mohli byť prajmovaní na hľadanie podobných vzorov v oboch prípadoch. Táto hypotéza by sa dala overiť pomocou medziskupinového (between-subject) dizajnu, ktorý by mohol odhaliť, do akej miery efekt očakávania (zhora nadol) ovplyvňuje aktivitu MNS. Po

druhé, vizuálny uhol našich stimulov (11°) bol výrazne väčší než ten (4,5°) použitý v štúdiu Ulloa a Pineda (2007), čo mohlo ovplyvniť výsledky. V prípade veľkého uhla totižto účastníci mohli mať tendenciu zameriavať sa na jednotlivé body a nie celý obraz. Toto by sa dalo overiť pomocou zariadenia na sledovanie pohybu očí.

4 Záver

Je známe, že aktivitu MNS možno vyvolať pomocou multimodálnych podnetov (cues) ako aj abstraktných stimulov, ako napríklad robotické rameno alebo animovaná ruka (Oberman a spol., 2007; Daróczy, 2012). Dokonca aj statické obrázky, ako napr. Rorschachove stimuly, môžu spôsobiť supresiu mí rytmov, ak si ich účastník asociuje s „pocitom ľudského pohybu“ (Giromini a spol., 2010). Celkovo tieto výskumy naznačujú, že aktivita MNS dosť závisí od kontextu, obzvlášť keď vizuálny vstup je riedky (sparse) a MNS môže byť aktivovaná pomocou pohybových „náznakov“ (cues), ktoré sa dajú namapovať na motorický repertoár človeka, ako ukázali aj Engel a spol. (2008). Naše výsledky ukazujú, že aj nebiologický náhodný pohyb bodových stimulov, ako aj pomiešaný pohyb môžu viesť k desynchronizácii mí rytmov. Na druhej strane, oba tu prezentované experimenty priniesli aj prekvapujúce zistenia. V prvom experimente sme pozorovali MRS aj v prípade pohybu bez objektu, no nie konzistentne vo všetkých troch podmienkach. V druhom experimente je zase prekvapujúca výraznejšia desynchronizácia mí rytmov v prípade pomiešaných pohybov v porovnaní so skutočnými. Tieto nedostatky by sa mohli dať odstrániť opakovaním experimentov s vylepšeným dizajnom a väčšou skupinou účastníkov.

Pod'akovanie: Tento príspevok vznikol s podporou grantov VEGA 1/0503/13 a KEGA 076UK-4/2013.

Literatúra

- [1] Barsalou L. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
- [2] Buccino G., Lui F., Canessa N., Patteri I., Lagravinese G., Benuzzi F., Porro C.A. and Rizzolatti G. (2004). Neural circuits involved in the recognition of actions performed by non-conspecifics: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 114–126.
- [3] Caggiano V., Foggassi L., Rizzolatti G., Pomper J.K., Thier P., Giese M.A., Casie A. (2011). View-based encoding of actions in mirror neurons of area F5 in macaque premotor cortex. *Current Biology*, 21, 144–148.
- [4] Cohen-Seat G., Gastaut H., Faure J., Heuyer, G. (1954). Etudes expérimentales de l'activité nerveuse pendant la projection cinématographique, *Rev. Int. Filmologie* 5, 7–64.
- [5] Daróczy G. (2012). Measuring the EEG mu-rhythm desynchronization associated with motor actions. *MEiCogSci mobility project*, FMFI UK Bratislava.
- [6] Engel A., Burke M., Fiehler K., Bien S., Rösler F. (2008). How moving objects become animated: The human mirror neuron system assimilates non-biological movement patterns. *Social Neuroscience*, 3, 368–387.
- [7] Fadiga L., Foggassi L., Pavesi G., Rizzolatti G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73, 2608–2611.
- [8] Farkaš I. (2013). Je reprezentatívny pluralizmus v kognitívnej vede nevyhnutný? V zborníku *Kognitívna veda a umelý život*, Slezská univerzita v Opavě, 107–114.
- [9] Farkaš I., Malý M., Rebrová K. (2011a). Porozumenie motorickým akciám – hypotéza kontinua. V zborníku *Kognice a umelý život XI*, Slezská univerzita, Opava, 61–68.
- [10] Farkaš I., Malý M., Rebrová K. (2011b). Mirror neurons – theoretical and computational issues. *Technical report TR-2011-028*, Comenius University in Bratislava.
- [11] Gallese V. (2009). Motor abstraction: a neuroscientific account of how action goals and intentions are mapped and understood. *Psychological Research*, 73, 486–498.
- [12] Gallese V., Keysers C. Rizzolatti G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 396–403.
- [13] Gallese V., Fadiga L., Foggassi L., a Rizzolatti G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain: a Journal of Neurology*, 119, 593–609.
- [14] Gastaut H. Bert J. (1954). EEG changes during cinema-tographic presentation; moving picture activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 6, 433.
- [15] Giromini L., Porcelli P., Viglione D.J., Parolin L., Pineda J.A. (2010). The feeling of movement: EEG evidence for mirroring activity during the observations of static, ambiguous stimuli in the Rorschach cards. *Biological Psychology*, 85, 233–241.

- [16] Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G. Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences* 24, 849–878.
- [17] Jackson P.L., Decety J. (2004). Motor cognition: a new paradigm to study self–other interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 259–263.
- [18] James W. (1890). *The Principles of Psychology*, Vols. I, II., Harvard University Press, Cambridge, MA.
- [19] Klimesch W., Doppelmayr M., Russegger H., Pachinger T., Schwaiger J. (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, 244, 73–76.
- [20] Mukamel R., Ekstrom A., Kaplan J., Iacoboni M., a Fried I. (2010). Single-neuron responses in humans during execution a observation of actions. *Current Biology*, 20, 750–756.
- [21] Muthukumaraswamy S.D., Johnson B.W. (2004). Changes in rolandic mu rhythm during observation of a precision grip. *Psychophysiology*, 41:152–156
- [22] Muthukumaraswamy S.D., Johnson B.W., McNair N.A. (2004). Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Cognitive Brain Research*, 19, 195–201.
- [23] Oberman L.M., McCleery J.P, Ramachandran V.S., Pineda J.A. (2007). EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*, 20, 2194–2203.
- [24] Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi V. a Rizzolatti G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, 176–180.
- [25] Pyles J.A., Garcia J.O., Hoffman D.D. and Grossman E.D. (2007). Visual perception and neural correlates of novel 'biological motion'. *Vision Research*, 47, 2786–2797.
- [26] Pineda J.A. (2005). The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing“ into “doing”. *Brain Research Reviews*, 50, 57–68.
- [27] Rebrová K. (2012). Stelesnené porozumenie a ideomotorická teória. V knihe Rybár J. (zost.), *Kognitívne paradigmy*, Vydavateľstvo Európa. 127–150.
- [28] Rizzolatti G. Craighero L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169–92.
- [29] Rizzolatti G., Fogassi L., a Gallese V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding a imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 661–670.
- [30] Rizzolatti G. a Sinigaglia C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations a misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience* 11, 264–74.
- [31] Saygin, A. P., Wilson, S. M., Hagler, D. J. Jr., Bates, E. and Sereno, M. I. 2004. Point-light biological motion perception activates human premotor cortex. *Journal of Neuroscience*, 24, 6181–6188.
- [32] Schoeberl T. (2013). Human, animal and non-animate point-light motion: Effects on EEG mu rhythm suppression. *MEiCogSci mobility project*, FMFI UK Bratislava.
- [33] Ulloa E.R. and Pineda J.A. (2007). Recognition of point-light biological motion: Mu rhythms and mirror neuron activity. *Behavioural Brain Research*, 183, 188–194.
- [34] Van Elk M., Van Schie H., Hunnius S., Vesper C. Bekkering H. (2008). You’ll never crawl alone: neurophysiological evidence for experience-dependent motor resonance in infancy. *Neuroimage*, 43, 808–814.
- [35] Vanni S., Portin K., Virsu V., Hari R. (1999). Mu rhythm modulation during changes of visual percepts. *Neuroscience*, 91, 21–31.
- [36] Wilson M. (2002). Six views of embodied cognition, *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625–636.