

Recipročná kauzalita medzi myšliou a mozgom z neurovednej perspektívy*

Igor Farkaš

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Univerzita Komenského v Bratislave

a

Ústav merania SAV v Bratislave

Abstrakt: Vo svetle pribúdajúcich biologických poznatkov ponúkame neurovedný pohľad na odveký problém vzťahu mysle a mozgu. Prezentovaný pohľad je redukcionistický v tom zmysle, že mentálne procesy chápeme ako dynamiku neurálnych procesov, a je súčasne dualistický v tom zmysle, že postuluje dve úrovne činnosti mozgu, ktoré sa vzájomne ovplyvňujú. Vzťah mozgu a mysle je transformovaný na vzťah neurónov k mozgu ako celku. Kauzalita zdola nahor sa prejavuje existenciou emergentných javov v mozgu, zatiaľ čo argumenty pre kauzalitu zhora nadol vychádzajú z experimentálnych poznatkov o vplyve kognitívnych procesov na aktivitu neurónov ako aj z modelovania mozgu ako komplexného dynamického systému. Ponúknutá perspektíva však nemá ambíciu byť úplnou odpoveďou na odveký problém vzťahu mysle a mozgu.

1 Úvod

Vzťah mozgu a mysle bol oddávna výsostnou doménou filozofov, no v polovici 20. storočia skúmanie tohto zložitého problému nadobudlo interdisciplinárny charakter, pretože sa prenieslo aj do portfólia psychológov, neurobiológov či informatikov. Principiálna otázka sa týka vzťahu medzi fyzikálnymi udalosťami, ktoré sa dejú v mozgu a mentálnymi udalosťami, ktoré prebiehajú v mysli. Dualizmus a monizmus predstavujú dve základné skupiny názorov, pričom každá má svoje vnútorné členenie. *Dualistické* názory postulujú existenciu dvoch odlišných svetov alebo úrovní reality. Už Descartes tvrdil, že tieto dva svety sa kvalitatívne líšia, pretože materiálne objekty sú konkrétne, majú vlastnosti a sú objektívne pozorovateľné, zatiaľ čo mentálne entity sú abstraktné, nemajú vlastnosti, a sú subjektívne vnímané. Descartes bol zástancom viery v *paralelnú* existenciu dvoch svetov, zatiaľ čo iný dualistický smer – *interakcionizmus* – postuluje obojsmerné kauzálne vzťahy medzi oboma svetmi (úrovňami). Dualistický názor má svoje odpodstatnenie a argumenty preň možno hľadať v subjektívnosti zážitkov človeka i v samotnom fakte, že okolitý svet je plný dichotómií. Tento pohľad je však problematický, pretože kvôli kvalitatívnym rozdielom nedokážeme vedecky vysvetliť vzájomné ovplyvňovanie oboch úrovní, predovšetkým vplyv mysle na mozog. V prospech existencie kauzálnej interakcie hovoria nespočetné skúsenosti každého z nás. Koniec koncov, už pred pár storočiami sa vedelo, že poškodenia v mozgu vedú k poruchám v správaní a podobne, že napr. negatívne psychologické stavy (napr.

* V zborníku Kelemen J., Kvasnička V. a Pospíchal J. (Ed.), Jazyk a kognícia. Slezská univerzita v Opavě, str., 117-124, 2005.

dlhodobá depresia) môžu mať za následok fyzické chradnutie jedinca. Ako by teda mohol fungovať obojsmerný kauzálny vzťah medzi mysľou a mozgom?

Obojsmernú kauzalitu je problematické vysvetliť aj pomocou *monistického* pohľadu, ktorý postuluje existenciu len jednej úrovne reality, jedného sveta. Aj keď *idealizmus* má tiež svojich zástancov (jedinou realitou sú len mentálne entity), dominantné postavenie tu má *materializmus*, ktorý prepokladá len jednosmerný kauzálny vplyv – vplyv mozgu na myseľ. Mentálne stavy chápe ako epifenomén, t.j. sprievodné javy subjektívne vnímané jedincom. Absolutistická verzia materializmu nazvaná *elimináčny* materializmus dokonca predpokladá, že mentálna úroveň je v skutočnosti redundantná, a že na úplný popis javu stačí materiálna úroveň (redukcionizmus). Aj keď takýto klasický redukcionistický pohľad má aj v súčasnosti svojich zástancov, ostáva dosť problematickým, pretože v absolutistickom ponímaní smeruje k redukcii ad absurdum (Churchland, 1989).

Vznik počítačov v polovici minulého storočia vniesol do problému novú doktrínu vzťahu myseľ-mozog – *funkcionalizmus*, ktorá chápe mentálne udalosti nezávisle od ich implementácie, len vo vzťahu k ich funkcii v rámci fyzikálneho systému (mozgu). Vďaka tejto doktríne sa začali hľadať spoločné črty i rozdiely medzi počítačom a človekom, mozog ktorého považujú funkcionalisti tiež za výpočtový stroj. Výhodou funkcionalistického pohľadu v porovnaní s klasickým dualizmom je to, že aj keď tiež postuluje dve úrovne reality, myseľ nechápe ako nemateriálnu vec, ktorej podstatu je ťažké opísať, ale ako funkčný stav mozgu, proces. Na druhej strane, hľadaním paralel s počítačom prispel funkcionalizmus k rozvoju tradičnej kognitívnej vedy, ktorá sa snaží opísať mentálne procesy ako výpočtové procesy, avšak nezávisle od ich implementácie. Otvorenou ostáva otázka, či mentálne procesy sú exaktne modelovateľné, pretože neurobiologické poznatky naznačujú, že neexistuje spoľahlivý spôsob ako separovať fyzikálny model mozgu od implementačného substrátu, čo je kvalitatívny rozdiel v porovnaní s počítačom (Bell, 1999).¹ Napriek tomu v našej práci sa budeme pozerať na mozog ako na systém, ktorý je možné aproximatívne modelovať, pretože v princípe každý model postihuje iba niektoré aspekty (premenné) modelovanej reality. Dôležitá je však vhodná úroveň opisu. Za takú považujeme úroveň neurónov, pretože tá využíva koncepty blízke biologickej realite na prijateľnej úrovni abstrakcie.

Klasická kognitívna veda začala vplyvom rozvoja neurobiológie v posledných dekádach rokov čeliť kritike i z vlastných radov, pretože nezohľadňovala fyzikálnu realizáciu študovaného kognitívneho systému, čo Harnad (1990) definoval ako problém ukotvenia symbolov (symbol grounding problem). Vznikla tu alternatíva, teória tzv. *stelesnenej* (embodied) kognitívnej vedy, ktorá naopak kladie dôraz na vplyv biologickej povahy mozgu na jeho mentálne prejavy (Chrisley a Ziemke, 2000). Spôsob, akým by sa kognitívne (mentálne) stavy mali stelesniť, však ostáva predmetom diskusie, nakoľko bolo navrhnutých viacero spôsobov stelesnenia (Ziemke, 2003). Spoločné však majú to, že formálna úroveň popisu by mala byť postavená na konceptoch relevantných pre reprezentovanie a spracovanie neurálnej informácie v mozgu, pričom tieto reprezentácie sú spriahnuté s okolitým prostredím, v ktorom

1 Napríklad, pri modelovaní na celulárnej úrovni (pomocou impulzných neurónov) narážame na skutočnosť, že charakteristiky neurónov závisia od subcelulárnych faktorov ako sú napr. vlastnosti iónových kanálov, neurotransmiterov a neuromodulátorov. Pri prechode na nižšiu úroveň sa problém opakuje, a navyše sa mozog stáva kvôli komplexnosti prakticky nemodelovateľný.

organizmus funguje.

Nárast vplyvu stelesnenej kognície podporil i rozmach v oblasti umelých neurónových sietí, ktoré v polovici 80. rokov minulého storočia začali nahrádzať tradičné symbolické modely kognície. Umelé neurónové siete nielenže dokázali vysvetliť rôzne kognitívne prejavy človeka, napr. spracovanie jazyka, pričom svojou podstatou boli bližšie k biologickej realite, ale častokrát boli i vo väčšej zhode s psychologickými dátami v porovnaní so symbolickými modelmi (pozri prehľad v Christiansen a Chater, 1999). Druhou hybnou silou boli poznatky z hľadania neurálnych korelátov kognitívnych procesov u človeka (ako aj u vyšších zvierat), ktoré odhaľujú fyzikálnu stránku implementácie týchto procesov v mozgu. S týmito súvisiace modely impulzných neurónových sietí predstavujú ďalší krok smerom k biologickej povahe kognície, pretože ponúkajú ešte exaktnejší neurálny popis procesov asociovaných s mentálnymi procesmi.²

Je teda evidentné, že neurobiológia hrá významnú úlohu pri formovaní moderného pohľadu na vzťah myseľ-mozog. Pohľad, ktorý tu budeme prezentovať bude vychádzať práve z neurobiologických poznatkov o činnosti mozgu a o experimentoch zameraných na sledovanie mentálnych stavov súvisiacich s touto činnosťou. Prezentovaný pohľad však nebude tradične monistický ani dualistický, ale bude mať črty z oboch tradičných pohľadov. Bude monisticko-redukcionistický v tom zmysle, že budeme tvrdiť, že činnosť mysle sa dá v princípe redukovať na činnosť mozgu a môže byť vysvetlená činnosťou mozgu (aj keď veľmi zložito). Bude však súčasne dualisticko-interakcionistický v tom zmysle, že mentálnu úroveň nebudeme chápať ako epifenóm, ale ako veľmi užitočný (ak nie nevyhnutný) prostriedok slúžiaci na “transparentné” a zjednodušené pomenovanie zložitých, kognitívne relevantných dynamických stavov mozgu, a ktorý navyše bude mať kauzálny vplyv na neurálnu aktivitu. Inými slovami, redukcionistický aspekt zahŕňa to, že postuluje len jednu, objektívne existujúcu, fyzikálnu úroveň popisu, a tou je mozog. V rámci tejto úrovne však rozlišujeme jeho jednotlivé elementy (neuróny alebo malé populácie neurónov), ktoré sú charakterizované neurálnymi aktivitami (udalosťami) a mozog ako systém (charakterizovaný interagujúcimi kortikálnymi oblasťami), ktorého globálna aktivita determinuje mentálne (kognitívne) stavy. “Vertikálny” vzťah zdola-nahor (zhora-nadol) je teda “horizontálnym” vzťahom častí k celku a naopak. Budeme však používať “vertikálnu” metaforu.

2 Rozvoj kognitívnej neurovedy

Snaha o vysvetlenie neurobiologickej podstaty mentálnych stavov vrátane vedomia bola zameraná na hľadanie tzv. neurálnych korelátov týchto mentálnych stavov, čo sa dá realizovať hlavne vďaka rozvoju techník zobrazovania mozgu (Frith, Perry, Lumer,

2 Napríklad, v umelej neurónovej sieti proces rozpoznania nejakého objektu možno modelovať ako konvergenciu aktivít neurónov do nejakého pevného bodu (atraktora). V impulznej neurónovej sieti takýto sa takýto atraktor modeluje ako dynamicky stabilný stav, charakterizovaný populáciou neurónov so synchronizovanou aktivitou. V oboch modeloch teda kontrastuje stacionárny stav s dynamickým stavom, pričom ten druhý má väčšiu výpovednú hodnotu, pretože dokáže vysvetliť aj zložitejšie fenomény ako napr. prechod k inej stabilnej konfigurácii, ktorá môže napríklad vzniknúť pri pozorovaní preceptuálne nejednoznačných obrázkov (mladá deva verus stará pani).

1999). V oblasti kognitívnej neurovedy existuje v súčasnosti množstvo empirických výsledkov, ktoré poukazujú na to, že kognitívne procesy sú sprevádzané prechodnou integráciou početných, široko distribuovaných, interagujúcich oblastí v mozgu (napr. Damasio, 1990; Tononi, Edelman, 1998; Varela a spol. 2001; Engel, Singer, 2001; pozri aj Beňušková, 2002). Najpriateľnejším mechanizmom umožňujúcim takúto integráciu je vytvorenie dynamických spojení pomocou *synchrónnej aktivity* neurónov v rôznych frekvenčných pásmach. Synchronicita tu znamená vybíjanie sa (pálenie) neurónov v presnom fázovom závесе (phase-locking), čo sa dá merať a kvantifikovať modernými štatistickými metódami (Lachaux a spol., 1999). Synchronizovaná aktivita bola pozorovaná v rôznych priestorových škálach. Krátkodosahové synchronizácie sa týkajú jednej sensorickej modality a sú zrejme potrebné na perceptuálne viazanie príznakov (feature binding) vnímaného objektu, aby mohol vzniknúť koherentný vnem (Gray a spol., 1989). Boli však pozorované i ďalekodosahové synchronizácie, ktoré zahŕňajú vzdialené kortikálne oblasti, a ktoré sprevádzajú rôzne kognitívne úlohy (Roelfsema a spol., 1997; Rodriguez a spol., 1999). Tieto výsledky sú kompatibilné aj so všeobecnejšou predstavou o synchronizácii, ktorá zahŕňa všetky dimenzie kognitívneho aktu, vrátane asociatívnej pamäti, emocionálneho podfarbenia a motorického plánovania (Damasio, 1990, Varela a spol., 2001). Zdôraznenie synchrónnej aktivity implikuje, že odpoveď na podstatu mentálnych stavov treba hľadať nie v štrukturálnych vzťahoch aktivovaných oblastí mozgu, ale v ich dynamickom vzorci správania. Tieto vzorce vznikajú v časovom rozpätí rádovo stoviek milisekúnd, čo je čas potrebný na vznik kognitívneho vnemu.³

3 Recipročná kauzalita

Je faktom, že súčasné poznatky hovoria o neurálnych korelátoch mentálnych stavov, a nie o kauzálnych vplyvoch na tieto stavy. Hľadanie korelátov je skromnejší zámer, cieľom by malo byť nájdenie neurálnych procesov, ktoré sú nevyhnutné pre vznik mentálnych stavov, a ktoré ich teda kauzálny ovplyvňujú. Na to by sme však potrebovali uskutočniť experimenty, v ktorých by sme ovplyvňovali synchronizáciu neurónov a sledovali zmeny v správaní jedinca. Experimenty takéhoto druhu sa zatiaľ robili len na hmyze, na ktorom bolo ukázané, že narušenie synchronizácie je spôsobí zníženú schopnosť rozoznávať vône (Stopfer a spol., 1997).

Napriek absencii experimentálneho dôkazu kauzality zdola nahor môžeme argumentovať o tomto vplyve na formálnej úrovni opisu. Dynamické ponímanie neurálnych procesov dáva totižto priestor pre kauzálnosť zdola nahor, ak ju budeme intepretovať ako *emergenciu* javov spôsobených interakciou neurónov a pozorovaných na globálnej (mentálnej) úrovni. Za emergentný jav môžeme považovať akýkoľvek jav, ktorý vzniká (v zásade nelineárnou) interakciou elementov a je zreteľný, pozorovateľný na vyššej úrovni. V prírode existuje veľa systémov s prejavmi samoorganizácie, v ktorých vďaka vzájomným (synergickým) interakciám medzi elementami systému vznikajú emergentné javy (Haken 1977). Toto platí aj v prípade mozgu, kde emergentnými javmi mozgu môžu byť práve kognitívne stavy. Keďže sa predpokladá, že

3 Tu vidieť časovú rozdielnosť oboch úrovní, pretože aktivity neurónov sa menia oveľa rýchlejšie (neuróny pracujú v časovom rozpätí niekoľkých milisekúnd).

kognitívny stav “je o niečom”, obyčajne jeho vzniku predchádza nejaký externý stimul (napr. vizuálny), ktorý vyústi v koherentnú reprezentáciu v mozgu (synchronne oscilácie). Nie všetky mentálne stavy však vyžadujú externý stimul (napr. môžem rozjímať o niečom ležiac v posteli v tmavej miestnosti). V takýchto prípadoch pravdepodobne mozog “loví” vo svojich amodálnych (od zmyslových orgánov nezávislých) reprezentáciách, ktoré mu sprostredkujú minulé zážitky (Kráľ, Hulín, 2001). Skrátka, v každom momente musí mať mozog niečo na programe, teda spracovávať externé alebo interné podnety.⁴ Emergentné javy možno i simulovať pomocou impulzných neurónových sietí, a to indukovaním oscilácií v rôznych frekvenčných pásmach, v závislosti od parametrov modelu (Izhikevich, 2003; Gerstner, Kistler, 2002).

Ako je to však s kauzalitou zhora nadol? Naše osobné skúsenosti nás jednoznačne utvrdzujú v tom, že naša myseľ rozhoduje o tom, čo budeme robiť, teda aké neurálne aktivity sa majú spustiť. V kontexte prezentovaného pohľadu to teda znamená, že by mal existovať spôsob, akým synchronizovaný systém determinuje, čo budú robiť jeho časti. Tu môžeme hľadať podporné argumenty v modelovaní neurálnych systémov na mikroúrovni, ale aj všeobecne komplexných dynamických systémov na makroúrovni.

Už samotný fakt, že priemerný kortikálny neurón má rádovo 10.000 vstupov od iných neurónov hovorí, že veľké množstvo iných neurónov ovplyvňuje daný neurón ako má reagovať. Okrem toho, podľa súčasnej predstavy biologický neurón funguje ako integrátor vstupných signálov, a súčasne ako detektor koincidií na vstupoch (výraznejšie reaguje na súčasný príchod viacerých impulzov v rámci krátkeho časového okna), z čoho vyplýva citlivosť na temporálne charakteristiky (König, Engel, Singer, 1996). Nedávne simulácie však naznačujú, že zvýšenie temporálneho rozlíšenia v modelovom neuróne možno dosiahnuť, ak je neurón vyvážený (balanced), čo znamená správny pomer vstupnej excitácie a inhibície (Salinas, Sejnowski, 2001). Vďaka vyváženosti je neurón schopný reagovať aj na impulzné podnety, ktoré sa prejavujú na časovej škále oveľa vyššej než je membránová časová konštanta neurónu (ktorá determinuje rýchlosť zmeny membránového napätia neurónu). Inými slovami, vyvážený neurón je oveľa citlivejší na korelácie na vstupoch než nevyvážený neurón, pretože tie ovplyvňujú fluktuácie sumárneho synaptického vstupu,⁵ ktorý vybudí neurón k odozve. Experimentálne a teoretické dáta indikujú, že korelované fluktuácie by mohli byť dôležité pri kortikálnych procesoch akým je napr. pozornosť. Tá napomáha pri synchronizácii v somatosenzorickej kôre (Steinmetz a spol., 2000) alebo pri vizuálne evokovanej aktivite (Fries a spol., 2001). Taktiež bolo pozorované, že stav očakávania podnetu môže prispieť k synchronizácii v motorickej kôre (Riehle a spol., 1997).

Druhý argument pre kauzalitu zhora nadol poskytuje teória komplexných dynamických systémov. Na základe experimentálne verifikovaného teoretického modelu navrhol Kelso (1995) koordinačnú dynamiku (coordination dynamics) ako integrujúci rámec kognitívnych funkcií. Tento prístup postuluje existenciu tzv. *kolektívnych premenných* (resp. parametrov usporiadania) a ich dynamiky, ktoré sa snaží identifikovať, a ktoré ovplyvňujú správanie jednotlivých komponentov systému. Smer pôsobenia celku na jeho časti má kvalitatívne odlišný charakter než emergentné prejavy

4 V tomto kontexte by bol určite zaujímavý argument nejakého tibetského mnícha, ktorý by mohol tvrdiť, že mentálne stavy môžu byť aj o ničom (emptiness).

5 sumárny príspevok všetkých vstupov váhovaných efektivitou spojení (synáps)

zdola nahor, ktoré spätne pôsobia na celok, a tým aj na tieto premenné. Kolektívna premenná je chápaná ako globálny faktor, ktorý špecifikuje vzťahy medzi interagujúcimi zložkami dynamického systému. Ako navrhujú Bressler a Kelso (2001), úlohu takejto globálnej premennej by mohla spĺňať relatívna fáza, pretože tá charakterizuje časovopriestorové usporiadanie medzi jednotlivými kortikálnymi zložkami. Okrem toho, relatívna fáza sa mení pomalšie než iné premenné, ktoré môžu charakterizovať lokálne oblasti. O jej dôležitosti hovoria aj štúdie mozgu a správania, v ktorých bolo pozorované, že relatívna fáza sa výrazne mení počas tzv. fázových prechodov⁶ (Wallenstein, Kelso, Bressler, 1995; Fuchs a spol., 2000). Keďže kolektívne premenné závisia od správania jednotlivých komponentov, komplexný dynamický systém funguje na princípe (nesymetrickej) recipročnej kauzality.

Tretí argument poskytujú experimentálne poznatky o epilepsii. Je známe, že epileptická aktivita spôsobuje zmeny v mentálnych stavoch. Kauzalita však možno funguje i smerom zhora nadol. Už Penfield a Jasper (1954) popísali prípad pacienta, u ktorého záchvat v parietálnom laloku prestal, ak pacient začal riešiť zložitú matematickú úlohu. Na podobné prípady vplyvu kognitívnych stavov na aktivitu mozgu poukazuje aj Schmidt-Schobstein (1998), ktorý predpokladá, že takáto intervencia zhora nadol je možná, nakoľko epileptické zóny sú súčasťou rozsiahlej komplexnej siete pokrývajúcej aj iné oblasti mozgu podieľajúce sa na vytváraní mentálnych stavov. Tým, že jednotlivé oblasti sú vo vzájomnej interakcii, zrejme takýto globálny systém môže mať vplyv na oblasť, postihnutú epilepsiou. Tento potenciálny efekt detailnejšie sledovali Lacaux a spol. (1997a,b) a ukázali, že percepčné stavy (vznikajúce v myslí subjektu pri riešení úloh) môžu fungovať ako modulátory aktivity neurónov v epileptickom ohnisku. Konkrétne, autori sledovali časové charakteristiky týchto neurónov (dĺžky intervalov medzi výbojmi) a zistili, že tieto sa vplyvom aktu percepcie menili.⁷

Spomínané argumenty teda poukazujú na to, že kauzálne vplyvy môžu byť obojsmerné, a že pravdepodobne fungujú na rôznych priestorových úrovniach. To je konzistentné s predstavou mozgu ako adaptívneho systému schopného samorganizácie v rôznych priestorových a časových škálach.

4 Záver

Prezentovaný pohľad chápe mozog a myseľ ako komplexný, no deterministický systém, kde neurálne udalosti ovplyvňujú mentálne udalosti a naopak. Touto reciprocitou sa tento prístup odlišuje od klasických redukcionistických prístupov, ktoré zahŕňajú predstavujú neurobiologický prístup zdola nahor (napr. Crick, 1997). Obojsmerná kauzalita však dáva priestor aj na zásah mentálnych stavov do diania v našom mozgu, ako sme ukázali v predchádzajúcej časti.

Takýto deterministický pohľad má svoje implikácie. Jednou z nich je to, že slobodná vôľa predstavuje ilúziu, pretože každý úkon (či už vplyvom zdola alebo zhora)

6 náhle kvalitatívne zmeny v správaní systému

7 Na prvý pohľad sa epileptické ohnisko prejavovalo pravidelnými osciláciami (2 Hz) skrytými v gaušovskom šume, avšak analýza dát odhalila deterministický vzorec aktivít. Ten sa vplyvom percepčným stavov menil smerom k tzv. nestabilným periodickým orbitám v rámci dynamického systému, čo autori intepretovali ako prejav kauzality zhora nadol (jav pripomínajúci techniku tzv. riadenia chaosu).

musí byť kauzálné podmienený. Aj keď takáto implikácia o povahe človeka určite nie je veľmi lákavá, v jej prospech existuje viacero experimentálnych poznatkov. Libet (1985) síce vo svojich experimentoch, kde ukazuje, že aktivita mozgu predchádza vedomým stavom pri vôľových úkonoch, necháva priestor aj pre zásah slobodnej vôle⁸, avšak aj iné experimenty poukazujú na to, že pocit slobodnej vôle môže byť *iluzórny* (pozri prehľad vo Wagner, 2003). Táto iluzórnosť môže byť dôsledkom nemožnosti snahy úplne pochopiť samých seba. V teórii formálnych systémov Gödel (1931) dokázal tvrdenie, že žiaden formálny systém nemôže byť kompletný, t.j. že by sa v ňom dali dokázať všetky pravdivé výroky. Ak je mozog formálny systém, podľa tejto logiky nedokáže sám seba úplne obsiahnuť (pochopiť), a preto niektorým jeho prejavom nemôžeme principiálne porozumieť alebo budeme mať o nich nejaké ilúzie (Churchland a Churchland, 1998).

Toto sa môže týkať aj snahy pochopiť zložitejšie aspekty vzťahu mysle a mozgu, ako je napr. fenomenologická povaha mentálnych stavov, vedomia, čo Chalmers (1986) definoval ako "ťažké" problémy. Tie vyvolávajú otázku, prečo činnosť fyzikálneho systému môže byť spojená so subjektívnym zážitkom, čo charakterizuje tzv. vysvetľovaciu medzerou (explanatory gap) medzi funkciou a zážitkom⁹. Mechanistické prístupy (nevynímajúc ten nami prezentovaný) môžu jedine pracovať s postulátom, že fenomenálne javy sú súčasťou vlastností (alebo emergentným javom) fyzikálneho systému na istej úrovni komplexnosti. Koho takáto odpoveď neuspokojuje, musí počkať na objavenie nových paradigiem a metód skúmania mysle dúfajúc, že tie poskytnú uspokojivejšie odpovede.

Podakovanie: Táto práca bola podporená grantami VEGA 1/2045/05 a 2/4026/04.

Literatúra

1. Bell A.J.: Levels and loops: the future of artificial intelligence and neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* **354** (1999) 2013-2020.
2. Beňušková L.: Kognitívna neuroveda. Kapitola v knihe: Rybár J., Beňušková L., Kvasnička V. (Eds.) *Kognitívne vedy*. Kalligram, Bratislava (2002) 47-104.
3. Bressler S.L., Kelso J.A.: Cortical coordination dynamics and cognition. *Trends in Cognitive Sciences* **5** (2001) 26-36.
4. Chrisley R., Ziemke, T.: Embodiment. *Encyclopedia of Cognitive Science*. Macmillan Publishers (2000) 1102-1108.
5. Christiansen M.H., Chater N.: Connectionist natural language processing: The state of the art. *Cognitive Science: a special issue on connectionist models of human language processing: progress and prospects*, **23** (1999) 417-437.
6. Churchland P.: *A Neurocomputational Perspective*. MIT Press, Cambridge 1989.
7. Churchland P., Churchland P.: *On the Contrary*. MIT Press, Cambridge 1988.
8. Crick F. *Věda hledá duši (Překvapivá domněnka)*. Mladá Fronta 1997.
9. Damasio A.: Synchronous activation in multiple cortical regions: a mechanism for recall. *Seminars in Neuroscience* **2** (1990) 287-297.
10. Engel A.K., Singer W.: Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness.

8 A to v podobe vetovacieho mechanizmu, ktorým myseľ zablokuje aktivitu iniciovanú mozgom.

9 Subjektívny zážitok (napr. vôňu ruže) nikomu nesprostredkujeme, ani keď mu detailne popíšeme dynamický vzorec aktivity mozgu, ktorý pritom vzniká.

- Trends in Cognitive Science **5** (2001)16-25.
11. Frith C., Perry R., Lumer E.: The neural correlates of conscious experience: an experimental framework. *Trends in Cognitive Sciences* **3** (1999) 105-114.
 12. Fries P., Reynolds J.H., Rorie A.E., Desimone R.: Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science* **291** (2001) 1560-1563.
 13. Fuchs A. a spol.: Spatiotemporal analysis of neuromagnetic events underlying the emergence of coordinative instabilities. *Neuroimage* **12** (2000) 71-84.
 14. Gerstner W., Kistler W.M.: *Spiking Neuron Models: Single Neurons, Populations, Plasticity*. Cambridge University Press 2002.
 15. Gray C.M. et al.: Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature* **338** (1989) 334-337.
 16. Haken H.: *Synergetics*. Springer Verlag 1977.
 17. Harnad S. The symbol grounding problem. *Physica D: Nonlinear Phenomena* **42** (1990) 335-346.
 18. Izhikevich E.M.: Simple model of spiking neurons. *IEEE Transactions on Neural Networks* **14** (2003) 1569-1572.
 19. Kelso J.A.S.: *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. MIT Press 1995.
 20. König P., Engel A.K., Singer W.: Integrator or coincidence detector? The role of the cortical neuron revisited. *Trends in Neurosciences* **19** (1996) 130-137.
 21. Kráľ A., Hulín, I.: Neurofyziologické predpoklady vedomia. *Psychiatria* **8** (2001) 86-98.
 22. Lachaux J-P. et al.: Measuring phase synchrony in brain signals. *Human Brain Mapping* **8** (1999) 194-208.
 23. Le Van Quyen M. et al.: Temporal patterns in human epileptic activity are modulated by perceptual discriminations. *Neuroreport* **8** (1997a) 1703-1710.
 24. Le Van Quyen M. et al.: Unstable periodic orbits in human epileptic activity. *Physical Review E* **56** (1997b) 3401-3411.
 25. Libet B.: Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral & Brain Sciences* **8** (1985) 529-566.
 26. Penfield W., Jasper H.: *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*. Little, Brown & Co. 1954.
 27. Port R., van Gelder, T. (Eds.): *Mind as Motion: Dynamics, Behavior, and Cognition*. MIT Press 1995.
 28. Riehle A., Grün S., Diesmann M., Aertsen A.: Spike Synchronization and rate modulation differentially involved in motor cortical function. *Science* **278** (1997), 1950-1953.
 29. Rodriguez E. et al.: Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature* **397** (1999) 430-433.
 30. Roelfsema P.R., Engel A., König P., Singer W.: Visuomotor integration is associated with zero time-lag synchronization among cortical areas. *Nature* **385** (1997) 157-161.
 31. Salinas E., Sejnowski T.J.: Impact of correlated synaptic input on output firing rate and variability in simple neuronal models. *Journal of Neuroscience* **15** (2000) 6193-6209.
 32. Schmid-Schonbein C.: Improvement of seizure control by psychological methods in patients with intractable epilepsies. *Seizure* **7** (1998) 261-270.
 33. Steinmetz P.N. et al.: Attention modulates synchronized neuronal firing in primate somatosensory cortex. *Science* **404** (2000) 187-190.
 34. Stopfer M., Bhagavan S., Smith B.H., Laurent G.: Impaired odour discrimination on desynchronization of odour-encoding neural assemblies. *Nature* **390** (1997) 70-74.
 35. Tononi G., Edelman G.M.: Consciousness and complexity. *Science* **282** (1998) 1846-1851.

36. Varela F., Lachaux J.-P., Rodriguez E., Martinerie J.: The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews Neuroscience* **2** (2001) 229-39.
37. Varela F., Thompson E., Rosch E.: *The Embodied Mind*. Cambridge, MA: MIT Press 1991.
38. Wagner D.M.: The mind's best trick: how we experience conscious will. *Trends in Cognitive Sciences* **7** (2003) 65-69.
39. Wallenstein G.V., Kelso J.A.S., Bressler S.L.: Phase transitions in spatiotemporal patterns of brain activity and behavior. *Physica D* **84** (1995) 626-634.
40. Ziemke, T.: What's that thing called embodiment? *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Lawrence Erlbaum 2003.