

Stelesnené porozumenie a ideomotorická teória

Kristína Rebrová

1 Úvod

Paradigma stelesnenia (embodiment) a ukotvenej kognície (grounded cognition) získava na poli kognitívnych vied stále väčšiu váhu. Jej vznik môžeme datovať do osemdesiatych rokov minulého storočia. Má mnoho podôb zameraných či už na konkrétne aspekty kognície, porozumenie, inteligenciu a podobne; na kogníciu ľudskú, zvieraciu ale aj umelú (Wilson, 2002; Ziemke, 2003). Paradigma stelesnenej kognície má silné implikácie aj pre umelú inteligenciu a robotiku.

S touto paradigmou úzko súvisí takzvaný konštruktivistický prístup ku skúmaniu kognície (Pfeifer a Scheier, 1999), pozri aj (Takáč, 2009). Jeho ústrednou myšlienkou je skúmanie rôznych kognitívnych procesov pomocou ich modelovania vo fyzických a simulovaných robotoch. Ústredným motívom paradigmy stelesnenej kognície, na rozdiel od klasického odtelesneného pohľadu, je neoddeliteľnosť kognície od fyzického tela agenta (človeka, zvierat'a, stroja) a prostredia, v ktorom sa nachádza (Pfeifer a Scheier, 1999). Fyzické telo nám umožňuje nielen interagovať s prostredím, ale podieľa sa aj na našich kognitívnych schopnostiach, vrátane usudzovania či používania jazyka. Dôležité je skúmať kogníciu ako kombináciu všetkých troch aspektov, mysle, tela a prostredia.

Paradigma stelesnenej kognície vznikla aj ako reakcia na klasické symbolové prístupy. Paradigma kognitivizmu, inšpirovaná novými objavmi v matematickej logike, lingvistike a informatike, v centre ktorej sú amodálne symboly (Fodor, 1975) a univerzálna gramatika (Chomsky, 1965), dominovala v kognitívnej vede zhruba od polovice minulého storočia. Medzi ústredné princípy kognitivizmu patrí redukovanie kognície na manipuláciu so symbolmi, ktoré sú amodálne a arbitrárne (Fodor, 1975). Zmyslové vnemy sú neznámym procesom transdukcie prevedené na symboly, ktoré sú vyhodnocované symbolovým procesorom a naspäť transdukované na akcie (reakcie). Arbitrárne amodálne symboly si môžeme predstaviť ako zoznamy vlastností, sémantické siete, rámce, schémy, či vety predikátovej logiky. Ako výstižne poznamenal Barsalou, existenciu spomínaného symbolového procesora v mozgu ešte nikto nedokázal. Vo svojom článku o systémoch perceptuálnych symbolov Barsalou (1999) navrhuje alternatívny pohľad na kogníciu založený na senzomotorickej simulácii. Narozdiel od klasických kognitivistických prístupov získavajú teórie stelesnenej kognície stále väčšie množstvo empirickej podpory.

Jednou z hlavných kritik symbolového prístupu k vytváraniu umelej inteligencie, bol Searlov (1980) argument čínskej izby a teoretická námietka Harnada (1990) o ukotvení symbolov. Na to, aby sme symbolom rozumeli, musia nám byť vlastné, musia mať pre nás nejaký konkrétny význam. V argumente čínskej izby sedí Searle v špeciálnej miestnosti niekde v Číne oddelenej od sveta a komunikuje len pomocou telegramov. Searle ovláda angličtinu, ale nevie po čínsky. Má však k dispozícii veľkú knihu pravidiel a kompletnú slovnú zásobu, na základe ktorých úspešne komunikuje so svetom. Vie – rozumie však samotný Searle po čínsky? Takúto otázku si môžeme položiť aj v súvislosti so spomínaným amodálnym symbolovým procesorom. Aj keď je Searlova metafora nedokonalá, dobre vystihuje nedostatky, ktoré sa od paradigmy kognitívizmu nedajú odlúčiť.

Asi najvplyvnejšou z reakcií na túto paradigmu bola už spomínaná teória perceptuálnych symbolov (Barsalou, 1999). Na rozdiel od amodálnych symbolov (pozri vyššie), ktoré sa nepodobajú na vnemy, z ktorých vzišli, perceptuálne symboly sú podmnožinami perceptuálnych (vnemových) stavov v rámci senzomotorických systémov. Ich vnútorná štruktúra je modálna a podobá sa na príslušné perceptuálne stavy. Porozumenie podľa tejto teórie funguje na báze multimodálnej senzomotorickej simulácie. Prítomnosť takejto simulácie potvrdzujú aj rôzne empirické štúdie. Z pohľadu kognitívnej neurovedy je simulácia implementovaná ako čiastočná aktivácia (rezonancia) tých istých neurálnych okruhov, ktoré sa zapájajú pri aktívnej percepcii a akcii (Borghi a kol., 2010).

Napriek tomu, že paradigma stelesnenej kognície a ukotvenej kognície je relatívne mladá, teórie spájajúce percepciu, akciu a porozumenie môžeme nájsť už v ranej histórii psychológie. Dobrým príkladom je ideomotorická teória akcie (James, 1890). Tá hovorí, že každá akcia, ktorú ideme vykonať, je v mozgu/mysli kódovaná na základe toho, aký perceptuálny efekt bežne má. Akcie sú podľa tejto teórie reprezentované v rovnakej doméne, zdieľajú neurálne kódy. Iniciácia akcií ako aj porozumenie akciám sú centrálnymi fenoménmi v skúmaní kognície. Nové poznatky z neurovedy, akým je napríklad objavenie zrkadliacich neurónov, poukazujú na prepojenie percepcie a motoriky. Teóriu zdieľaného kódovania možno dokonca rozšíriť až na úroveň jazyka a vyšších kognitívnych funkcií.

V tejto kapitole načrtneme históriu ideomotorickej teórie akcie siahajúcu do obdobia ďaleko pred Jamesom (začiatok 19. storočia), jej modernú verziu a aplikácie. Zameriame sa na teóriu spoločného kódovania a na výsledky psychologických experimentov, ktoré svedčia o tom, že akcia a percepcia sú skutočne prepojené, nie oddelené. Predstavíme zrkadliace neuróny a ich základnú vlastnosť, motorickú rezonanciu, ako potenciálny neurálny korelát stelesneného porozumenia a spoločného kódovania. Nakoniec budeme analyzovať vybrané neuropsychologické a psycholingvistické štúdie, ktoré poukazujú na existenciu multi-modálnej senzomotorickej simulácie pri porozumení jazyka. Ústrednou

myšlienkou tejto kapitoly je zhrnutie rôznych zdrojov konceptuálnej a empirickej podpory pre ukotvenie porozumenia akciám na báze motorickej simulácie.

2 Ideomotorická teória

Hľadáním mechanizmov, na základe ktorých vzniká naše konanie (action control), sa vedci zaoberajú už oddávna. Tu si dovoľíme zaviesť pojem *akcia*, ktorý budeme chápať ako akúsi jednotku pohybu, napríklad to, že sa natiahneme pre šálku čaju a uchopíme ju, môžeme volať akcia „natiahnutie sa pre šálku“. V doméne iniciácie a reprezentácie akcií dodnes prevládajú dve hlavné teórie. Prvá, *senzomotorická teória* hovorí, že akcie, ktoré vykonávame, sú vždy len reakciou na vonkajšie podnety. Vnemy a akcie nie sú kódované rovnako, preto je potrebné, aby existovalo presné mapovanie podnetov na patričné reakcie. Tu vzniká problém korešpondencie. V prípade, že chceme imitovať pohyb, ktorý vykonáva niekto iný, potrebujeme vnem tohto pohybu pretransformovať na motorický plán pre naše telo. V tomto prípade si treba uvedomiť, že už len vypočítanie súradníc, na ktorých sa nachádza pozorovaný človek, je proces matematicky veľmi zložitý. Podobne, keby sme chceli z pozorovaného obrazu vyabstrahovať uhol natočenia všetkých kĺbov tela, rýchlosti pohybov končatín a podobne, potrebovali by sme zložitý matematický aparát. Senzomotorický pohľad sa často spája s tradičnými kognitivistickými prístupmi ku kognícii, podľa ktorých sú vnemy prevádzané (transdukované) na amodálne symboly, spracúvané symbolovým procesorom a následne spätne prevedené na akcie.

Jednoduchší pohľad na vec ponúka *ideomotorická teória* akcie. Tá hovorí, že každá akcia, ktorú ideme vykonať, je v mozgu kódovaná na základe toho, aké rôzne dôsledky bežne má, napríklad ako vyzerá, aký máme pri nej pocit alebo aké má obvyklé dôsledky. V tomto prípade sa často uvažuje o spoločnom, nie rozdielnom kódovaní pre vnemy a akcie (percepciu a motoriku). Ak sú akcie v mozgu „zakódované“ na základe vnemov, ktoré produkujú, táto informácia je v ich reprezentácii uložená priamo. Problém korešpondencie je teda vyriešený, pretože netreba žiaden medzikrok od vnímania k akcii. V tomto prípade kopírovanie pozorovanej akcie môže prebiehať jednoducho ako hľadanie čo najpodobnejšieho pohybu, alebo súboru už známych pohybov zachytených v pamäti. V tomto prípade sa kladie dôraz viac na cieľ akcií, než na samotné pohyby (Iacoboni, 2009), čo môže mať za následok efektívne osvojenie si rôznych pohybov a akcií. Ideomotorická teória akcie sa na rozdiel od jej konkurenta spája skôr s paradigmou stelesnenej kognície, reprezentácia akcie je ukotvená v percepcii. Niektoré ideomotorické javy, najmä prepojenie medzi pozorovaním a iniciáciou akcie možno dať do súvislosti s ukotveným porozumením akciám. Iniciáciu „kopírovania“ akcie na základe jej perceptuálnych charakteristík bez samotného vykonania, ako ju popisuje James (pozri nižšie), môžeme

chápať ako senzomotorickú simuláciu a jej reprezentáciu ako simulátor (Barsalou, 1999).

2.1 História

Za otca ideomotorickej teórie sa často považuje Wiliam James. Uviedol ju vo svojej už priam legendárnej knihe Princípy psychológie (*The Principles of Psychology*, 1890). Korene tejto teórie však siahajú oveľa ďalej do minulosti. Stock a Stock (2004) vo svojej štúdiu uvádzajú dva hlavné pramene, z ktorých ideomotorická teória vznikla. Oba pramene, britský a nemecký, sú nezávislé a pochádzajú z 19. storočia.

Z britskej strany to boli fyziológ Thomas Laycock (1845), ktorý popísal excitačno-motorické fenomény a William Carpenter (1852), ktorý sa venoval vtedy populárnemu okultizmu a pripisuje sa mu zásluha za vytvorenie samotného termínu *ideomotorický*. Laycock, ktorý inšpiroval svojho kolegu Carpentera, skúmal reflexívne správanie pacientov, ktorí trpeli hydrofóbiou a objavil, že k panickej (reflexívnej) reakcii môže dôjsť aj v prípade, že si pacienti vodu len predstavujú. Samotná idea, aj bez akejkoľvek zmyslovej informácie, môže indukovať reflexívne správanie (napríklad lapanie po dychu). Carpenter preniesol tieto zistenia do svojej oblasti záujmu, okultizmu, ktorý bol v tej dobe rozšírený aj v najvyšších spoločenských kruhoch. Jeho cieľom bolo vysvetliť, že za mysterióznymi javmi nestojí nejaká záhadná vonkajšia sila, ale myšlienka – idea v mysli. Súvis týchto britských teórií s nemeckou školou a Williamom Jamesom je len slabý, preto sa z tohto prameňa v modernej ideomotorickej teórii zachoval hlavne názov. Pôvod slova *ideomotorický* nájdeme (paradoxne) v gréčtine aj latinčine, grécky *idea*, čo znamená *forma* a latinské sloveso *motare*, *pohybovať sa*.

Nemecký prameň ideomotorickej teórie sa zaoberá hlavne riešením vzťahu tela a mysle. Už začiatkom 19. storočia filozof Johann Herbart (1816; 1825) navrhol, že základným princípom úmyselného správania je iniciácia akcie prostredníctvom myšlienok – ideí. Už Herbart tvrdil, že asociácia medzi akciami a ich dôsledkami vzniká počas jej vykonávania a je následne využitá v prípade, kedy duša túži po navrátení pocitu, ktorý mala pri predošlom prežívaní tejto akcie. Duša teda zmysluplne využíva vedomosti o akciách a ich následkoch a vedome iniciuje akcie na základe očakávania ich sensorických dôsledkov. Nasledovník a kritik Herbartu, Herman Lotze (1852), obohatil teóriu o tvrdenie o *mechanickej nevyhnutnosti*, ktorú neskôr adoptoval aj James. Ideomotorické podnietenie akcie, teda začatie nejakého pohybu je proces, ktorý prebieha nevyhnutne, nedá sa mu zabrániť. Lotze tiež teoretizoval o vzťahu zmyslových vnemov a pohybov a formuloval hypotézu blízku teórii spoločného kódovania (pozri časť 3). Vnemy a pohyby sú v mozgu kódované pomocou takzvaných *ideových* a *kinetických* substrátov, ktoré sú vzájomne poprepájané. Nemecký smer vývoja

ideomotorickej teórie zavŕšil Emil Harless (1861), ktorý formuloval koncepciu *nástroja vôle*. V rámci svojho modelu predpokladal, že existuje súdržnosť medzi organickými substrátmi zmyslových vnemov a pohybov, formujúca senzomotorické kódy, ktoré zodpovedajú za iniciovanie rôznych akcií. Harless tiež predpokladal, že sa takýto aparát vyvíja už v prenatalnom štádiu vývoja.

Až James (1890) spojil oba pramene ideomotorickej teórie, no nie veľmi rovným dielom. Z britského smeru prevzal od Carpentera hlavne názov, naopak od nemeckých teoretikov si osvojil v podstate celú teóriu. Jamesovým prínosom bolo povýšenie tohto princípu na úroveň celkového vysvetlenia vykonávania akcií. Podľa neho totiž nastáva ideomotorická reakcia, vykonanie akcie na základe očakávaných dôsledkov, „bez váhania a bezprostredne“. Pre vysvetlenie však dodáva, že napriek tomu, že podnet na reakciu vznikne vždy, môže byť následne potlačený inou ideou, ktorá samotnú fyzickú realizáciu podnetu zastaví. V tomto kontexte James tiež poukazuje na to, že každodenné úkony, aj keď patria medzi vedomé akty, majú skôr charakter reflexu. Napríklad rôzne zlozvyky pri stolovaní (napríklad vyjedanie hrozienok z koláča) robíme akoby podvedome popri tom, ako pri jedle konverzujeme, aj keď to nie je práve spoločensky najvhodnejšie.

Hlavným kritikom ideomotorickej teórie akcie bol Edward Thorndike (1913), ktorý otvorene vystúpil proti Jamesovi v roku 1912 na konferencii americkej asociácie psychológov (APA), ktorej v tom čase predsedal. Jeho hlavným argumentom bolo, že idea nemôže vyvolať vykonanie akcie. Ideomotorická teória bola preňho len akousi mystifikáciou. Thorndike, ako prívrženec oddeleného senzomotorického vysvetlenia, chápal akcie iba ako naučené alebo podmienené reakcie na podnety. Je pravdepodobné, že práve táto silná opozícia spôsobila odsunutie ideomotorickej teórie do úzadia. Zaujímavé však je, že sa tejto teórii podarilo navrátiť do centra skúmania v psychológii, ale aj neurovede a iných kognitívno-vedných disciplínach.

Napriek prvotnému neúspechu Jamesovej teórie boli prvé psychologické experimenty s ideomotorickými akciami vykonané už v prvej polovici 20. storočia. Napríklad Moede (1920) skúmal reakcie ľudí pozorujúcich demonštrátora zdvíhajúceho ruky, čo spôsobilo u niektorých probandov takzvaný priming pohybu (movement priming), teda automatické zdvíhanie rúk aj v prípade, keď o to neboli požiadaní. Allers a Scheminzy (1926) obohatili tieto experimenty o čisté predstavy pohybov a fyziologickú metódu skúmania akčných potenciálov v svaloch. Známe sú aj experimenty Richtera (1954; 1957), ktorý sa tiež venoval vzniku ideomotorických efektov na základe predstáv s modernizovaným aparátom, schopným merať rôzne časti tela. V svojich prácach uvádza, že ideomotorická reakcia sa neviaže len na konkrétnu končatinu, ale zahŕňa subtilné znaky prípravy na akciu po celom tele.

2.2 Moderná ideomotorická teória

Záujem o ideomotorickú teóriu vzrástol prostredníctvom Greenwalda (1970), ktorý prepracoval Jamesovu teóriu tak, aby obsahovala lepšie verifikovateľné tvrdenia. V duchu experimentálne overiteľných veličín charakterizoval tri základné elementy ideomotorickej akcie: podnet – stimul (S), odpoveď – reakciu (R) a senzorickú spätnú väzbu – efekt (E). Greenwald hovorí, že z asociácie medzi týmito tromi udalosťami vznikajú takzvané „podmienené anticipačné obrazy spätnej väzby“ (z vykonanej akcie). Navrhol tiež základnú dvojfázovú metódu, v ktorej sa najprv probandi učia asociácie typu S-R-E, a potom sú vystavení stimulu S a efektu E, pričom sa porovnáva reakčný čas probandov potrebný pre vyhodnotenie situácie. V prípade, že probandi poznajú situáciu, ich reakčný čas je kratší ako v prípade novej situácie. Takáto metodológia a jej obmeny tvoria základ rôznych skúmaní ideomotorických javov aj v súčasnosti.

Jednou z najvplyvnejších ideomotorických teórií je *teória kódovania udalostí* (Hommel a kol., 2001), ktorá predpokladá, že percepcia a akcia sú kódované v jednom spoločnom systéme. Z toho vyplýva, že vnímané akcie a pokyny pre ich vykonanie sú reprezentované podobným spôsobom a v spoločnej doméne (spoločné kódovanie, pozri nižšie). Tieto spoločné kódy pre akciu a percepciu sú súčasťou širšieho popisu akcie závislého na kontexte a existuje medzi nimi určitá štruktúrna hierarchia. Kódy udalostí nie sú modálne špecifické, integrujú informáciu z rôznych modalít (percepcia, motorika). Môžeme ich teda považovať skôr za abstraktnú než konkrétnu reprezentáciu, ktorá funguje podobne ako extrakcia afordancií (Gibson, 1977). Ako výstižne poznamenal MacKay (1982), podrobne špecifikované motorické príkazy na vykonanie akcií sú vedome vnímané len zriedka. Napriek tomu, že je rámec kódovania udalostí a spoločného kódovania percepcie a akcie zaujímavý a má implikácie pre psychológiu i neurovedu, považuje sa za neverifikovateľný a nefalzifikovateľný zároveň.

Shin a kolegovia (2010) analyzovali množstvo štúdií skúmajúcich efekt vnútorného očakávania výsledkov akcie. Výsledky experimentov ukázali, že pri učení postupností majú probandi lepšie výsledky v prípade asociácie medzi stimulom a reakciou, prípadne reakciou a efektom, než v prípade asociovania stimul-stimul alebo reakcia-reakcia. V jednom z prvých takýchto experimentov (Morin a Grant, 1955) boli probandi trénovaní na stláčanie kláves podľa vzoru z červených svetielok, ktoré videli na obrazovke (stimul). Navyše sa im ukazovali zelené svetielka, ktoré indikovali stlačené klávesy (reakcia). Reakčné časy boli výrazne nižšie v prípade, keď boli stlačené klávesy kongruentné (zhodujúce sa) so stimulmi, čo znamená, že si probandi osvojili vzťah medzi stimulmi a reakciami, ktorý im napomáhal správne opakovať želané akcie. Ďalšie štúdie sa podobne ako táto zaoberali

náhodným (nie cieleným) učením postupností, úlohami typu voľba-reakcia (choice-reaction tasks), efektom kompatibility podnetu a reakcie, či indukovaním akcií na základe pozorovania dynamických scén alebo iných ľudí vykonávajúcich akcie. Zaujímavým zistením, ktoré ukázali už prvé experimenty s ideomotorickou akciou, bolo, že pozorovanie akcie spôsobuje priamu (aj nedobrovoľnú) motorickú odozvu. Takéto zistenia nám napovedajú, že na iniciácii akcií sa skutočne podieľajú ich očakávané efekty.

Ďalšou implikáciou môže byť súvis medzi ideomotorickou akciou a mentálnou simuláciou, ktorá v konečnom dôsledku sprostredkúva porozumenie pozorovaným akciám. Jedným z predpokladov modernej ideomotorickej teórie je aj spoločné kódovanie akcií a vnemov s nimi spojených, ktoré, ako sa ukazuje, získalo v nedávnej dobe silnú empirickú podporu.

3 Teória spoločného kódovania

Teória spoločného kódovania predpokladá, že akcia a percepcia zdieľajú spoločnú reprezentačnú bázu (Prinz, 1997; Hommel a kol., 2001). Zmyslové vnímanie akcie automaticky aktivuje jej motorický komponent a naopak, vykonávanie akcie aktivuje aj vnemové udalosti, ktoré sa s ňou spájajú. Ako sme naznačili vyššie, zmyslové vnímanie akcie môže takýmto spôsobom vyvolať nielen motorickú odozvu ale aj senzomotorickú simuláciu (Barsalou, 1999). Ehrsson a kol. (2003) ukázali, že mechanizmy, ktoré sa podieľajú na vykonaní motorického aktu, sa zapájajú aj v prípade, že si ho len predstavujeme. Potenciálnym kandidátom pre neurálny mechanizmus spoločného kódovania percepcie a akcie sú zrkadliace neuróny, ktorých objav, fyziológiu a úlohu v porozumení zhrnieme v časti 4.

Ako zhrnuli van der Wel a kol. (v tlači), hlavným zdrojom podpory pre teóriu spoločného kódovania sú experimenty, v ktorých sa ukazuje, že presnosť predikcie výsledku pozorovanej akcie závisí od skúseností pozorovateľa. Hĺbka porozumenia, a teda schopnosť správnych predikcií, sa u pozorovateľa odvíja od toho, ako presne sa pozorovaná akcia namapuje na jeho motorický repertoár, a to na základe motorickej rezonancie (Farkaš a kol., 2011a). Motorická rezonancia je čiastočná aktivácia motorických oblastí mozgu v prípade, že nie je vykonávaný žiaden pohyb a pravdepodobne značí nejaký druh vnútornej simulácie, ktorá nám pomáha vyhodnotiť pozorovaný jav. Zaujímavé je, že akcia ovplyvňuje percepciu aj bezprostredne. Napríklad, Hecht a kol. (2001) zistili, že vizuálne vnímanie sínusoidálnych vzorov bolo lepšie v prípade, keď probandi pred pozorovaním cvičili podobné pohyby rukou. Čo je ešte dôležitejšie, tento tréning prebiehal bez vizuálnej spätnej väzby, čiže nebolo možné, aby sa probandi na pohyb naladili tým, že ho jednoducho odpozorovali.

Existenciu procesu mapovania pri vnímaní pohybu potvrdzujú aj výsledky experimentov, v ktorých

probandi pozorovali akcie, čo vykonávali sami a akcie, čo vykonávali iní. Knoblich a Flach (2001) skúmali takýto vplyv v prípade hádzania šípok. V prvej fáze experimentu nasníмали kamerou probandov pri hádzaní šípok. V ďalšej fáze, o týždeň neskôr, ich nechali pozerat' takéto videá z rôznymi úrovňami kompletnosti obrazu, pričom mohli vidieť napríklad iba ruky, alebo aj celé telo. Úlohou probandov bolo určiť, do ktorej časti terča sa pozorovaný subjekt trafi. Po adaptačnej fáze, kedy si probandi zvykli na neobvyklú situáciu seba-pozorovania, boli v určovaní výsledku hodu oveľa presnejší v prípade, že pozorovali seba, než keď odhadovali výsledok iných probandov. V podobnej štúdií Knoblich a kol. (2002) snímali ako probandi písali kompletnú a nedokončenú číslicu 2 (bez spodnej čiary). Úlohou probandov bolo následne pozerat' tieto videá a určovať, ktorý z týchto dvoch pohybov to bol. Výsledky experimentu ukázali, že probandi lepšie rozpoznali tvary, ktoré kreslili sami. K tomuto efektu však došlo len v prípade, že vykonaná akcia nebola príliš obmedzená vonkajšími faktormi (napríklad keď bolo na písanie číslíc vyhradené len malé miesto z celej písacej plochy).

Ďalšiu skupinu experimentov by sme mohli nazvať „profesionáli verzus nováčikovia“. V zaujímavom experimente využili Repp a Knoblich (2007) takzvaný tritónsky paradox, pri ktorom určité tóny, ktoré nie sú rovnaké, znejú rovnako. Teda prechod z jedného tónu na druhý bude rovnako pravdepodobne pôsobiť ako prechod z vyššieho na nižší alebo z nižšieho na vyšší. Probandmi experimentu boli profesionálni klaviristi a ľudia, ktorí na klavír hrať nevedeli a tvorili kontrolnú skupinu. Úlohou probandov bolo počúvať tóny, súčasne stláčať klávesy na klávesnici a nakoniec povedať, či šiel tón hore alebo dolu. Výsledky štúdie ukázali, že napriek tomu, že rozdiely medzi tónmi boli náhodné, profesionálni klaviristi určovali prechod z vyššieho tónu na nižší a vice versa presne podľa toho, aký pohyb robili rukou na klávesnici. Keď teda klavirista stlačil postupnosť kláves zľava doprava, tak jeho vnem bol z nižšieho tónu na vyšší, tak ako to je na klaviiatúre.

Podobné výsledky boli dosiahnuté aj v experimentoch, kde mali profesionálni športovci určovať výsledky pozorovaných akcií v športe, ktorý ovládali. Napríklad, Aglioti a kol. (2008) skúmali reakcie profesionálnych basketbalistov a ľudí, ktorí basketbal profesionálne pozorovali (trénerov či športových komentátorov). Zistili, že napriek tomu, že profesionálni hráči majú lepší odhad na výsledok akcie, u oboch skupín sa prejavili motoricky-evokované potenciály, poukazujúce na prítomnosť motorickej rezonancie. Interpretáciou tohto výsledku môže byť to, že k motorickej rezonancii dochádza v každom prípade, no tým, že mapovanie medzi pozorovanou akciou a vlastným repertoárom nemusí byť presné, vznikajú rozdiely medzi schopnosťou predpovedať výsledok akcie. Ďalším zaujímavým zistením je fakt, že experti majú prevahu nad nováčikmi iba v prípade, že ide o záznam pohybu na videu, nie na obrázku. Zistili to Sebanz a Shiffrar (2009) pri skúmaní pozorovania falšovania pri basketbale. Zdá sa, že statické a pohyblivé scény sa analyzujú na rôznych úrovniach, pričom je pravdepodobné, že sa na

porozumení pohybu podieľajú zrkadliace neuróny, ktoré reagujú na ciele motorické akcie, ale nie na samotné objekty alebo statické scény (viac v časti 4).

Štúdie dokazujúce prítomnosť motorickej rezonancie pri pozorovaní sú najčastejšie založené na skúmaní takzvaného μ -rytmu v EEG signáli (frekvenčné pásmo α vln). Ako jedni z prvých pozorovali Cohen-Seat a kol. (1954) a Gastaut a Bert (1954), že ku desynchronizácii μ -rytmu, ktorý je typický pre stav motorického pokoja, dochádza nielen vtedy, keď proband vykonáva nejakú akciu, ale aj keď akciu pozoruje. Oberman a Ramachandran (2007) tieto výsledky potvrdili a zistili, že túto motorickú odozvu vyvoláva u človeka pohľad nielen na iného človeka, ale aj na robotické rameno. 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.

Cross a kol. (2006) sledovali zmeny v aktivácii mozgu počas toho, ako sa profesionálni tanečníci učili nový tanečný prvok a zistili, že s rastúcou motorickou kompetenciou pre pozorovaný pohyb narastala aj aktivita v dolnom temennom lalôčiku (IPL) a v prednej premotorickej kôre. O týchto oblastiach je zo štúdií vykonaných na makakoch známe, že obsahujú zrkadliace neuróny. Ako zdôrazňujú van der Wel a kol. (v tlači), na spoločné kódovanie percepcie a akcie poukazuje aj to, že zákonitosti dynamiky pohybu platia aj pre percepciu. Ako ukázali (Viviani a Stucchi, 1989), pri percepcii sa uplatňuje zákon dvoch tretín (two-thirds power law), vzťah medzi rýchlosťou pohybu a jeho zakrivenosťou (keď ide auto do zákruty, spomalí). Podobne to platí pre Fittsov zákon, ktorý pojednáva o rýchlosti manévrovania objektu medzi dvoma prekážkami. Decety a Jeannerod (1995) ukázali, že tomuto zákonu podlieha nielen vnímanie, ale aj predstavovanie si pohybu. Grosjean a kol. (2007) dokonca zistili, že Fittsov zákon platí rovnako pri pozorovaní človeka aj robota.

Jedným z diskutabilných bodov teórie spoločného kódovania je zmysel pre určenie toho, kto pozorovaný pohyb vlastne vykonáva (Sato a Yasuda, 2005). Ak je totiž vnímanie a konanie kódované rovnako, vyvstáva otázka rozlíšenia seba a ostatných. Jedným z možných vysvetlení je vnútorné vyhodnocovanie senzomotorických vodítok na základe dopredných a inverzných modelov (Wolpert a Kawato, 1998). Dopredný model je vnútorný mechanizmus, ktorý predpovedá možné scenáre vyústenia každej vykonávanej akcie. Inverzný model naopak generuje predpovede o akciách, ktoré mohli viesť k práve pozorovanému výsledku. V prípade, že predpovede týchto dvoch modelov sedia, dochádza k uvedomeniu si seba samého ako vykonávateľa akcie. Ďalšie z vysvetlení čerpá skôr z vonkajších než vnútorných vodítok, a je založené na skutočnosti, že ľudia bez špeciálneho zamerania pozornosti prispôsobujú svoje akcie na základe vizuálnej spätnej väzby (Fournieret a Jeannerod, 1998). Otázku

rozlíšenia seba a ostatných rieši Jeannerod (2001) definovaním špeciálneho „kto-systému“, ktorý spája akčno-percepčné kódy s udalosťami v čase, a tak dopĺňa zatiaľ nešpecifikovanú informáciu o akcii. Najpravdepodobnejším scenárom je, ako tomu často býva, práve kombinácia rôznych mechanizmov, pričom kľúčovú úlohu, podobne ako pri mnohých iných kapacitách pravdepodobne zohráva pozornosť (Knott, 2011).

4 Zrkadliace neuróny

Zrkadliace neuróny boli pôvodne objavené v premotorickej kôre makakov, no systematickým skúmaním sa ukázalo, že sa nachádzajú v najrôznejších oblastiach mozgu. Ich základnou charakteristikou je, že reagujú – pália, nielen vtedy, keď opica konkrétne akciu vykonáva, ale aj keď ju pozoruje. Pôvodne boli zrkadliace neuróny považované za špeciálne jednotky, ktoré zabezpečujú porozumenie akciám. Neskôr sa však ukázalo, že ich funkcia závisí od toho, v ktorej časti kôry sa nachádzajú. Spoločnou vlastnosťou ostáva ich schopnosť reagovať nielen pri ich primárnej funkcii ale aj pri percepcii tejto funkcie. Čiastočná aktivita v motorických, ale aj iných oblastiach, sa dá chápať aj ako perceptuálne vyvolaná simulácia, ktorej cieľom je porozumenie pozorovanému (alebo aj počutému, a podobne). Zrkadliace neuróny boli priamym meraním len nedávno objavené aj u ľudí. Ukazuje sa, že ľudské zrkadliace neuróny majú širší „záber pôsobnosti“, reagujú napríklad aj na pantomímu a podieľajú sa na širokom množstve kognitívnych a sociálnych schopností.

4.1 Zrkadliace neuróny u opíc

Zrkadliace neuróny objavili Pellegrino a kol. (1992) priamym meraním aktivity neurónov vo ventrálnej premotorickej kôre (oblasť F5) opíc rodu *Macaca Nemestrina*. Táto oblasť obsahuje neuróny, ktoré sú aktívne pri konkrétnych pohyboch ruky a úst, ako je napríklad uchopovanie predmetu, držanie alebo trhanie. Mnoho z týchto neurónov reaguje iba na vykonávanie veľmi špecifických typov akcií (napríklad jemné uchopenie predmetu) a niektoré z nich sú aktivované vizuálnymi podnetmi (Rizzolatti a kol., 1988). Pellegrino a kolegovia uviedli, že niektoré neuróny v tejto oblasti pálili nielen, keď opica vykonávala nejakú akciu, ale aj keď pozorovala experimentátora ako vykonáva rovnakú akciu. Dialo sa to len v prípade, kedy bol objekt, s ktorým sa manipulovalo, celý čas na scéne a akcia prebehla do konca (napríklad, keď sa experimentátor natiahol za kúskom jedla a aj ho uchoпил). Zrkadliace neuróny nepálili pri vykonávaní nezmyselných akcií, napríklad pri mávaní rukami, alebo pri prezentácii samostatného objektu, dokonca ani v prípade, keď to bolo jedlo. Experimenty ukázali, že neurónov s takouto zrkadliacou vlastnosťou je v oblasti F5 približne 25%. Ich vlastnosti a experimenty s nimi boli

detailne opísané v prácach (Gallese a kol., 1996) a (Rizzolatti a kol., 1996).

Na základe prvých objavov sa predpokladalo, že úloha zrkadliacich neurónov spočíva v mapovaní pozorovaných akcií na motorický repertoár pozorovateľa zabezpečujúcim motorické porozumenie, tak ako predkladá teória spoločného kódovania. Táto funkcia bola pripísaná takzvanému parietálno-frontálnemu observačno-exekučnému mozgovému okruhu (Rizzolatti a Sinigaglia, 2010), ktorý obsahuje oblasť F5 v premotorickej kôre, PFG v prednej časti dolného temenného lalôčika (inferior parietal lobule, IPL) medzi oblasťami PF a PG, a prednú medzitemennú oblasť (anterior intraparietal area, AIP). Druhé dve vymenované oblasti sú spojené s oblasťou F5, no prijímajú aj vizuálnu informáciu vyššej úrovne z oblastí nachádzajúcich sa v hornej spánkovej brázde (superior temporal sulcus, STS) a dolnom spánkovom laloku (inferior temporal lobe, IT). STS, podobne ako F5, kóduje rôzne biologické pohyby, dokonca oveľa širšiu škálu než F5, no keďže táto oblasť nereaguje na motorické podnety, nemožno ju (a ani oblasť IT) považovať za pravú súčasť parietálno-frontálneho systému zrkadliacich neurónov.

Zrkadliace neuróny boli neskôr objavené aj v iných častiach mozgu makakov, napríklad v bočnej medzitemennej oblasti (lateral intraparietal area, LIP), ktorá sa podieľa na zdieľanej pozornosti (joint attention, Shepherd a kol., 2009) a tiež v prednej medzitemennej oblasti (ventral intraparietal area, VIP). Neuróny vo VIP kódujú taktilné a vizuálne podnety v osobnom priestore zvierat. Táto oblasť pravdepodobne reprezentuje motorické akcie, ktoré sa vťahujú na telo, nie na objekt ako u F5 (Ishida a kol., 2010). Napriek prvotným predpokladom, že zrkadliaca aktivita sa viaže len na F5 a ďalšie spomínané oblasti, boli zrkadliace neuróny objavené aj v primárnej motorickej kôre (M1) a chrbtových premotorických oblastiach (PMd) (Tkach a kol., 2007). Z vyššie uvedených, relatívne nových objavov vyplýva, že funkcia zrkadliacich neurónov nespočíva len v asociovaní pozorovania a vykonávania, ale ale že sa podieľajú na kognitívnych funkciách špecifických pre oblasť, v ktorej sa nachádzajú.

4.2 Zrkadliace neuróny u človeka

Aj keď dôkaz o existencii zrkadliacich neurónov u človeka bol podaný len nedávno, nepriame dôkazy ich existencie, ktoré sme spomenuli v časti 3, založené na desynchronizácii EEG μ -rytmu, pochádzajú už z päťdesiatych rokov minulého storočia (Cohen-Seat a kol., 1954; Gastaut a Bert, 1954). Ďalšia nepriama empirická podpora pre existenciu zrkadliacich neurónov u človeka zahŕňa štúdie na základe EEG (elektroencefalografia) a ďalších zobrazovacích metód MEG (magnetoencefalografia) a TMS (transkraniálna magnetická stimulácia), viac v (Rizzolatti a Craighero, 2004). Podľa týchto štúdií pozostáva centrum ľudského systému zrkadliacich neurónov z prednej časti IPL, dolnej časti

predústredného závitú (precentral gyrus) a dolnej časti dolného čelového závitú (inferior frontal gyrus, IFG).

Prvý dôkaz existencie zrkadliacich neurónov na základe priameho merania aktivity neurónov (single-cell recording) poskytli len nedávno Mukamel a kol. (2010), ktorí merali zrkadliacu aktivitu u 21 pacientov s farmakologicky neliečiteľnou epilepsiou. Keďže išlo primárne o meranie pre medicínske účely, sledované oblasti mozgu neobsahovali kritické oblasti záujmu, ako napríklad Brocovu oblasť, ktorá je možným homológom oblasti F5 u opíc (viď nižšie). Napriek tomu sa kolektívu podarilo namerať u niektorých neurónov rovnakú aktiváciu pri vykonávaní akcií rukami a emočných gest, ako pri ich sledovaní. Tento jav sa najviac prejavil v strednej časti čelového laloka (suplementárna motorická oblasť, SMA) a čo je zaujímavé, aj v strednej časti temenného laloka v hipokampálnych štruktúrach. Podľa Mukamela a kolegov by mohla aktivita v tejto oblasti počas pozorovania akcie zodpovedať za reaktiváciu pamäťových stôp uložených pri jej vykonávaní. Výsledky tejto štúdie potvrdzujú, že funkcia zrkadliacich neurónov závisí od oblasti, v ktorej sa nachádzajú.

Na rozdiel od opíc, zrkadliace neuróny u ľudí reagujú na široké spektrum podnetov, či už sú to nesmerované, bezvýznamné pohyby rúk (Fadiga a kol., 1995) alebo akcie vykonávané rôznymi neľudskými efektormi, ako je robotické rameno či samotný nástroj (napríklad kliešte), aj bez prítomnosti cieľového objektu (Peeters a kol., 2009). Ide tu teda o všeobecnejší a abstraktnejší mechanizmus, ktorý pravdepodobne zastrešuje oveľa viac kognitívnych funkcií než v prípade opíc.

4.3 Úloha zrkadliacich neurónov v kognícii

Za primárnu úlohu zrkadliacich neurónov bolo pôvodne považované perceptuálno-motorické kódovanie akcií, zabezpečujúce prepojenie medzi ich vykonávaním a pozorovaním, umožňujúce porozumieť pozorovaným pohybom a imitovať ich (Rizzolatti a Arbib, 1998). V tomto kontexte vznikol termín *systém zrkadliacich neurónov*, ktorý pomenovával vyššie spomínaný parietálno-frontálny okruh. Spolu s rastúcim množstvom ďalších empirických poznatkov bolo neskôr potrebné rozšíriť definíciu zrkadliacich neurónov z okruhu, zabezpečujúceho konkrétne funkcie, na všeobecnú funkciu a modálne nešpecifický mechanizmus. Zrkadliace neuróny sa v modernom ponímaní môžu nachádzať v rôznych častiach mozgu a pôsobiť ako „rezonátory“, spôsobujúce určitý druh simulácie vedúci k porozumeniu. Napríklad, Gallese a kol. (2004) spájajú na báze rôznych príkladov funkciu zrkadliacich neurónov s čítaním mysle a empatiou. Rizzolatti a Arbib (1998), na základe potenciálneho spoločného predchodcu medzi oblasťou F5 u makakov a Brocovou oblasťou u ľudí, ktorá je zodpovedná za produkciu reči (ale aj manuálnych gest), predpokladajú, že práve zrkadliace neuróny

zohrali úlohu v kultúrnej evolúcii komunikačného systému a neskôr ľudského jazyka.

V prospech návrhu, že zrkadliace neuróny v parietálno-frontálnych oblastiach slúžia ako substrát pre spoločné kódovanie percepcie a akcie, svedčí aj to, že zabezpečujú nielen porozumenie akciám ale aj výsledným cieľom akcií (Rizzolatti a Sinigaglia, 2010). Táto skutočnosť vyplýva z kvalitatívnej povahy zrkadliacich neurónov, ktoré môžeme rozdeliť na *úzko kongruentné* a *široko kongruentné*, podľa toho, či reagujú len na jednu konkrétnu motorickú akciu (napríklad uchopenie predmetu dvoma prstami) alebo na celú kategóriu akcií (napríklad uchopovanie predmetov celkovo). Práve tento druhý typ je výborným kandidátom na kódovanie samotného výsledku akcie, bez ohľadu na konkrétny postup, ktorý k vedie jeho vykonaniu.

Jeden zo zdrojov empirickej podpory pre kódovanie cieľov (Umiltà a kol., 2008) vychádza z experimentu s opicami, v ktorom opice uchopovali kusy jedla dvoma druhmi klieští, ktorých otváranie a zatváranie fungovalo presne naopak. Priame merania elektrickej aktivity neurónov v oblasti F5 našli neuróny, ktoré pálili rovnako pri týchto dvoch motoricky rôznych akciách zdieľajúcich jeden cieľ. Ďalším zdrojom bola fMRI štúdia s ľuďmi, ktorí sa narodili bez horných končatín (Gazzola a kol., 2007). V experimente sledovali rôzne akcie vykonávané rukami, nohami a ústami. Výsledky štúdie ukázali, že k motorickej rezonancii došlo u subjektov aj v prípadoch, kedy boli pozorované akcie vykonávané rukami a to vtedy, ak to boli schopní urobiť ústami alebo nohami. Skutočnosť, že niektoré zrkadliace neuróny reagujú skôr na cieľ akcií než na spôsob, akým sú vykonávané, možno dať priamo do súvisu s ideomotorickou teóriou akcie, ktorá hovorí, že akcie sú kódované na základe očakávania ich efektov (vnemov charakteristických pre vykonávanie), ale aj cieľ samotnej akcie.

Jedným z hlavných argumentov proti motorickej teórii porozumenia, aplikovateľným aj na teóriu spoločného kódovania, bola námietka (Hickok, 2008), že takáto hypotéza nie je v súlade s disociáciami pacientov s poruchami motoriky (Mahon a Caramazza, 2005), ktorí sú stále schopní akcie pomenovať, aj keď nie sú schopní ich vykonať. Čisto motorická teória porozumenia tiež nevysvetľuje to, akým spôsobom rozoznávame akcie, ktoré vykonávať nevieme. Hickok uvádza príklad so saxofonistom: v prípade, že sledujeme niekoho hrať na saxofóne, vieme, čo vykonáva aj bez toho, aby sme sami na saxofóne vedeli hrať. Ako reakciu na takéto námietky Rizzolatti a Sinigaglia (2010) navrhujú rozlišovať medzi dvoma typmi porozumenia akciám: motorickým a nemotorickým porozumením, pričom to nemotorické zahŕňa iba opisnú znalosť a poskytuje tak pozorovateľovi len hrubú informáciu o pozorovanej motorickej akcii. V tomto zmysle hlboké porozumenie hre na saxofóne môže nastať len v prípade, ak sám pozorovateľ má skúsenosť s hrou na takomto nástroji. Vzťah rozpoznávania, porozumenia, zrkadliacich neurónov a vizuálnej analýzy možno chápať nielen ako dichotómiu, ale aj v rámci kontinua (Farkaš a kol., 2011a, 2011b). Ďalším možným vysvetlením pre námietku so

saxofonistom je to, že v prípade tak perceptuálne výrazného objektu ako je saxofón, môže pri rozpoznávaní akcie dominovať rozpoznanie objektu a jednoduché odvodenie činnosti podľa neho. Je možné, že v prípade, kedy by sme mali sledovať iba pantomímu saxofonistu bez kontextu, bolo by problematické „uhádnuť“, čo sa na scéne vlastne deje.

5 Porozumenie jazyku ukotvené v akcii

Ako sme načrtli v predošlých častiach tejto kapitoly, na porozumení pozorovaným akciám sa s najväčšou pravdepodobnosťou podieľa motorická rezonancia, teda čiastočná aktivácia motorických oblastí bez vykonávania pohybu. Ako ukazujú výsledky neuropsychologických a kognitívno-lingvistických štúdií, k čiastočnej aktivácii motorických oblastí dochádza aj v prípade porozumenia jazyku, ktorý akcie pomenúva. Zdá sa, že rovnako ako pri pozorovaní a predstavovaní si akcií sa aj pri jazyku zapája senzomotorická simulácia. Jazyk teda nie je, ako sa dlho predpokladalo, modul oddelený od percepcie a akcie. Naopak, porozumenie jazyku, najmä konkrétnym slovám a vetám, je stelesnené a previazané s vnímaním a konaním. Stelesnený prístup k jazyku priamo rieši problém ukotvenia symbolov (Harnad, 1990). Významy slov sú ukotvené v ich používaní, v spomienkach na situácie, v ktorých boli použité a koordinované pomocou sociálnej interakcie (Steels, 2008). Keďže cieľom tohto článku je referovať predovšetkým o implementácii významov v mozgu a prepojení percepcie a akcie, nebudeme sa ďalej venovať problému ukotvenia symbolov ani teóriám popisujúcim ako vznikajú významy v jazyku a ako si ich osvojujú jeho hovorcovia. Viac o ukotvených reprezentáciach a sémantike nájde čitateľ napríklad v prácach Takáč (2009) alebo Farkaš a Rebrová (v tlači). V nasledujúcom texte predstavíme vybrané štúdie zaoberajúce sa prepojením jazyka pre akcie a ich reprezentáciami v mozgu.

Jedným z hlavných zdrojov empirickej podpory pre existenciu motorickej rezonancie pri spracovaní prirodzeného jazyka je kognitívna neuropsychológia. Tá sa zaoberá skúmaním aktivity mozgu pri rôznych kognitívnych úlohách. Pulvermüller a jeho kolegovia (Pulvermüller a kol., 2001; Pulvermüller, 2005; Hauk a kol., 2004) skúmali aktivitu motorickej kôry pri čítaní a počúvaní slovies pre rôzne pohyby vykonávané rôznymi časťami tela, napríklad zdvihnúť-ruka, lízať-ústa, kopat'-noha. Už v päťdesiatych rokoch minulého storočia vedci zistili, že motorická kôra je organizovaná somatotopicky. Podobne ako na mape, rôzne lokality motorickej kôry sú aktívne pre rôzne časti tela. Ústa a artikulačné svaly sú reprezentované v blízkosti bočnej brázdy, rameno a ruka na zadnobočných stranách, a noha a chodidlo na vrchu hlavy a v medzihemisférovej brázde (Penfield a Rasmussen, 1950).

Výsledky meraní aktivity mozgu pri počúvaní alebo čítaní pohybových slovies rôznymi zobrazovacími metódami ukázali, že pri spracovaní pohybových slovies dochádza k somatotopickej aktivácii v motorickej kôre, a to len 250 milisekúnd po zaznení/prečítaní slova. To znamená, že k motorickej rezonancii dochádza spontánne, ešte pred vedomým spracovaním podnetu. Je teda vysoko nepravdepodobné, že by pri spracovaní prirodzeného jazyka malo najprv dôjsť k transdukcii vnemov na symboly a následne k aktivácii motorickej kôry amodálnymi procesmi (pozri časť 1). Fakt, že k motorickej aktivácii dochádza ihneď, spontánne a somatotopickým spôsobom napovedá, že motorická rezonancia je súčasťou procesu porozumenia, nie akýsi jeho vedľajší produkt.

Ďalším zdrojom podpory pre stelesnené teórie spracovania jazyka sú výsledky rôznych behaviorálnych psycholingvistických experimentov. Glenberg a Kaschak (2002) objavili, že pri čítaní „prenosových“ viet dochádza k efektu kompatibility akcie a vety (action-sentence compatibility effect, ACE). Tento jav demonštruje, že motorická informácia ovplyvňuje porozumenie vetám o pohybe. Prenosové vety štandardne obsahujú dvoch aktérov (agens a patiens), objekt a ditranzitívne sloveso, ktoré hovorí o prenose objektu medzi nimi, napríklad „Janka mi podala knihu“. Úlohou probandov v experimente bolo takéto vety čítať a určovať, či ide o vety zmysluplné alebo nezmysluplné (napríklad, „Janka mi svietila pizzu“), pričom sa brali do úvahy reakčné časy pri zmysluplných vetách. Metodológia, pri ktorej probandi riešia úlohu zmysluplnosti, pričom sa sleduje iný fenomén, je v doméne experimentálnej psychológie veľmi bežná. Jej výhodou je, že probandi nevedia, o čo vlastne v experimente ide a preto nie sú ich reakcie ovplyvnené ich osobnými úsudkami o skúmanom jave.

Vzťah a interferencia (vzájomné obmedzovanie sa) porozumenia jazyku a motorickej činnosti bol v experimente skúmaný na základe pozície tlačidiel pre odpovede. Jedno z nich bolo vždy bližšie pri tele probanda a druhé zas ďalej, preto bolo potrebné robiť rôzne pohyby rukou pri odpovedaní. Ukázalo sa, že ak sa smer prenosovej vety nezhoduje so spôsobom, ako na ňu treba reagovať, je reakčný čas vyšší ako v prípade zhody. Ak mal napríklad proband posúdiť vetu „Janka mi podala knihu“, tým, že stlačí tlačidlo ktoré je ďalej od jeho tela („áno“) oproti tlačidlu pre opačnú odpoveď („nie“), reakčný čas bol dlhší ako v prípade, keby mal rukou robiť pohyb zhodný so smerom, ktorý implikuje veta. Zhodný pohyb by teda pre vetu typu „od Janky ku mne“ smeroval bližšie k telu probanda (tlačidlo „áno“ by muselo byť bližšie). Neskôr Glenberg a kol. (2008) ukázali, že sa ACE vzťahuje nielen na konkrétne (podávanie knihy), ale aj na abstraktné prenosové vety (napríklad odovzdanie myšlienky).

Podobné výsledky dosiahli Zwaan a Taylor (2006), ktorí skúmali vplyv vizuálnej informácie na porozumenie viet o pohybe. V rôznych experimentoch probandi sledovali pohybujúci sa objekt na obrazovke, počúvali vety obsahujúce rotačné pohyby a reagovali na ne krútením guľatej kľučky v smere a proti smeru hodinových ručičiek. Príkladom takejto vety môže byť: „Martin stíšil hlasitosť na

rádiu“ alebo „Janka otvorila uhorky“. Úlohou probandov bolo opäť určiť, či bola veta zmysluplná alebo nezmysluplná. Výsledky experimentov ukázali, že reakčné časy boli kratšie v prípade, že sa smer pohybu naznačeného vo vete zhodoval so smerom pohybu odpovede. Ak bola napríklad veta zmysluplná a naznačovala pohyb proti smeru hodinových ručičiek ako pri znižovaní hlasitosti, reakčný čas probandov bol kratší ak bola odpoveď „áno“ tiež proti smeru hodinových ručičiek. Smer pohybu objektu na obrazovke ovplyvňoval tak samotný pohyb ruky (aj bez jazykového podnetu) ako aj rýchlosť spracovania viet.

Porozumenie jazyku na základe senzomotorickej simulácie možno dať do súvisu aj so zrkadliacimi neurónmi. Takýto vzťah navrhli Gallese a Lakoff (2005), ktorí tvrdia, že vhodným kandidátom na neurálny substrát reprezentácie konceptov je práve senzomotorický systém. Toto tvrdenie sa nevzťahuje iba na konkrétne ale aj abstraktné koncepty, gramatické štruktúry a vzory pre usudzovanie. Základným mechanizmom ľudskej kognície je podľa Galleseho a Lakoffa takzvané *neurálne vyťažovanie* (neural exploitation). Centrálnym predpokladom teórie je, že vyššie kognitívne schopnosti ako jazyk alebo zložité usudzovanie, fungujú na rovnakej báze ako jednoduchšie mechanizmy, napríklad porozumenie pozorovaným akciám. Takéto tvrdenie možno dať do vzťahu aj s teóriou spoločného kódovania, implementovanou práve pomocou zrkadliacich neurónov. Spoločné kódy pre perceptuálno-motorické vlastnosti akcií možno potenciálne obohatiť aj o ich jazykové opisy.

Ako ukázali rôzne štúdie, vrátane tých, ktoré sme uviedli vyššie, porozumenie jazyku nie je fenomén sústredený do jedného špecializovaného centra v mozgu, ale distribuovaný v rôznych modalitách. Je možné, že neexistuje žiadne takéto špecializované centrum, ako tvrdia Gallese a Lakoff. V kontexte ideomotorickej teórie teda môžeme uvažovať nielen o spoločnom kódovaní pre percepciu a akciu, ale aj pre ich jazykové opisy. Podobná, nedávno formulovaná teória z dielne Alistaira Knotta (2011) predpokladá, že vety, ktoré popisujú akcie možno chápať ako zoznamy senzomotorických sekvencií, z ktorých sa akcie skladajú. Nasvedčuje tomu fakt, že takéto opisné vety majú v rôznych jazykoch jednotnú logickú formu. Vety v prirodzenom jazyku môžeme teda chápať ako sekvencie pozornosťných operácií, z ktorých sa skladajú vnemy.

6 Záver

Teórie stelesnenej kognície, na rozdiel od klasických symbolových teórií predpokladajú, že porozumenie, rozmyšľanie, usudzovanie, jazyk a ďalšie vyššie kognitívne schopnosti fungujú prostredníctvom senzomotorickej simulácie. Predpokladá sa, že podobne funguje aj reprezentácia a iniciácia akcií. Ideomotorická teória predpokladá, že podnetom pre vykonanie akcie je očakávanie jej

perceptuálnych dôsledkov. Akcie sú v tomto rámci reprezentované na základe zmyslových vnemov, ktoré pri nich bežne zažívame, ale aj na základe cieľov, do ktorých akcie bežne ústia. Implikáciou ideomotorickej akcie je teória spoločného kódovania, ktorá predpokladá, že akcia a percepcia sú kódované pomocou multimodálnych reprezentácií. Zhrnuli sme históriu ideomotorickej teórie siahajúcu až do začiatku 19. storočia, jej modernú verziu a aplikácie. Ďalej sme uviedli teóriu spoločného kódovania a výsledky psychologických experimentov nasvedčujúce tomu, že akcia a percepcia sú naozaj prepojené, nie oddelené. Predstavili sme zrkadliace neuróny a ich základnú vlastnosť, motorickú rezonanciu, ako potenciálny neurálny korelát stelesneného porozumenia akciám a spoločného kódovania perceptov a akcií. Čiastočná aktivita v motorických, ale aj iných oblastiach, sa dá chápať aj ako perceptuálne vyvolaná simulácia, ktorej cieľom je porozumenie vnímanému dejú. Ukazuje sa, že na základe senzomotorickej simulácie funguje aj porozumenie jazyku. Predstavili sme výsledky vybraných neuropsychologických a kognitívno-lingvistických štúdií, ktoré potvrdili, že k čiastočnej aktivácii motorických oblastí dochádza aj v prípade porozumenia jazyku, ktorý akcie pomenúva.

Použitá literatúra

- Aglioti, S., Cesari, P., Romani, M. Urgesi, C. (2008): Action anticipation and motor resonance in elite basketball players, *Nature Neuroscience* **11**(9), 1109–1116.
- Allers, R. Scheminzky, F. (1926): Über Aktionsströme der Muskeln bei motorischen Vorstellungen und verwandten Vorgängen, *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* **212**(1), 169–182.
- Barsalou, L. (1999): Perceptual Symbol Systems, *Behavioral and Brain Sciences* **22**(04), 577–660.
- Borghia, A., Gianelli, C. Scorolli, C. (2010): Sentence Comprehension: Effectors and Goals, Self and Others. An Overview of Experiments and Implications for Robotics, *Frontiers in Neurorobotics* **4**.
- Carpenter, W. (1852): On the influence of suggestion in modifying and directing muscular movement, independently of volition, in *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain*, Vol. 1, pp. 147–153.
- Chomsky, N. (1965): *Aspects of the Theory of Syntax*, The MIT press.
- 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.
- Cross, E., Hamilton, A. Grafton, S. (2006): Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers, *Neuroimage* **31**(3), 1257–1267.
- Decety, J. Jeannerod, M. (1995): Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts law hold in motor imagery? , *Behavioural Brain Research* **72**(1-2), 127–134.

- Ehrsson, H., Geyer, S. Naito, E. (2003): Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations, *Journal of Neurophysiology* **90**(5), 3304.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G. Rizzolatti, G. (1995): Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study, *Journal of neurophysiology* **73**(6), 2608.
- Farkaš, I., Malý, M. Rebrová, K. (2011a): Mirror neurons – theoretical and computational issues, *Technická správa TR-2011-28* .
- Farkaš, I., Malý, M. Rebrová, K. (2011b): Porozumenie motorickým akciám – hypotéza kontinua, *Kognice a umělý život XI* .
- Farkaš, I. Rebrová, K. (v tlači): Meaning and its representation from the perspective of grounded cognition, *Kognice 2010* .
- Fodor, J. (1975): *The Language of Thought*, Harvard University Press.
- Fourneret, P. Jeannerod, M. (1998): Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects, *Neuropsychologia* **36**(11), 1133–1140.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. Rizzolatti, G. (1996): Action recognition in the premotor cortex, *Brain: A Journal of Neurology* **119**, 593–609.
- Gallese, V., Keysers, C. Rizzolatti, G. (2004): A unifying view of the basis of social cognition, *Trends in Cognitive Sciences* **8**(9), 396–403.
- Gallese, V. Lakoff, G. (2005): The brains concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge, *The Multiple Functions of Sensory-Motor Representations* **22**(3/4), 455.
- Gastaut, H. Bert, J. (1954): EEG changes during cinematographic presentation; moving picture activation of the EEG., *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* **6**(3), 433.
- Gazzola, V., van der Worp, H., Mulder, T., Wicker, B., Rizzolatti, G. Keysers, C. (2007): Aphasics born without hands mirror the goal of hand actions with their feet, *Current Biology* **17**(14), 1235–1240.
- Gibson, J. (1977): The Theory of Affordances, *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology* pp. 67–82.
- Glenberg, A. Kaschak, M. (2002): Grounding language in action, *Psychonomic Bulletin & Review* **9**(3), 558.
- Glenberg, A., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D. Buccino, G. (2008): Processing abstract language modulates motor system activity, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* **61**(6), 905–919.
- Greenwald, A. (1970): Sensory feedback mechanisms in performance control: With special reference to the ideo-motor mechanism, *Psychological Review* **77**(2), 73–99.
- Grosjean, M., Shiffrar, M. Knoblich, G. (2007): Fitts law holds for action perception, *Psychological Science* **18**(2), 95.

- Harless, E. (1861): Der Apparat des Willens, *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik* **38**, 50–73.
- Harnad, S. (1990): The symbol grounding problem, *Physica D: Nonlinear Phenomena* **42**(1-3), 335–346.
- Hauk, O., Johnsrude, I. Pulvermüller, F. (2004): Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex, *Neuron* **41**(2), 301–307.
- Hecht, H., Vogt, S. Prinz, W. (2001): Motor learning enhances perceptual judgment: A case for action-perception transfer, *Psychological Research* **65**(1), 3–14.
- Herbart, J. (1816): *Lehrbuch zur Psychologie*, Unzer, Königsberg, Germany.
- Herbart, J. (1825): *Psychologie als Wissenschaft neu gegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik. Zweiter, analytischer Teil*, Unzer, Königsberg, Germany.
- Hickok, G. (2008): Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans., *Journal of Cognitive Neuroscience* **21**(7), 1229–43.
- 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**(05), 849–878.
- Iacoboni, M. (2009): Imitation, empathy and mirror neurons, *Annual Review of Psychology* **60**, 653–670.
- Ishida, H., Nakajima, K., Inase, M. Murata, A. (2010): Shared mapping of own and others bodies in visuotactile bimodal area of monkey parietal cortex, *Journal of Cognitive Neuroscience* **22**(1), 83–96.
- James, W. (1890): *The Principles of Psychology, Vols. I, II.*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Jeannerod, M. (2001): Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition, *Neuroimage* **14**(1), S103–S109.
- Knoblich, G. Flach, R. (2001): Predicting the effects of actions: Interactions of perception and action, *Psychological Science* **12**(6), 467.
- Knoblich, G., Seigerschmidt, E., Flach, R. Prinz, W. (2002): Authorship effects in the prediction of handwriting strokes: Evidence for action simulation during action perception, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A* **55**(3), 1027–1046.
- Knott, A. (2011): *Sensorimotor Cognition and Natural Language Syntax*, The MIT Press.
- Laycock, T. (1845): *On the Reflex Function of the Brain*, Adlard, London, England.
- Lotze, R. (1852): *Medizinische Psychologie oder Physiologie der Seele*, Leipzig, Germany: Weidmannsche Buchhandlung pp. 287–325.
- MacKay, D. (1982): The problems of flexibility, fluency, and speed-accuracy trade-off in skilled behavior, *Psychological Review* **89**(5), 483–506.
- Caramazza, A. (2005): The orchestration of the sensory-motor systems: Clues from neuropsychology, *Cognitive Neuropsychology* **22**(3/4), 480–494.

- Moede, W. (1920): *Experimentelle Massenpsychologie*, Hirzel, Leipzig, Germany.
- Morin, R. Grant, D. (1955): Learning and performance on a key-pressing task as function of the degree of spatial stimulus-response correspondence, *Journal of Experimental Psychology* **49**(1), 39–47.
- Mukamel, R., Ekstrom, A., Kaplan, J., Iacoboni, M. Fried, I. (2010): Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions, *Current biology* **20**(8), 750–756.
- Oberman, L. Ramachandran, V. (2007): The simulating social mind: The role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders, *Psychological Bulletin* **133**(2), 310.
- Peeters, R., Simone, L., Nelissen, K., Fabbri-Destro, M., Vanduffel, W., Rizzolatti, G. Orban, G. (2009): The representation of tool use in humans and monkeys: common and uniquely human features, *Journal of Neuroscience* **29**(37), 11523.
- Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. Rizzolatti, G. (1992): Understanding motor events: a neurophysiological study, *Experimental brain research* **91**(1), 176–180.
- Penfield, W. Rasmussen, T. (1950): *The Cerebral Cortex of Man*, Macmillan.
- Pfeifer, R. Scheier, C. (1999): *Understanding Intelligence*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Prinz, W. (1997): Perception and action planning, *European Journal of Cognitive Psychology* **9**(2), 129–154.
- Pulvermüller, F. (2005): Brain mechanisms linking language and action, *Nature Reviews Neuroscience* **6**(7), 576–582.
- Pulvermüller, F., Härle, M. Hummel, F. (2001): Walking or Talking? : Behavioral and Neurophysiological Correlates of Action Verb Processing, *Brain and Language* **78**(2), 143–168.
- Repp, B. Knoblich, G. (2007): Action can affect auditory perception, *Psychological Science* **18**(1), 6.
- Richter, H. (1954): Über ideomotorische Phänomene, *Zeitschrift für Psychologie* **157**, 201–257.
- Richter, H. (1957): *Zum Problem der ideomotorischen Phänomene*, Vol. 161.
- Rizzolatti, G. Arbib, M. (1998): Language within our grasp, *Trends in neurosciences* **21**(5), 188–194.
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G. Matelli, M. (1988): Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey, *Experimental Brain Research* **71**(3), 491–507.
- Rizzolatti, G. Craighero, L. (2004): The mirror-neuron system., *Annual Review of Neuroscience* **27**, 169–92.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. Fogassi, L. (1996): Premotor cortex and the recognition of motor actions, *Cognitive brain research* **3**(2), 131–141.
- Rizzolatti, G. Sinigaglia, C. (2010): The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations, *Nature Reviews Neuroscience* **11**(4), 264–74.

- Sato, A. Yasuda, A. (2005): Illusion of sense of self-agency: discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership, *Cognition* **94**(3), 241–255.
- Searle, J. (1980): Minds, brains, and programs, *Behavioral and brain sciences* **3**(03), 417–424.
- Sebanz, N. Shiffrar, M. (2009): Detecting deception in a bluffing body: The role of expertise, *Psychonomic bulletin & review* **16**(1), 170–175.
- Shepherd, S., Klein, J., Deaner, R. Platt, M. (2009): Mirroring of attention by neurons in macaque parietal cortex, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106**(23), 9489.
- Shin, Y., Proctor, R. Capaldi, E. (2010): A Review of Contemporary Ideomotor Theory, *Psychological Bulletin* **136**(6), 943–974.
- Steels, L. (2008): The symbol grounding problem has been solved, so whats next, *Symbols and embodiment: Debates on meaning and cognition* pp. 223–244.
- Stock, A. Stock, C. (2004): A short history of ideo-motor action, *Psychological Research* **68**(2), 176–188.
- Takáč, M. (2009): Konštruktivistický prístup k štúdiu kognície, *Umelá inteligencia a kognitívna veda I*. pp. 395–424.
- Thorndike, E. (1913): Ideo-motor action, *Psychological Review* **20**, 91–106.
- Tkach, D., Reimer, J. Hatsopoulos, N. G. (2007): Congruent activity during action and action observation in motor cortex., *The Journal of Neuroscience* **27**(48), 13241–50.
- Umiltà, M. a., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., Jezzini, a., Gallese, V. Rizzolatti, G. (2008): When pliers become fingers in the monkey motor system., *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **105**(6), 2209–13.
- van der Wel, R., Sebanz, N. Knoblich, G. (v tlačí), Action Perception From a Common Coding Perspective, *Visual Perception of the Human Body in Motion* .
- Van Elk, M., Van Schie, H., Hunnius, S., Vesper, C. Bekkering, H. (2008): Youll never crawl alone: neurophysiological evidence for experience-dependent motor resonance in infancy, *Neuroimage* **43**(4), 808–814.
- Viviani, P. Stucchi, N. (1989): The effect of movement velocity on form perception: Geometric illusions in dynamic displays, *Perception and Psychophysics* **46**(3), 266–74.
- Wilson, M. (2002): Six views of embodied cognition, *Psychonomic Bulletin & Review* **9**(4), 625–636.
- Wolpert, D. Kawato, M. (1998): Multiple paired forward and inverse models for motor control, *Neural Networks* **11**(7-8), 1317–1329.
- Ziemke, T. (2003): Whats that thing called embodiment, pp. 1305–1310.
- Zwaan, R. Taylor, L. (2006): Seeing, acting, understanding: Motor resonance in language comprehension, *Journal of Experimental Psychology-General* **135**(1), 1–11.