

Neurophysiological preconditions of consciousness

Neurofyziologické predpoklady vedomia

Andrej Král^{1,2,} a Ivan Hulín¹*

¹ Ústav patologickej fyziológie LFUK, Bratislava

² Ústav fyziológie zmyslov a neurofyziológie, Univ. J.W.Goetheho
Frankfurt nad Mohanom

Kľúčové slová: vedomie, idiognózia, mozgová kôra, amodálne reprezentácie, fylogénéza, jazyk

* Korešpondujúci autor. Adresa: Dr. A. Král, Institute of Sensory Physiology and Neurophysiology, Theodor-Stern-Kai 7, D-60590 Frankfurt am Main, Germany. Email: kral@em.uni-frankfurt.de

Abstract

The paper reviews the problem of consciousness from the perspectives of philosophy of science and neurophysiology. The phylogenetic development of the cortex is discussed and correlated with behavioral manifestations of higher cognitive functions. To neurophysiological preconditions of consciousness in man belong: 1) Amodal representations, which appeared mainly from cooperation of areas 39, 40, 44, 45 and 47. 2) Representation of the "self", which is based on the existence of higher somatosensory areas, area 7 and cingulate gyrus. Keeping in mind the development of areas 39, 40, 44 and 45, the extended consciousness including autobiographical details, the history and the future plans of the subject is considered a human-specific phenomenon. Core consciousness, not including autobiographical details but a model of the "self" as proposed by Damasio (1999), might be possible in apes and other animals, as they possess the necessary neurophysiological preconditions. This condition would lead to a stimulus-driven mind. Whether consciousness without amodal representations is possible at all remains open.

Abstrakt

Práca predkladá prehľad literatúry týkajúcej sa vedomia z oblasti filozofie vied, teórie formálnych systémov, behaviorálnej biológie a neurofyziológie. Uvažuje o filozofických hraniciach výskumu v tejto oblasti. Predkladá teóriu o neurofyziologických podkladoch vedomia. Práca predpokladá existenciu rozdielnych typov vedomia. Vedomie zahrňujúce autobiografické dáta, minulosť a budúcnosť je špecificky ľudským fenoménom, pretože zvieratám včítane opíc chýbajú príslušné neurofyziologické predpoklady existencie tohto typu vedomia. Istý typ uvedomenia, ktorý by teoreticky mohol zahrňovať aj idiognóziu, je predstaviteľný u niektorých primátov.

Vedomie je ťažko definovateľné, napriek tomu, že intuitívne každý vie, o čo ide. William James, jeden zo zakladateľov psychológie, to popísal výrokom: "consciousness is something the meaning of which ... we know as long as no one asks us to define it" (James, 1893, James, 1950). Prebral tento výrok z popisu času Augustínom (397). Skúsme definovať vedomie ako schopnosť upriamiť naše mentálne procesy na naše podnety, akcie, plány a motívy, a v neposlednom rade na náš subjekt ako uzavretý a od okolia odčlenený celok. John C. Eccles pokladal vedomie za schopnosť vedieť, čo vieme (Eccles¹, 1990). Antonio Damasio zdôrazňuje, že je to schopnosť cítiť, čo vieme (Damasio, 1999). Možno ju doplniť takto: Vedomie je schopnosť vedieť a cítiť, čo vieme, cítime a čo v prostredí stimuluje zmyslové orgány. Vedomie pravdepodobne existuje v niekoľkých stupňoch:

- **Primárne vedomie** nezahŕňa minulé a budúce, ako ani model subjektu - idiognóziu (Edelman², 1989). Predstavuje fenomén uvedomenia si toho, čo momentálne stimuluje zmyslové orgány. Individuum s primárnym vedomím vníma podnety, ktoré naň pôsobia, aj keď ich nedáva do vzťahu k sebe vzhľadom na chýbajúcu reprezentáciu subjektu. Nedokáže sa oddeliť od dejov v prostredí. Nedáva moment do vzťahu k minulosti a k budúcnosti, nedokáže robiť plány ani vedome reflektovať spomienky. Pamäť síce spôsobuje adekvátne správanie, ale nevedomo. Znamená to, že subjekt síce v danej situácii napr. (vedomo) pociťuje strach pred ohňom, ale nevie (nevedomuje si), že sa v minulosti na plameni popálil.
- **Centrálne vedomie** ("core consciousness", Damasio, 1999). Centrálne vedomie už zahŕňa idiognóziu, ale táto nepresahuje moment, nezahŕňa teda minulosť a budúcnosť (autobiografické detaily, ktoré pochopiteľne tvoria jadro ľudského sebamodelu). Individuum s centrálnym vedomím sa dokáže odčleniť od prostredia, vie, že existuje ako individuum. Napriek tomu v obdobnej situácii ako bola spomenutá vyššie nevie, prečo, ale vie, že ON má strach pred ohňom.
- **Vedomie vyššieho stupňa** (Edelman, 1989, aj **rozšírené vedomie**, napr. Nisser, 1988) Takéto vedomie zahŕňa aj uvedomenie subjektu a takisto uvedomenie minulého a budúceho. Spomína si na popálenie a na jeho následky, a vie, že sa v tejto situácii musí zachovať inak ako posledne. Má strach a vie prečo.

Ina
klasifikacia:
siehe Carl,
2003:
Phenomen
al c., Acces
C., self-c.
(Apperzepti
on),
personal c.

Stav narušeného vedomia vyššieho stupňa nachádzame u človeka napr. pri léziách póla temporálneho laloka spolu s poškodením častí limbickej asociačnej kôry a hippocampu (deštrukcia štruktúr zodpovedných za explicitnú pamäť). Pri takýchto léziách, ak sú rozsiahle, strácajú sa všetky autobiografické dáta. Pacienti nepoznajú vlastnú manželku, svoje deti, svoj byt, svoje meno, dokonca niektorí popierajú, že sú ľudia. Ich životný priestor je zúžený na práve prežívaný moment. Napriek tomu ich prejavy dovoľujú usúdiť, že majú vedomý model seba (Damasio, 1999). Tento stav však nie je celkom totožný s fyziologickým centrálnym vedomím (niektorí pacienti napr. tvrdia, že nežijú, a chcú "umrieť alebo utiecť").

V princípe nie je vedomie exaktne definovateľné nerekurzívnym spôsobom. Aby sme však mali predstavu, o čom uvažujeme, predostieram ešte niekoľko pokusov o definíciu vedomia. Vedomie je

- stav byť si mentálne vedomý čohokoľvek
- stav alebo schopnosť byť vedomý seba a podnetov, ako podmienka alebo súčasť všetkých myšlienok, pocitov alebo vôle
- rozpoznanie vlastných akcií alebo vzťahov mysliacim subjektom
- totalita všetkých vnemov, myšlienok a pocitov ktoré vytvárajú vedomé bytie subjektu.

¹ Nositeľ Nobelovej ceny r. 1963 za popísanie synaptických procesov.

² Nositeľ Nobelovej ceny r. 1972 za objav protilátok.

Kant vedomie pokladal za najvyšší jednotiaci činiteľ ľudskej mysle, čím bezpochyby vystihol jeho najdôležitejšiu funkciu (Kant, 1781, 1796). John Locke tvrdil, že vedomie je percepcia toho, čo sa deje v ľudskej mysli, t.j. je to schopnosť reflexie mentálnych stavov (Tye, 1995).

Vedomie však nie je prírodovedný pojem. Už Galilei sa pokúšal odstrániť myseľ z prírody (Galilei, 1632). Tým bol schopný zaviesť do prírodných vied objektívneho pozorovateľa, ktorý je od poznávaných fenoménov v momente observácie nezávislý. Možno povedať, že Galilei objektivizoval prírodné vedy. Descartes (1664, napr. v preklade Haldane a Ross, 1978) usúdil, že myseľ nie je prístupná vedeckému (rozumej prírodovednému) bádaniu. Rozdelil veci na *res extensa* a *res cogitans*. Tým oddelil prírodu od psychiky, podobne ako Galilei. Tvrdil, že podnety z prostredia sú prenesené do *corpus pineale*, kde otvoria neurálne trubice tzv. *spiritus animus*, ktorý takto spôsobí kontrakcie svalov. U ľudí je podľa neho tento proces riadený dušou, ktorá je separovaná od tela (mozgu). Tento dualizmus je síce z dnešného hľadiska veľmi pragmatický, na druhej strane však prezieravo oddeľuje totalitné od prírodovedných termínov. Začiatkami fyziológie sa však akoby vedomie vrátilo do oblasti prírodných vied. Sečenov (1863) dokonca tvrdil, že všetko ľudské správanie je jednoducho dôsledkom reťaze reflexov. Nepripúšťal teda nijaké iné motívy správania ako reakcie na podnety. (Podrobná diskusia o vôľových a reflexných reakciách uvádza Prochazka a spol., 2000.) Táto extrémna pozícia je spochybnená mnohými teóriami (prehľad uvádzajú Popper a Eccles, 1982).

Filozofický problém vedomia

Prírodné vedy možno charakterizovať ich vysvetlením prírody pomocou zákonov, ktoré stoja v protiklade k náhode. Prírodné vedy využívajú metódu empirických experimentov. Jej predpokladom je schopnosť skúmaný systém izolovať a manipulovať jeho okolie. Ak sme schopní udržiavať všetky parametre okolia konštantné a meniť len jeden alebo niekoľko málo z nich, dokážeme popísať a porozumieť vplyvu uvedeného parametra na systém. Tento prístup je vysoko redukcionistický. Jeho výhodou je reprodukovateľnosť a objektívnosť. Jeho nevýhodou je, že vychádza z predpokladu existencie objektívneho, od sledovaného systému nezávislého pozorovateľa.

Vedomie nie je fenomén, ktorý sme pri dnešnom stave vedy schopní priamo pozorovať. Augustinus napísal: "žiaden človek nevie, čo sa v človeku deje, okrem ľudského ducha, ktorý v ňom je." (Augustinus, 397). Vedomie je nám prístupné len introspekciou, alebo nepriamo, opísaním pomocou reči. Znamená to, že sa tento fenomén vymyká metódam prírodnej vedy. Nie je totiž možné, aby sa subjekt poznania stal objektom poznania: vzniklo by protirečenie, kedy by sa metahladina (subjekt poznania) zliala s objektom³, kde by konanie (poznávanie) bolo vylúčené, nemožné - stratil by sa objekt. Rozšírené vedomie je z filozofického hľadiska bytie v sebareflexii, je to reflektované (vnímané) sebabytie. Táto reflexia predpokladá odstup pozorovateľa (vnímateľa) od pozorovaného (vnímaného), predpokladá akési "rozštiepenie" subjektu, a reflex, ktorý vzniká v tomto procese, (ak by sme ho chceli objektivizovať) môže mať iba povahu ideálneho objektu. Takisto reportáž osôb o ich prežívaní je vždy zaťažená subjektivitou, ktorej sa principiálne nemôžeme zbaviť. Podľa Kanta by sme teda vedomie mali zaradiť do kategórie totalitných fenoménov a "sídlo duše" nedokážeme odhaliť (tento dôkaz ako prvý predložil Kant, 1796).

³ Problém ovplyvnenia sledovaného systému pozorovaním, ako je to v kvantovej mechanike, je však niečo iné. Tento problém sme principiálne schopní na úrovni prírodnej vedy riešiť.

David Chalmers preto rozdeľuje problémy vedomia na ľahké a ťažké (Chalmers, 1996). **Ľahké problémy** sú priamo dosiahnuteľné štandardnými metódami prírodných vied. Zahrňujú fenomény, ktoré možno vysvetliť pomocou výpočtových alebo neurálnych mechanizmov. Ide napr. o problémy

- schopnosti diskriminovať, kategorizovať a reagovať na podnety prostredia
- integrácie informácií
- reportovateľnosti mentálnych stavov
- schopnosti systému pristupovať k vlastným vnútorným stavom
- usmerňovania pozornosti
- kontroly správania sa
- rozdielnosti spánku a bdelosti.

Dnes ešte nemáme definitívne vysvetlenie týchto fenoménov, ale máme jasnú predstavu o tom, ako by toto vysvetlenie mohlo vyzeráť. Takisto mnoho vedcov využíva ľahké aspekty vedomia na jeho definíciu. Vedomie takto definuje aj neurológia. Je to praktické, pretože takáto definícia dáva možnosť kvantifikácie vedomia. Nemeráme však priamo vedomie, ale len niektoré jeho prejavy, ktoré však môžu chýbať, a napriek tomu vedomie ako fenomén môže existovať - a naopak. Pri patológiách, napr. počas epileptických automatizmov, môže byť pozornosť a bdelosť zachovaná, ale vedomie neprítomné. (To pochopiteľne vedie k nasledovnej úvahe: je možná existencia človeka, ktorý nemá vedomie a predsa sa správa úplne normálne (zombie)?)

Ťažký problém je podľa Chalmersa tvorený problémom subjektívnych zážitkov (tzv. fenomenálne stavy alebo **qualia**). Nagel vo svojom slávnom článku položil explicitne otázku subjektívneho zážitku: existuje niečo ako byť nejakým vedomým organizmom, napr. netopierom (Nagel, 1974)? Myslel pritom na zážitky, ktoré máme, keď vidíme červenú farbu, počujeme zvuk, voniame horúce gaštany. Fenomenálna psychológia nemôže byť sprostredkovaná tak ako sú sprostredkované poznatky z oblasti fyziky. Čo je jednému individuú prístupné ako dáta nie je prístupné vo všetkých svojich detailoch inému individuú (pozorovateľovi) - je mu to čiastočne prístupné jedine indukciou ("v rovnakej situácii by som ja, pozorovateľ, mal takýto pocit"). Príklad s netopierom slúži teda na ilustráciu nereducovateľnosti perspektívy prvej osoby (irreducibility of the first person perspective), ako aj jej nereducovateľnosť na spracovanie informácií (pozri ďalej). Ako vysvetlíme niekomu, kto je od narodenia slepý, čo je červená farba? Nie je to vysvetliteľné asociáciami, ktoré sme si vybudovali počas života (červená je teplo, láska, etc.), lebo tie vznikli len preto, lebo sme niekedy v živote videli. Qualia sú bezpochyby najväčším tajomstvom vedomia. Searle (1980) ich pokladá za základné elementy, ktoré musíme vysvetliť, aby sme pochopili vedomie. Dennett (1988) naopak popiera ich význam vo vysvetlení vedomia. Je to však práve fenomenologický zážitok vedomia, t.j. pocit, že si uvedomujem seba a okolie, ktoré nás inšpiruje a núti hľadať jeho vysvetlenie. Pokiaľ teda vnímame vedomie fenomenologicky, a to je z nášho hľadiska jediný možný prístup, je naozaj riešenie problému qualia rozhodujúce v pochopení vedomia.

Fenomenologické otázky pokladá Chalmers preto za ťažké, lebo sa nestrácajú, ak vysvetlíme mechanizmus všetkých funkcií, ktoré sú nevyhnutné v ich pochopení vysvetliť. Aj ak vysvetlíme všetky funkcie aktivované "vôňou" gaštanov, subjektívny zážitok voňajúcich gaštanov zostáva napriek tomu nepochopiteľný. Vždy sa totiž môžeme pýtať: "Ale prečo je táto funkcia spojená s pocitom, prečo je prežívaná?" Existuje tzv. "explanatory gap" (vysvetľovacia medzera) medzi funkciou a zážitkom. Redukcionistická metóda vysvetlenia jednotlivých funkcií spojených s vedomým zážitkom nestačí na vysvetlenie zážitku samotného. Toto vedie mnohých biológov a filozofov k idealistickým predstavám vedomia

(Popper a Eccles, 1982, Macphail, 1998). Redukcionizmus vysvetľuje zložitú sústavu a jej chovanie chovaním jej častí v jednotlivostiach a navzájom. Redukcionizmus však môže byť celkom nesprávnym postupom lebo celok delí na časti a tie majú iné znaky, ktoré sa v celku neuplatňujú.

Formálne systémy a samovzťažnosť

Platón svojou teóriou o svete ideálnych foriem položil základy mnohých idealistických filozofií. Aj moderní filozofi vidia v existencii platných abstraktných zákonov matematiky a logiky potvrdenie idealizmu (Popper a Eccles, 1982). Platónova teória by mohla byť interpretovaná aj tak, že je možno vysvetliť všetky biologické fenomény včítane mozgu nejakým ideálnym abstraktným systémom. Využitím známych pravidiel správania sa neurónov⁴ je možné ich na počítači namodelovať a vysvetliť niektoré fenomény percepcie (Kráľ a Majerník, 1996a, 1996b, Kvasnička a spol., 1997). Preto by sa mohlo zdať opodstatnené, že tieto systémy dokážu modelovať aj vyššie mentálne fenomény a možno niekedy v budúcnosti aj vedomie. Vzhľadom na to, že takéto modely reflektujú sformalizované správanie neurónov, možno ich algoritmizovať (naprogramovať na počítači). Je však reálne opísať psychiku nejakým algoritmom?

Funkcionalizmus predpokladá, že psychológiu možno adekvátne opísať pomocou funkcionálnej organizácie mozgu. Putman (1975) tvrdil, že sa mentálne stavy dajú opísať pomocou Turingovho stroja (jednoduchého počítača). Znamenalo by to, že čo je dôležité v pochopení psychológie nie je hardware (mozog), ale len algoritmus, ktorý vykonáva. Churchova veta hovorí, že ak existuje nejaká konzistentná a konečná metóda na algoritmické riešenie daného problému, je možné ho realizovať s rovnakým výsledkom aj na univerzálnom Turingovom stroji. Samotný Putman nakoniec myšlienku realizácie opisu vedomia algoritmickou metódou zamietol (Putman, 1988). Searle (1979, 1980) prezentoval argument proti funkcionalizmu: počítačové programy majú prístup k čisto syntaktickej (formálnej) stránke problémov. Syntax nie je postačujúca podmienka pre existenciu sémantiky. Mysel' je charakterizovaná sémantickým obsahom, ktorý je nielen dôsledkom spracovania informácií. Znamená to, že myseľ nie je vysvetliteľná len spracovaním informácií (resp. redukateľná na spracovanie informácií). Už Kant tvrdil, že zmyslové zážitky nie sú dostačujúcim vysvetlením psychiky: tá musí mať "a priori" poznatky o svete, ktoré umožňujú interpretovať senzorické vnemy. K týmto a priori poznatkom bezpochyby patrí znalosť o existencii času a priestoru (Kant, 1781). Descartes k týmto poznatkom prirad'oval aj niektoré qualia. Tieto predpoklady musia ležať vo vnútornej štruktúre mysle.

Formálne systémy sú charakterizované axiómami (a priori za pravdivé pokladané výroky) a metódami inferencie nových pravdivých výrokov z výrokov už známych. Formálne systémy sú bohato využívané v prírodných vedách. Najprepracovanejší, a preto aj najdokonalejší formálny systém, je teória čísel. Táto teória, ako dokázali matematici, je však nedokonalá. Obsahuje mnoho paradoxov. Známy je napr. tzv. Russelov paradox, ktorý zjednodušene možno vysvetliť na príklade množín: Množiny možno principiálne rozdeliť na normálne (ktoré neobsahujú sami seba) a samoreferenčné (ktoré obsahujú sami seba).

⁴ Je potrebné zdôrazniť, že takéto pravidlá sú značnou simplifikáciou. Napr. kortikálne neuróny majú iné charakteristiky ako spinálne. Aj rôzne kortikálne neuronálne populácie majú rôzne zloženia iónových kanálov, z čoho vyplývajú rôzne charakteristiky. Napr. niektoré bunky generujú počas depolarizácie salvy akčných potenciálov, ktoré sa opakujú (tzv. chattering cells). Okrem toho umelé neuronové siete nezahrňujú mechanizmy neuromodulácie (dlhodobé ovplyvnenie aktivity neurónu niektorými substanciami). Navyše je potrebné zdôrazniť, že dosiaľ nebol dokázaný molekulárny substrát pamäte, aj keď je pravdepodobné, že tento je sprostredkovaný mechanizmami dlhodobej potenciácie a depresie. Informácie o malých neurónoch (interneurónoch) sú len obmedzené, lebo mikroelektrody preferenčne penetrujú veľké bunky.

Množina R, t.j. množina všetkých normálnych množín, však nepatrí ani do jednej z nich, lebo to vedie k paradoxu. To znamená, že v rámci množín nie je možné vytvoriť hierarchiu, lebo pokusom o hierarchizáciu (na normálne a samoreferenčné) dochádza k paradoxu (podrobný prehľad v Hofstadter, 1988).

Situácia so samovzťažnosťou je však ešte komplikovanejšia. Kurt Goedel ukázal, že neexistuje formálny systém, ktorý by bol kompletný, t.j. v ktorom by sa každý pravdivý výrok dal dokázať (Goedel, 1931). Povedal, že všetky axiomatické formulácie teórie čísel obsahujú nerozhodnuteľné tvrdenia. A ukázal spôsob ako možno takéto nerozhodnuteľné tvrdenia v rámci akéhokoľvek dostatočne komplexného formálneho systému vygenerovať. Kľúčom k vygenerovaniu takéhoto tvrdenia však bolo zavedenie samovzťažnosti, podobne ako pri Russelovom parodoxe. Pokusom o zachytenie reality čisto pravidlami formálnych systémov (t.j. využitím formálnej, syntaktickej stránky, so zanedbaním sémantiky) teda nie je možné vytvoriť systém, v rámci ktorého je každá v realite pravdivá skutočnosť dokázateľná. Dokázateľnosť je slabší pojem ako pravdivosť.

Z nášho hľadiska však najdôležitejší záver týchto poznatkov je, že formálne systémy nie sú schopné zvládnuť problém samovzťažnosti - vedie k paradoxom. Vedomie však zahrňuje samovzťažnosť, je dokonca na nej založené. Pochopenie vedomia nami samotnými obsahuje preto niekoľko samovzťažných slučiek. Znamená to, že pri pokuse pochopiť vedomie formálnym systémom (napr. matematickým opisom) síce nie sme hneď od začiatku odsúdení na neúspech, ale že nikdy nebudeme vedieť vedomie **kompletne** obsiahnuť redukcionisticky, t.j. tak, ako to robia prírodné vedy.

Von Hayek (1952) upozornil na skutočnosť, že "každý aparát... musí mať vyšší stupeň komplexity ako ten, ktorý sa pokúša vysvetliť". Mozgu teda principiálne nerozumieme (Churchland a Churchland, 1998). Je to dané skutočnosťou, že náš mozog sám seba nedokáže obsiahnuť a teda ani pochopiť. Pre náš mozog je mozog ako taký kyberneticky prikomplikovaným systémom, ktorý v mozgu ako pozorovateľovi nie je obsiahnuteľný.

Neurofyzologický problém vedomia

Napriek skepticizmu v oblasti kompletného pochopenia fenoménu vedomia je predsa potrebné aspoň načrtnúť mechanizmus, akým by mohlo vznikáť. Na to, aby došlo k vzniku vedomia v našej mysli musí dôjsť k jej "rozdeleniu" na dve časti: reflektujúcu a reflektovanú. Reflektujúca časť zobrazuje fenomény reflektovanej časti mysle. Takýmto rozštiepením preto vzniká predpoklad uvedomenia si vlastných mentálnych stavov. Dôležitým činiteľom, ako predpokladajú lingvisti, je v tomto procese jazyk (Kráľ, 1974). Je to spôsob sekundárnej reprezentácie reality, ktorá je súčasne autonómnym a manipulovateľným mentálnym objektom. Vedomá reflexia totiž prebieha najčastejšie vo forme vnútornej reči, zriedkavejšie vo forme senzorickej (Augustinus, 397).

Vedomie sa podobá na film premietaný "v hlave" (tzv. Karteziánske divadlo), v ktorom hráme hlavnú úlohu a súčasne diváka. Mnohí autori pokladajú existenciu tzv. **globálneho pracovného priestoru** ("javiska"⁵) v mysli, o ktorý súťažia nevedomé procesy, a tak sa dostávajú do vedomia (Baars, 1988, 1998, Newman a Baars, 1993). Pozorovateľ interpretuje všetky deje vo vzťahu k sebe. Vzniká teda neurálna reprezentácia vnímateľa a konateľa, vzniká interná reprezentácia seba (vedomé Ja, "self").

⁵ Toto "javisko" je potrebné vnímať ideálne. Nemyslím, že neurofyzologicky možno definovať oblasť v mozgu, v ktorej je toto javisko reprezentované. Globálny pracovný priestor je pravdepodobne daný synchronizáciou aktivity jednotlivých areálov mozgu.

Predstava divadla, na ktoré sa niekto (homunculus) pozerá, nepredpokladá nekonečný regres, ako namietajú niektorí autori (Dennett, 1988). Ak tento homunculus má vysvetľovať fenomenológiu vedomia, tak má Dennett (1988) naozaj pravdu, lebo v homunculovi musí nevyhnutne existovať ďalší, ktorý sleduje "jeho film v hlave", atď. Takáto interpretácia je však omylom ak sa vzdáme pokusu vysvetliť ťažký problém, t.j. fenomenológiu vedomia ("pocitu" vedomia). Predstava Karteziánskeho divadla je prípustná, lebo vysvetľuje možný mechanizmus reflexie vlastných vnútorných mentálnych stavov. Samovzťažnosť nie je inak možná. Nemusíme predsa ako divák Karteziánskeho divadla súčasne sledovať hercov ako aj sám seba (samotného diváka). Časť (pravdepodobne väčšina) našich mentálnych stavov a procesov je z vedomia vyčlenená, je nevedomá (aj tá časť, ktorá predstavuje diváka), a preto predkladaná teória nevyžaduje Dennettov nekonečný regres. Baars (1998) predložil ešte jeden argument pre nevyhnutnosť existencie týchto tzv. "konvergenčných zón", t.j. oblastí, kde sa zbiehajú informácie zo zmyslových analyzátorov. Je známe, že nevedomo dokážeme vykonávať viacero aktivít súčasne, vedomo to však nedokážeme: existuje trade-off medzi jednotlivými súčasne vykonávanými aktivitami (ak šoférujeme a súčasne sa so spolujazdcom hádame, vzniknú problémy, ak dopravná situácia bude vyžadovať naše vedomé rozhodovanie).

Fenomén vyššieho vedomia vyžaduje centrálnu "interpretátora", z fyziologického hľadiska vyžaduje neurálnu alebo mentálnu reprezentáciu subjektu, ktorý je však súčasťou fyzického objektu, mozgu. Vzniká "Ja" ako mentálny alebo neurálny objekt (v procese idiognózie). Otvorená zostáva otázka, ako tento objekt môže vnímať, reflektovať a interpretovať, t.j. pochopiť sám seba (porov. Hume, 1739). Pri fyziologickom pohľade sa núka interpretácia, že zážitok "Ja" je pravdepodobne možný preto, lebo náš vegetatívny nervový systém neustále monitoruje stav organizmu (Kráľ, 1998a). Je známe, že tieto jeho funkcie sú nevedomé, ale môžu slúžiť k vytvoreniu nevedomého modelu seba, tzv. proto-seba (Damasio, 1999). Všetky zapamätané skutočnosti sú pravdepodobne ukladané do pamäte spolu s aktuálnym stavom nášho organizmu (proto-seba), v ktorom sme počas príslušného zážitku (porov. Augustinus, 397). Znamená to, že sa pri navrátení spomienok reaktivuje aj stav nášho proto-ja (spolu s našim emocionálnym stavom napr. radosťou alebo smútkom). Existencia proto-seba je preto podmienkou pre vznik centrálnu vedomia so vznikom **minimálneho Ja**, bez predstavy, čo bolo a bude vo vzťahu k tomuto internému modelu subjektu. Dôsledkom toho by sa pri spomienke reaktivovalo aj zapamätané proto-ja a tak generovalo vedomé ja, ktoré sa podobá na to, ktoré existovalo počas zapamätaného zážitku. Vedomé Ja sa generuje z momentu na moment, kedy sa buď generuje aktivita vonkajšími alebo vnútornými podnetmi (spomienky, pamäť). Toto minimálne ja za istých predpokladov neurálnej reprezentácie môže prejsť do stavu **rozšíreného ja** (ak obsahuje autobiografické detaily z minulosti, Neisser, 1988, Dennett, 1991). Dennett (1991) rozšírené ja chápe ako gravitačné centrum, okolo ktorého sa odohrávajú mentálne reprezentácie (prienik našich skúseností a našich mentálnych reprezentácií). Dennett sa domnieva, že rozšírené ja nie je reálnym neurálnym ani mentálnym objektom, ale len fikciou, ktorá dáva existencii dojem kontinuity (podobnú predstavu mal aj Hume, 1739). V tu predstavenom modeli vedomia je reálnym mentálnym objektom, aj keď je jeho neurálna reprezentácia zrejme distribuovaná a teda nie celkom jednoznačne lokalizovateľná na mozgovej kôre, čo by bolo kompatibilné s interpretáciou, ktorá predpokladá ďalšieho (vyššieho?) "spájatľa".

Neurofyziologické predpoklady vzniku vedomia

Na to, aby vzniklo vedomie treba, aby ho náš nervový systém dokázal vygenerovať. Nervový systém, predovšetkým neocortex, vykazuje vývoj (Kaas, 1987), ktorý možno korelovať s vývojom správania sa. Táto metóda však neimplikuje nevyhnutnosť participácie novovznikajúcich areálov s novým správaním - na kompletnú expertízu je potrebné dokázať, že pri léziách príslušných oblastí dochádza aj k strate príslušných behaviorálnych čít. Tento prípad je nie vo všetkých prípadoch zdokumentovaný. Budeme však vychádzať z pôvodnej Brodmannovej (1909) hypotézy: vyšším využitím kôrových areálov dochádza k ich ďalšej diferenciacii, nevyužívaním k regresii. Vzhľadom na tento predpoklad je teda zmysluplné hľadať morfológické odlišnosti medzi mozgom človeka a zvierat. Moderné zobrazovacie metódy síce prispievajú k pochopeniu funkčných vlastností jednotlivých areálov, metodika však dnes nie je dostatočne rozpracovaná a ešte stále sa nachádzame vo fáze zhromažďovania dát. Existuje málo prác pokúšajúcich sa spojiť výsledky týchto metód s klasickou neurofyziológiu. Preto je možnosť porovnania funkčných dát z ľudského CNS s animálnymi dátami značne obmedzená. Sústredíme sa teda predovšetkým na porovnanie morfológických odlišností medzi človekom a zvieratami. Najviac dát existuje o cytoarchitektonických odlišnostiach. Žiaľ ani samotný Brodmann nebol schopný s istotou nachádzať homológne areály, pretože v medzidruhovom porovnaní napriek podobnostiam často nachádzal v tzv. "homológnych areáloch" aj odlišnosti. Homológia je preto často len približná. Brodmann napr. nepopísal u opíc areály 41 a 42 (sluchové areály). Takisto nenašiel areál 45, pričom tento je dnes u makakov popísaný (prehľad v Pandya a Yeterian, 1985).

Pokúsime sa preto s ohľadom na recentnú literatúru opísať rozhodujúce štruktúry, ktoré sú nevyhnutné na vznik vedomia, vytvárajúce predpoklady pre amodálne reprezentácie a sebamodel. Ide o štruktúry umožňujúce vznik amodálnych reprezentácií a idiognózie.

1. Amodálne reprezentácie

Fylogenetický predpoklad pre vznik vedomia je vznik amodálnych (od zmyslových orgánov nezávislých) reprezentácií. Vznik amodálnych reprezentácií umožňuje "oslobodenie" od zmyslových analyzátorov (Kráľ, 1998). Vznikajú neurálne a mentálne objekty, ktoré možno mentálne manipulovať bez striktnnej determinácie zmyslovými "vstupmi". Individuum potom nie je zmyslovo determinované, na riadení jeho správania sa autonómne podieľa aj jeho mentálny svet. Takisto tvoria amodálne reprezentácie predpoklady pre vznik jazyka, pretože tzv. jazykový znak (Kráľ, 1974) je závislý aj od takej identifikácie objektov reálneho sveta, ktorá je nezávislá od zmyslovej reprezentácie. Predpoklad pre vznik jazyka a rozšíreného vedomia vo fylogenéze ako aj v ontogenéze je preto existencia amodálnych reprezentácií. Opice majú trimodálne areály v CNS (oblasti sulcus temporalis sup., tzv. areál PG, okrem toho sú aj niektoré podkôrové štruktúry trimodálne - tieto však slúžia orientácii v priestore a nie reprezentácii objektov, prehľad v Pandya a Yeterian, 1985). Neuróny týchto areálov odpovedajú pri kombinovanej stimulácii zraku, hmatu a sluchu, nie sú to však pravdepodobne amodálne oblasti. Sú to totiž oblasti, ktoré majú priamu projekciu z príslušných sensorických areálov, takže je možné jednoznačne stanoviť, ktorá projekcia aktivitu vyvolala (Wilkins a Wakefield, 1995, Fellerman a van Essen, 1991). Existujú práce svedčiace o neschopnosti neľudských primátov vytvárať amodálne koncepty (Ettlinger, 1981, Ettlinger a Wilson, 1990). Amodálne reprezentácie by mohli vznikať v niektorých **asociačných areáloch mozgovej kôry** (parietookcipitotemporálna -POT- "križovatka", časti temporálneho laloka a časti prefrontálnej kôry, areály 22, 37, 39, 40, 44, 45, 46, 47 - prehľad v Sanides, 1975, Pandya a Yeterian, 1985, Kolb a Whishaw, 1993, vedomie a asociačné oblasti v Roth, 1997, Kráľ, 1998). Tieto expandovali predovšetkým u homo habilis (Falk, 1985, Tobias, 1987). Je

pravdepodobné, že asociačné areály nemajú totožné funkcie. Parietálna asociačná kôra hrá rozhodujúcu úlohu pri orientácii pozornosti v priestore (area 7, aj keď táto je sčasti len bimodálna, k nej by mohli zvlášť v subdominantnej hemisfére patriť aj areály 39 a 40, Watson, Valenstein a spol., 1994). Temporálna asociačná kôra je spojená s pamäťovými procesmi a snáď s jazykom (z polymodálnych areálov sem patria predovšetkým časti arey 22 a 37). POT hrá úlohu pri amodálnej reprezentácii objektov reálneho sveta (posteriórna area 22, arey 37, 39 a 40, Geschwind, 1965, Wilkins a Wakefield, 1995). Predovšetkým areály 39 a 40 mnohí neurofyziológovia pokladajú za špecificky ľudské, hrajúce úlohu v identifikácii objektov ("object identity", Watson, Valenstein a spol., 1994, Bushara, Weeks a spol., 1999, porov. "identifikát univerza", Král, 1974). POT je oblasť, ktorá pravdepodobne prijíma projekcie z bimodálnych areálov. Znamená to, že nie je možné definovať, z akej modality aktivita v POT vzniká, a to ju odlišuje od iných asociačných oblastí (Wilkins a Wakefield, 1995). Prefrontálna kôra hrá úlohu v procedurálnych, časovo-sekvenčných procesoch a u tzv. pracovnej pamäti (Tallal a Schwartz, 1980, Goldman-Rakic, 1984, Greenfield, 1992, Kolb a Whishaw, 1993). Je známe, že motorická, tzv. implicitná pamäť je nevedomá, kdežto pamäť sprostredkovaná senzorycky je vedomiu prístupná. V tejto súvislosti by sme teda ľahko mohli dôjsť k nasledovnej hypotéze o funkcii asociačných areálov pri vzniku vedomia: Karteziánske divadlo prijíma "hercov" zo sekundárnych senzoryckých oblastí a z POT. Prefrontálne areály nielen monitorujú aktivitu v sekundárnych areáloch a v POT, ale zrejme sú schopné aktivitu v týchto areáloch aj riadiť. Až spojením POT a sekundárnych areálov s najvyšším asociačným motorickým areálom vznikla v evolúcii možnosť umiestniť amodálne reprezentácie do časových a dejových vzťahov ako aj nezávisle od senzoryckých podnetov voľne manipulovať s týmito mentálnymi reprezentáciami. Prefrontálny areál sa teda môže stať režisérom v uvedenom Karteziánskom divadle. O prefrontálnom laloku sa vie, že má spojenia ako s POT tak aj so sekundárnymi senzoryckými areálmi kôry (Crick⁶ a Koch, 1995, prehľad aj v Pandya a Yeterian, 1985). Schopnosť prefrontálnych areálov vytvárať pracovnú pamäť tvorí predpoklad pre existenciu pódia v Karteziánskom divadle. Keďže neurálne predpoklady pre uvedené amodálne reprezentácie (pravdepodobne areály 39, 40, 44 a 47, resp. ich časti) vznikajú až u homo habilis, je pravdepodobné, že až po ukončení tohto procesu a vzniku funkčného spojenia s prefrontálnymi areálmi dochádza k vzniku fenoménu rozšíreného vedomia. Podľa názoru mnohých neurofyziológov nie je aktivita v primárnych senzoryckých areáloch uvedomovaná. Uvedomovaná je aktivita vo vyšších (sekundárnych a asociačných) areáloch (prehľad v Crick a Koch, 1995). O tom svedčí aj skutočnosť, že aktivita v primárnych senzoryckých areáloch je síce ovplyvnená narkózou, napriek tomu je možné ju snímať aj v hlbších štádiách narkózy. Plytká narkóza je síce spojená so stratou vedomia, ale v primárnych senzoryckých areáloch možno ďalej snímať evokovanú aktivitu, dokonca aj tzv. neskoré potenciály a gama oscilácie (Král, Tillein a spol., 1999). Sekundárne a vyššie areály sú ovplyvnená narkózou podstatne skôr a evokované potenciály sú v nich potlačené úplne (Howard, Volkov a spol., 2000). Vzhľadom na to, že amodálne reprezentácie sú pravdepodobne distribuované vo všetkých troch asociačných oblastiach, neexistujú kazuistiky pacientov potvrdzujúcich koreláciu asociačných oblastí a porúch vedomia. Možno však opodstatnene predpokladať, že deštrukcia spomenutých troch asociačných oblastí kôry povedie k poruche vedomia. O asociácii vedomia s jazykom svedčia tzv. split-brain pacienti (prehľad napr. v Kolb a Whishaw, 1993). U týchto pacientov kvôli nevládnuteľnej epilepsii neurochirurgovia preťali corpus callosum a commissuram ant. a post., v dôsledku čoho došlo k izolácii mozgových hemisfér. U split-brain pacientov je uvedomovaná len aktivita, ktorá vzniká v dominantnej hemisfére (t.j. hemisfére reprezentujúcej jazyk).

⁶ Francis H.C. Crick je nositeľ Nobelovej ceny za fyziológiu a medicínu r. 1962 za spoluobjav štruktúry nukleových kyselín.

Predchádzajúca stať by mohla vyvolávať dojem, že spracovanie informácií a vznik pochopenia je len dôsledkom spracovania zdola nahor (bottom-up princíp). Je však známe, že okrem týchto spojení prakticky všade existujú aj recipročné tzv. top-down spojenia. Dôsledkom toho pravdepodobne dochádza napr. pri aktivácii mozgu sluchovým podnetom nielen k aktivácii sluchového a amodálneho systému, ale z amodálnych reprezentácií aj späť "nadol" do terciárnych, sekundárnych a primárnych areálov, a to aj v iných modalitách (napr. vizuálnej).

2. Idiognózia

Druhým dôležitým predpokladom vedomia vyššieho stupňa je schopnosť reprezentovať seba v mentálnom priestore (idiognózia). Areály gyrus cinguli stoja v spojení s mentálnou reprezentáciou rozšíreného ja. U mnohých pacientov s poškodením areálov 7, 19 a 31 dochádza k poruche minimálneho ja (Damasio, 1999). Gyrus cinguli je známy svojou asociáciou s emóciami, pozornosťou a autonomickou kontrolou (Posner a Pettersen, 1990), čo by korelovalo s teóriou Damasia o vzťahu vedomia k štruktúram reprezentujúcimi emócie a vegetatívne reprezentácie a štruktúram integrujúcim emócie (prefrontálna kôra, Bechara, Tranel a spol., 1996). Takisto prijíma projekcie z mnohých sekundárnych areálov kôry spolu so sekundárnymi somestetickými areálmi. Je involvovaný v motorických funkciách. Rozšírené Ja vzniká až spojením minimálneho Ja so schopnosťou explicitnej pamäti (temporálna asociačná kôra a limbický systém) a samozrejme so schopnosťou tvoriť amodálne reprezentácie a jazyk. Na predáženie momentálnej časovej integrácie slúži pracovná pamäť - prefrontálna kôra. Je pravdepodobné, že gyrus cinguli je nevyhnutnou podmienkou pre existenciu vedomia vyššieho stupňa. Nie je však pravdepodobne podmienkou dostačujúcou. Vo fylogénze totiž vznikol podstatne skôr ako známky idiognózie. Znamená to, že až vznik cross-modálnych asociácií vyššieho stupňa (popr. až amodálnych reprezentácií) umožnil využiť spojenie s gyrus cinguli nato, aby vznikol pocit "sebamodelu". Gyrus cinguli, pravdepodobne v spojení s prefrontálnou kôrou, by teda v tu prezentovanej predstave hral úlohu v **pocite** seba, ale nestačil by na jeho vznik. Poškodený areál 7 nachádzame aj u pacientov s neglect syndrómom, čo ďalej podporuje túto hypotézu.

Poškodenie mozgového kmeňa, predovšetkým oblastí periaqueduktálnej šede a parabrachiálneho jadra retikulárnej formácie, spôsobujú u pacientov narušenie vedomia (Parvizi, van Hoesen a spol., 1998). Aj tieto štruktúry sú vegetatívnym a emočným centrom (Bernard a Bandler, 1998). Do akej miery tu ide skutočne o deštrukciu proto-seba a do akej miery ide o poškodenie štruktúr nevyhnutných k normálnemu fungovaniu mozgovej kôry, nie je jasné. Preto ani nie je možné definitívne akceptovať alebo zavrhnúť teóriu proto-seba.

Rozdiely medzi človekom a opicou nie sú len v morfológii, už vonkoncom nie len v cytoarchitektonike. Dáť na jednoznačný záver stále nie je dosť, a vzhľadom na metodické problémy k tomu zatiaľ takmer vôbec neprispeli ani moderné zobrazovacie metódy (Poeppel, 1996). Rozdiely možno predpokladať vo funkčnej anatómii ako aj v molekulárnom zložení neuronálnych membrán (napr. iónových kanálov). Pritom je potrebné poznamenať, že podobnosť nie je znakom zhody. Odhalenie ďalšej podobnosti môže byť znakom hlbšej rozdielnosti. Podobnosť je vonkajšou stránkou javu alebo veci. Ak chýba zhoda, je podobnosť iba dôkazom paralelnosti ale nie identickosti toho, čo pozorujeme alebo vnímame.

Neurálny (objektívny) a vedomý (subjektívny) čas sú odlišné

Problém neurálno-psychickej korelácie spočíva v časových fenoménoch. Existuje mnoho dát svedčiacich o neparalelnom priebehu subjektívneho a objektívneho času. Už Vierodt (1868) a Wundt (1911) ukázali, že napr. spojenie fenoménov do skupín je možné v rozsahu 1.5-3 sekúnd. Ak napr. sledujeme tikanie metronómu a prinútíme sa každému druhému zvuku prisúdiť iný subjektívny význam (miesto tik-tik-tik-tik sa donútíme počuť tik-tak-tik-tak), zistíme, že je to možné iba vtedy, ak medzi jednotlivými zvukmi je časový odstup menší ako asi 1.5 sekundy. V tomto časovom okne sa pre nás odohráva "teraz", je to integračný čas našej psychiky (Poeppel, 1985). Subjektívne "teraz" je teda odlišné od objektívneho. Robert Ornstein (1963) dokázal, že to, čo sa nám momentálne zdá nudné, plynie dlhšie ako to, čo je zaujímavé a komplikované, aj keď objektívne trvanie je rovnaké (napr. pri pozorovaní rôzne zložitých obrázkov). V retrospektíve sa nám zasa zdá, že nudné trvalo veľmi krátko oproti zaujímavému (tzv. časový paradox). Táto skutočnosť naznačuje, že naša psychika dokáže manipulovať vnímanie času okamžite aj retrospektívne. Neurofyziologický dôkaz o neparalelnom priebehu subjektívneho a objektívneho času priniesol Benjamin Libet. Jeho štúdiami je potrebné sa zaoberať podrobnejšie:

Libet (1978) aplikoval pacientom počas neurochirurgického zákroku priamo na oblasť primárnej somestetickej kôry elektrické podnety. Zistil, že tieto elektrické pulzy pacienti vedome vnímajú len vtedy, ak sa opakujú a ak salva elektrických podnetov trvá aspoň 500 ms. Vedomie teda zjavne potrebuje okolo 500 ms na to, aby sa vytvorili také časovo-priestorové mapy aktivity na kôre, ktoré dokážu byť vnímané. Súčasne Libet ukázal, že ak aplikujeme súčasne 2 podnety - jeden na dlaň ruky a jeden elektrický v mieste zodpovedajúcom reprezentácii ruky na mozgovej kôre (areál S1), prvý je vnímaný podnet na ruke, a to aj ak kôrový podnet predchádza periférny o 300-500 ms. Nervový systém neguje spomínaných 500 ms od podráždenia ruky až po príchod aktivity do vyšších areálov mozgovej kôry, v ktorých sa generuje vedomý vnem. Uskutočňuje sa **antedatovanie** reálneho podnetu k momentu začiatku evokovaného potenciálu. Umožňuje to tzv. vlna strednej latencie, ktorá je generovaná v primárnych senzoryckých areáloch pri aktivácii talamokortikálnych projekcií. Keďže kortikálny elektrický podnet túto vlnu negeneruje, nie je možné vykonať antedatovanie a teda kortikálny podnet proband vníma naozaj vtedy, kedy skutočne "preniká" do vedomia. Dĺžka antedatovania sa pohybuje medzi 300 a 500 ms.

Libet, Gleason a spol. (1983) sa takisto zaoberali otázkou vôľových pohybov, resp. ich iniciácie. Dokázali, že tzv. pohotovostné potenciály ("Bereitschaftspotential" alebo "readiness potential"), ktoré sú pri vôľových pohyboch snímané z frontálnych areálov mozgu, začínajú skôr ako si uvedomujeme rozhodnutie iniciovať pohyb. Tento rozdiel činí minimálne 300 ms. Interpretácia týchto experimentov je komplikovaná. Možno opodstatnene predpokladať, že na to, aby vzniklo vedomie o rozhodnutí konať je potrebný istý čas. Rozhodnutie je, aj ak je "slobodné" a nezávislé od neurálnych procesov, pravdepodobne nie od začiatku vedomé. Pre uvedomenie je potrebné uskutočniť transformáciu procesov mysle na procesy, ktoré v myslí môžu byť re-reprezentované, a tým uvedomené. Na druhej strane je predstaviteľné, že vôľové rozhodnutia, podobne ako senzorycké podnety, sú v čase posunuté na moment približne začiatku pohybu alebo krátko pred ním (retrodatovanie). Ďalšou alternatívou je, že vôľové pohyby sú spúšťané náhodnými fluktuáciami neurálnych funkcií, a sú retrospektívne pripísané centrálnemu modelu organizmu, ktorý je vnímaný ako ústredný "hýbateľ". **Princíp hýbateľa** zrejme vzniká uvedomením si eferentnej kópie motorického povelu centrálnej reprezentácii subjektu (tzv. "sense of agency"). Vzniká v suplementárnej motorickej aree a v prefrontálnych kortikálnych areáloch (podrobný prehľad v Gallagher, 2000), čo dobre koreluje s tu predstavenou hypotézou a funkciou prefrontálnej asociačnej kôry. "Vlastníctvo" pohybu vzniká

až proprioceptívnou a senzorickeou spätnou väzbou a jej porovnaním s chceným stavom (tzv. "sense of ownership", deje sa pravdepodobne v cerebelle, Gallagher, 2000). Je možné, že vedome dokážeme len inhibovať spontánne pohnútky k pohybu, ale nie ich spúšťať. O tom svedčia aj správy probandov štúdie Libeta, Gleasona a spol. (1983). Títo síce často pociťovali pohnútku prstom pohnúť, ale mnohokrát sa rozhodli potlačiť ho. V týchto prípadoch mali snímané pohotovostné potenciály dlhého trvania, ktoré predchádzali pohyb až o 1500 ms. Podľa uvedenej interpretácie by vedomie fungovalo ako filter, ktorý povolí len zmysluplné popudy. Vlastným hýbateľom by bol nervový systém. Túto alternatívu však ani samotní autori štúdie nepokladajú za pravdepodobnú. Ktorá z predstretých možných interpretácií je správna momentálne nemožno (s ohľadom na nedostatok dát) rozhodnúť. Takisto je potrebné zdôrazniť, že experiment s vôľovými pohybmi, ako podotýkajú v diskusii samotní autori štúdie, predstavujú tie experimenty o spontánnych pohyboch. Slobodná vôľa sa prejavuje skôr v komplexnejších úlohách racionálneho výberu z viacerých možných alternatív.

Dôsledky experimentov s priebehom subjektívneho času (prehľad v Poeppel, 1985) naznačujú, že naše vedomie je schopné si v istom rozsahu prispôbovať časové vnímanie. Znamená to, že subjektívny čas nekoreluje s objektívnym. Ak je teda realita taká, že subjektívny čas nekoreluje s objektívnym, nemožno pripísať subjektívnym, len introspekciou poznateľným fenoménom, objektívne sledovateľné neurálne procesy. V tomto prípade je teda metodika sledovania neurálnej aktivity zobrazovacími metódami, ak sa snaží monitorovať najvyššie kognitívne procesy, predurčená k neúspechu.

V každom prípade možno z Libetových štúdií usúdiť, že vedomie je prinajmenšom 500 ms pozadu s ohľadom na reálny svet. Je jasné, že reflexné motorické úkony, ktoré prebiehajú rýchlo (reakcia tenistu na letiacu loptičku alebo hokejového brankára na letiaci puk) sú spúšťané nevedome a ich uvedomenie sa deje ex post. Pre takéto reakcie by vedomie bolo pripomale a málo efektívne⁷. Ale pre deje, ktoré nepotrebujú okamžitú reakciu, je vedomie, zvlášť vedomie vyššieho stupňa, nesmiernou fylogenetickou výhodou: umožňuje racionálne vyhodnotenie situácie nielen s ohľadom na daný moment, ale aj s ohľadom na minulosť a budúcnosť. Dáva možnosť vybrať riešenie, ktoré je v danom momente možno nevýhodné, ale z hľadiska dlhodobej stratégie podstatne priaznivejšie.

Vedomými sa teda podnety stávajú až po určitom pretrvaní v mozgovej kôre. Predpokladom pre tento proces je udržanie excitácie v mozgovej kôre veľmi dlhú dobu (stovky ms). Skupina odborníkov z rôznych laboratórií sa tomuto problému venovala (napr. Llinás a Paré, 1991, Steriade, 1992, 1996, 1997). Talamokortikotalamické okruhy (thalamus - vrstva IV kôry, vrstva II/III kôry, vrstvy V/VI kôry, ncl. reticularis thalami, thalamus) boli dokázané prakticky vo všetkých areáloch kôry. Pravdepodobne slúžia na zachovanie aktivity v kortikálnych areáloch kvôli potenciálnej asociácii s nasledujúcimi podnetmi. Súčasne predstavuje takto kolujúca aktivita aj perzistujúci vstup pre sekundárne areály mozgovej kôry. Je známe, že talamokortikálne okruhy generujú tzv. neskoré aktivity v mozgovej kôre (Steriade, 1992, 1996, 1997, Král, Hartmann a spol., 2000). Sú takisto skorým príznakom nastupujúcej anestézie: strácajú sa skôr ako dochádza k zmenám strednolatených poľových potenciálov kôry (Král, Tillein a spol., 1999). V tejto súvislosti sú zaujímavé práce poukazujúce na neschopnosť neprimerane vyvinutej mozgovej senzorickej kôry asociovať za sebou nasledujúce podnety. Kongenitálne hluchí pacienti, ak sa vybaví kochleárnym implantátom (podrobnosti o stimulácii kochleárnym implantátom napr. v Král, Hartmann a spol., 1998) v dospelosti, neprofítujú z tejto neuroprotézy. Nielen ju nedokážu využívať na

⁷ Mnohonásobný víťaz Grand Slam Jimmy Connors popisoval, že v dňoch, keď bol vo veľmi dobrej forme, videl tenisovú loptičku letieť veľmi pomaly ponad sieť a videl ju veľmi veľkú. Ide o ďalší indiciu že retrospektívne uvedomenie týchto rýchlych dejov je subjektívne modulovateľné.

porozumenie reči, nedokážu (okrem iného) ani spočítať za sebou nasledujúce akustické podnety. Svedčí to o poruchách sluchového systému, a snáď aj jeho napojenia na štruktúry vedúce k uvedomeniu podnetov (síce si podnety uvedomujú, ale nedokážu ich vedomo spracovať), resp. na štruktúry pracovnej pamäti v prefrontálnej kôre. Kongenitálne hluché mačky nevykazujú neskoré poľové aktivity v sluchovej kôre (Klinke, Král' a spol., 1999, Král', Hartmann a spol., 2000). Ak sú však v skorom veku vybavené kochleárnym implantátom a majú sluchovú skúsenosť, možno ich registrovať (Klinke, Král' a spol., 1999). Okrem talamokortikálnych okruhov hrajú dôležitú funkciu aj kortikokortikálne "reentry" okruhy (Tononi a spol., 1992, Tononi a Edelman, 1998).

Mnohí autori tvrdia, že dobrým korelátom vedomého spracovania podnetov sú gama-oscilácie (30-80 Hz), ktoré možno snímať pomocou EEG alebo u zvierat pomocou mikroelektród (napr. Engel, Roelfsema a spol., 1997). Tieto zrejme plnia rozhodujúcu úlohu v riešení tzv. "binding" problému (ktoré vlastnosti podnetu, reprezentované v rôznych oblastiach mozgovej kôry, patria k tomu istému podnetu? - tie, ktorých oscilácie sú vo fáze). Bolo dokázané, že tieto sú citlivé na narkózu a že ich zmiznutie výborne koreluje so stratou neskorých evokovaných potenciálov (Král', Tillein a spol., 1999). Aktivácia štruktúr v staršej literatúre zahrnutých pod pojmom retikulárna formácia mozgového kmeňa vedie k objaveniu sa gama oscilácií, lézia týchto štruktúr k ich strate (Munk, Roelfsema a spol., 1996).

Do akej miery neskoré poľové potenciály a gama-oscilácie majú niečo spoločné s vedomím a do akej miery reprezentujú len nevyhnutný predpoklad pre možnosť vzniku vedomého vnemu, nie je jasné. Principiálne možno povedať, že jedinými skutočne objektívnymi a neurofyziologicky podloženými experimentami o neurofyziologickom podklade vedomia sú experimenty Benjamina Libeta. Stojíme teda pred otvoreným a s ohľadom na filozofické problémy principiálne len ťažko riešiteľným problémom. Napriek tomu neurofyziologické experimenty, zvlášť ak ich možno vykonať v rámci neurochirurgického experimentu, podstatne prispievajú k pochopeniu mechanizmov predstavujúcich podklad vedomého vnímania.

Vývojová teória vedomia

Otázka vzniku vedomia vo fylogénéze je kontroverzným problémom. Z fenomenologického hľadiska nemôžeme o zvieratách s istotou tvrdiť, či majú alebo nemajú vedomie (Premack, 1988, Edelman, 1989). Konečné riešenie tohto problému pravdepodobne nedokážeme poskytnúť ani tu. Je to dôsledkom metodických problémov, ktoré sú navyše komplikované tým, že zvieratá nemajú reč a teda nedokážu poskytnúť správy o svojom vnútornom svete. Komunikačné systémy zvierat sa rozhodujúco odlišujú od ľudského jazyka (Wilson, 1972, Gould a Marler, 1987):

1. Majú obmedzený repertoár volaní.
2. Využívajú analógové signály, ktorých intenzita signalizuje intenzitu nejakého stavu (čím živšie včela tancuje, tým bohatší je zdroj nektáru, ktorý našla). Reč je fenomén založený na diskretizácii analógového signálu na niekoľkých hladinách: vety, morfémy, fonémy (Král', 1974, Pinker, 1996).
3. Komplexnejšie volania predstavujú následnosť náhodných variácií spoločnej témy (ako napr. u spevového vtáctva).
4. Vokalizácie zvierat sú riadené zo subkortikálnych štruktúr (popr. gyrus cinguli), podobne ako u človeka plač, smiech, výkriky bolesti, etc. Reč je však generovaná kortikálne (Kuypers, 1958, Robinson, 1976, Muller-Preuss a Ploog, 1981, Kirzinger a Jurgens, 1985, Holman, 1998, Kyuhou a Gemba, 1998).

5. Komunikačné systémy zvierat nie sú založené na princípe symbolov, ale predstavujú signál. Jazyk je symbolický komunikačný systém (Kráľ, 1974, Pinker, 1996).

Sue Savage-Rumbaugh dokázala natrénovať bonobo šimpanzov (*pan paniscus*), ktorí pravdepodobne predstavujú geneticky najbližšieho žijúceho príbuzného človeka (aj keď šimpanzy sú len vedľajšou vetvou, teda nie priamym predchodcom homoidov) používať v komunikácii symboly (napr. Savage-Rumbaugh, 1991). Napriek tomu, že opice nie sú schopné tvoriť konsonanty, a teda nie sú schopné "hovoriť" (je to dôsledok anatómie laryngu a faryngu), naučila ich používať tabuľku s okolo 250 symbolmi (tzv. lexigram). Tieto zvieratá reagujú na hovorenú reč a dokážu produkovať správy s využitím lexigramu. Okrem tejto výnimky všetky pokusy naučiť zvieratá komunikovať symbolicky stroskotali. Mnohí lingvisti však pochybujú aj o symbolickom charaktere uvedeného komunikačného systému u bonobov, napr. vzhľadom na chýbanie gramatiky v ich prejavoch (prehľad v Pinker, 1996, Macphail, 1998). Navyše je metódou učenia, ktorá prezentuje podnety akusticky a súčasne vizuálne (lexigram) výrazne forsírovaný cross-modálny transfer (Wilkins a Wakefield, 1995). Dotykom lexigramu môže súčasne dochádzať k aktivácii ďalšej modalít v mechanizme učenia. Tak je možné umelo stimulovať vývoj trimodálnych reprezentácií, čo však neimplikuje existenciu amodálnych reprezentácií, pojmov, jazyka a vedomia.

Mnohé skutočnosti výrazne odlišujú učenie "symbolického" komunikačného systému bonobo šimpanzov od učenia ľudského jazyka. Človek sa učí reč spontánne, dokonca vytvára jazykový systém aj vtedy, keď sa jeho pravidlá nemal odkiaľ naučiť. To dokazuje tzv. kreolizácia jazykov (Bickerton, 1990), ako aj prípady hluchých detí počujúcich rodičov, ktoré spontánne (bez odpozorovania) vyvinú posunkovú reč (Goldin-Meadow a Mylander, 1990). Táto situácia je odlišná u detí, ktoré existujú v sociálnej izolácii. V tých prípadoch nedochádza k adekvátnemu zvládnutiu reči, ak sú jej vystavení po nástupe puberty (Curtiss, 1977).

Napriek tomu existujú indície o idiognózii u niektorých zvieracích druhov. Tieto by preto mohli poukazovať na prinajmenšom centrálnu vedomie. Šimpanzy sa dokážu spoznať v zrkadle, podobne ako deti vo veku 18.-24. mesiacov (Gallup, 1970). Po niekoľkých minútach až dňoch využívajú zrkadlo na pozeranie sa na časti tela, ktoré sú bez zrkadla zraku neprístupné, a okrem toho sa niektoré dokonca dekorujú napr. listami šalátu, ktoré si kladú na hlavu a pritom sa pozorujú v zrkadle (Gallup, 1970, Povinelli, Rulf a spol., 1993). Pozorujú svoju ústnu dutinu, jazyk, zuby. Okrem šimpanzov a bonobo šimpanzov sa takto správajú aj orang-utani a tamaríni (*saguinus oedipus*, prehľad v de Veer a van de Boss, 1999).

U človeka je vývin idiognózie, ak by sme ho posudzovali objektívne, t.j. napr. pomocou zrkadlového testu, tiež zaujímavý (Mans a spol., 1978). Medzi 4. a 6. mesiacom života sa deti správajú k zrkadlu ako k inému dieťaťu, t.j. zrkadlo indukuje sociálne správanie. Koncom prvého roka deti hľadajú za zrkadlom iné dieťa. Potom nastáva fáza vyhybania sa zrkadlu a prejavy spoznania svojho vlastného obrazu nastávajú medzi 18. a 24. mesiacom k dieťaťu na špičku nosa umiestnime značku (napr. bodku spravenú rúžom), bude sa dieťa po pohľade do zrkadla snažiť túto odstrániť (tzv. "rouge test" alebo "mark test"). Najmladšie šimpanzy, ukazujúce to isté správanie, majú 28 - 30 mesiacov (Bard, 1998). Povinelli, Rulf a spol. (1993) na 105 šimpanzoch ukázali, že šimpanzy v priemere tento test splnia až vo veku 4.5 až 8 rokov. Toto je aj obdobie, v ktorom dokážu používať jednoduché nástroje (rozbitie orecha haluzou, lovenie mravcov stebkami trávy). Všetky zdravé deti vo veku dvoch rokov v rouge teste uspejú. U šimpanzov je táto proporcia len okolo 20-30 % aj po tom, ako sa zo súboru odstránia jedinci do 5 rokov (Povinelli, Rulf a spol., 1993). Tieto skutočnosti poukazujú na paralelnosť diskutovaného správania, ale nie na identitu.

Kladie sa teda otázka, do akej miery by takéto správanie mohlo byť determinované vedomím a do akej miery ide o iné mechanizmy. Vzhľadom na horeuvedené rozdiely a na to, že takéto správanie vykazujú okrem fylogeneticky vysokostojacich šimpanzov a orangutanov

aj tamaríni (tzv. novosvetké opice), je opodstatnené predpokladať, že ide o komplexný nevedomý mechanizmus. Vážnym argumentom proti teórii o vedomí vyššieho stupňa je skutočnosť, že ak by tieto zvieratá naozaj vlastnili takéto vedomie, muselo by sa nevyhnutne prejavovať aj v iných oblastiach. O tom nielen chýbajú údaje, ale je dokonca dokázané, že fylogeneticky nižšie opice (včítane novosvetkých opíc!) nevykazujú správanie podporujúce tzv. teóriu mysle (Cheney a Seyfarth, 1990, Mitchell a Anderson, 1993). Teória mysle je definovaná ako pochopenie vlastných mentálnych stavov ako aj stavov iných indivíduí (ich pocitov, motívov, želaní, etc.) a nasledujúce správanie determinované týmto pochopením (Premack a Woodruff, 1978). Ide napr. o pochopenie, v ktorej skrýši bude iné individuum hľadať potravu, ak sme ju v jeho neprítomnosti premiestnili z jednej skrýše do druhej. Zvieratá nechápu, že iné individuum, ktoré premiestnenie potravy z jednej skrýše do druhej nemohlo sledovať, ju bude hľadať na nesprávnom mieste (v pôvodnej skrýši). U ľudí sa fenomén mysle (tzv. "teória mysle") v plnom rozsahu prejavuje až koncom 4. roka, teda neskôr ako je pozitívny rouge test (Gopnik a Meltzoff, 1994). Mohlo by to teda znamenať, že spoznanie svojho obrazu v zrkadle je známka centrálnej reprezentácie vlastného tela, ale nie plného rozvinutia mentálnych reprezentácií a idiognózie. To by mohlo byť aj vysvetlením, prečo nie všetky šimpanzy splnia tento test. Kvalitatívny rozdiel medzi deťmi vo veku 2 roky (všetky splnia rouge test) a šimpanzmi (po 5-tom roku len okolo 30% splní rouge test) je zrejme daný skutočnosťou, že u človeka sa rozvíja spolu s centrálnou reprezentáciou tela aj sebauvedomanie (vedomie vyššieho stupňa). U opíc by mohlo ísť o komplexnú reprezentáciu vlastného tela v somestetike. Jej spojením s motorikou by mohlo vznikáť správanie vykazujúce známky idiognózie. Objav tzv. zrkadlových neurónov u makakov v prefrontálnom areále 6 (prehľad v Rizzolatti a Arbib, 1998) môže tiež vysvetliť mechanizmus rozpoznania v zrkadle. Takéto neuróny generujú akčné potenciály nielen pri siahaní a uchopení predmetov ale aj pri pozorovaní tejto aktivity u iných indivíduí. Znamená to, že tým vo vývoji vzniká možnosť realizácie korelácie medzi aktivitou v zrkadlovom obraze a vlastnou aktivitou. Ak má teda zviera mentálnu možnosť invertovať zrkadlový obraz, dostáva schopnosť rozoznať, že individuum v zrkadle koná rovnako ako ono⁸. Podobne aj iné behaviorálne dáta nepodporujú hypotézu, že zvieratá majú rozšírené vedomie. Správanie pripomínajúce imitáciu, mnohokrát popísané u opíc, nie je dostatočným dôkazom, pretože takéto správanie môže vznikáť aj inak ako skutočným napodobňovaním (Heyes, 1998). Aj niektoré fylogeneticky nízko stojace živočíchy dokážu predčiť opice v "schopnosti imitácie" - napr. havrani. Iné živočíchy zasa túto schopnosť zjavne vôbec nemajú. Je preto otázne, nakoľko imitácia indikuje teóriu mysle a vedomie. Mnohé údaje o imitácii sú sporné. Umývanie zemiakov, často opísaný príklad u japonských makakov, možno vysvetliť aj bez imitácie (Galef, 1992). Schopnosť opíc klamať je síce zdokumentovaná (prehľad v Cheney a Seyfarth, 1990b), ale implikácie tejto skutočnosti na teóriu mysle nie sú celkom jednoznačné. Nie je totiž jasné, či je spojená so zámerom vytvoriť alebo udržať stav ignorovania chybného presvedčenia u iného zvieratá (recentný prehľad behaviorálnych dát a diskusia interpretácie týchto dát v práci Heyesovej, 2000 a "open peer" komentároch za týmto článkom, ako aj v Macphail, 1998).

V každom prípade je však správanie bonobo-šimpanzov, šimpanzov, orangutanov a goríl tak výnimočné v porovnaní s inými živočíchmi, že zvlášť u bonobo šimpanzov nemožno s istotou vylúčiť centrálnu vedomie. U zvierat stojacich vo vývinovom rebríčku nižšie môže byť prítomné primárne vedomie, zatiaľ čo o centrálnom možno pochybovať (aj keď sa nedá vylúčiť). Dôvodom, prečo niektoré zvieratá nemusia splniť rouge test, je skutočnosť, že

⁸ Interpretácia zrkadlových neurónov v zmysle prekursora komunikačných schopností je tiež možná, pričom Rizzolatti a Arbib (1998) predpokladajú fylogenetický súvis s areálom 44 (Broca).

priamy pohľad z očí do očí je pre ne nepriateľským znakom (napr. gorila). Napriek tomu napr. mačky, ktoré tiež vnímajú priamy pohľad nepriateľsky, vykazujú zodpovedajúce sociálne správanie voči vlastnému zrkadlovému obrazu (voňajú ho, atakujú ho, etc.).

Vedomie vyššieho stupňa je preto špecificky ľudským fenoménom. Možno opodstatnene predpokladať, že v momente, keď vznikne schopnosť odpútať sa od momentálnych sensorických podnetov, vznikne aj možnosť aktívne riadiť svoj mentálny svet. Pravdepodobne je vznik mentálneho priestoru možný až po vzniku reprezentácií, ktoré sú nezávislé od zmyslových orgánov a môžu existovať aj bez nich, teda súvisí aj s objavením sa amodálnych reprezentácií a jazyka. V tomto momente pravdepodobne vzniká nielen potreba, ale aj možnosť komunikovať. Vzhľadom na možnosti amodálnych asociácií vzniká predpoklad existencie mentálnych symbolov, ktoré nie sú priamo viazané na podnety z prostredia. Amodálne reprezentácie sú totiž individuálne, v reálnom svete neexistujúce objekty (Platónov svet ideálnych foriem). Je to dané skutočnosťou že vznikajú zo syntézy vnemov charakteru qualia (plniace pero spoznám po hmate, spoznám jeho oblý tvar, čiernu farbu a bielu hviezdu na čiapočke, ale to len preto, lebo toto všetko vnímam, v realite ale existujú len elektromagnetické vlnenia a žiadne farby alebo hmatové charakteristiky). Amodálne reprezentácie preto nevyžadujú priamo podnet, môžem ich generovať aj bez neho. Toto všetko sú predpoklady pre možnosť komunikácie rečou, ako to definovali lingvisti. Jazyk je aj ďalším podmieňujúcim krokom vo vývoji vedomia. Tieto dva fenomény vznikajú v úzkej súvislosti a vyvíjajú sa spoločne (Kráľ, 1974). Vo vývoji človeka došlo k skutočnej explózií až pri objavení sa homo habilis. Homo habilis pravdepodobne ako prvý vo vývoji vlastnil neurologické predpoklady vzniku mentálneho priestoru a amodálnych reprezentácií. Až tak mohla vzniknúť reprezentácia seba, pretože "Ja" je samo o sebe amodálny virtuálny objekt. Až homo sapiens zanechal rozsiahle kultúrne artefakty, vyrábal zbrane, nádoby a spústu nástrojov a pravdepodobne až on vlastnili reč.

Z uvedeného prehľadu literatúry možno vyvodit' nasledujúci hypotetický záver. Pozitívny rouge test pravdepodobne nie je známkou **vedomej** reprezentácie tela, ale len komplexnej reakcie v dôsledku existencie somatotopických kárt a ich spojenia s motorikou. Idiognózia je umožnená až vznikom amodálnych reprezentácií, mentálneho pracovného priestoru (mentálneho sveta), abstrakcie myslenia a reči. Tieto fenomény pravdepodobne vznikli vo vývoji súčasne a navzájom sa ovplyvňovali.

Záver

Napriek filozofickým problémom sme sa pokúsili predstaviť súvislú tézu o neurofyziologickej báze vedomia. Principiálne je potrebné konštatovať, že mnohé procesy, ktoré sú charakterizované ako vôľovo riadené, sú buď spúšťané vedomím a retrodatované, alebo sú nevedome mentálne iniciované. Vedomými sa stávajú neskôr (niekoľko 100 ms). Z druhej alternatívy pochopiteľne nevyplýva, že človek nemá slobodnú vôľu. Znamená to len, že uvedomenie si tejto vôle nastáva až po tom, čo vznikla, a nie súčasne. Tretia alternatíva je, že "vôľové" procesy sú neurálne iniciované, a mentálny svet (vedomie) z týchto popudov vyberá tie, ktoré nechá realizovať, a ostatné inhibuje.

Vedomie je aktívne generovaný fenomén. Subjektívny priebeh času je vysvetliteľný tak, že v momentoch, kedy sa vedomie aktívne negeneruje, neprebíha ani subjektívny čas.

Tu prezentovaný neurofyziologický podklad vedomých procesov je myšlienkový experiment. Predpokladá súvis amodálnych reprezentácií objektov, reči, reprezentácie vlastného organizmu v somestetickom systéme na niekoľkých úrovniach, a vznik amodálnych pamäťových stôp vo fenoméne vedomia. Neurálny predpoklad vzniku amodálnych reprezentácií sa naozaj objavil vo fylogénze paralelne s explóziou kultúry a pravdepodobne

aj s objavením sa reči. Na druhej strane je nejasné, či podstatný rozdiel medzi mozgom človeka a zvierat je v cytoarchitektonike. Predstaviteľné je, že zmeny vo funkčnej neuroanatómii ako aj vo funkčných vlastnostiach neurónov majú podstatnú účasť na zmene mentálnych reprezentácií. Vedomie samotné sa nemôže zatvoriť do teraz poznaných štruktúr, mikroskopických obrazov a funkcií.

Všetko, čo človek (vedome) koná, teda aj samotné sabauvedomenie, je čin, resp. dej a z neho vychodiaci stav. Aj vedomie (sebauvedomenie) musí súvisieť s činnosťou mozgu, hoci sa nedá redukovať na neurofyziologické procesy. Vedomie ako reflektované a (hodnotovo) orientované bytie je ideálna entita. Tým sa vymyká z priameho dosahu prírodných vied. Napriek tomu je užitočné štúdium (vedecké poznávanie) všetkých dostupných procesov, ktoré s vedomím súvisia. Najvyššiu časť z nich by sme azda mohli pokladať za kritické miesto, kde sa uskutočňuje dotyk fyziologického a ideálneho v žijúcom človekovi.

Pod'akovanie

Prof. Ábelovi Kráľovi ďakujú autori za podnety a početné kritické komentáre k rukopisu. A.K. ďakuje Dr. Jochenovi Tilleinovi za cenné diskusie problému neurofyziológie vedomia a mozgovej kôry ako aj za spoluprácu pri mnohých experimentoch, ktorých výsledky prispeli k vzniku tejto práce. Podporené grantom DFG, NSR (SFB 269).

Literatúra:

Augustinus A (397): Confessiones. Vydanie z r. 1982, Bekentnisse, Deutscher Taschenbuchverlag Muenchen.

Baars B (1988): A Cognitive Theory of Consciousness. Cambridge Univ. Press, Cambridge, MA.

Baars B (1998): Metaphors of consciousness and attention in the brain. *Trends Neurosci* 21: 58-62.

Bard KA (1998): Imitation and mirror self-recognition may be developmental precursors to theory of mind in human and non-human primates. *Behav Brain Sci* 21: 115.

Bechara A, Tranel D, Damasio H, Damasio A (1996): Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to the prefrontal cortex. *Cereb Cortex* 6: 215-225.

Bernard JF, Bandler R (1998): Parallel circuits for emotional coping behavior. *J Comp Neurol* 401: 429-436.

Bickerton D (1990): Language and Species. Univ. of Chicago Press.

Brodmann K (1909): Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde. Verlag J.A.Barth, Leipzig.

Bushara KO, Weeks RA, Ishii K, Catalan MR, Tian B, Rauschecker JP, Hallett M (1999): Modality-specific frontal and parietal areas for auditory and visual spatial localization in humans. *Nat Neurosci* 2: 759-766.

Chalmers D (1996): Facing up the problem of consciousness. In: Hameroff SR, Kaszniak AW, Scott AC (eds): Toward a Science of Consciousness and Debates. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, str. 5-28.

Cheney D, Seyfarth R (1990): Attending to behavior vs. attending to knowledge: examining monkey's attribution of mental states. *Animal Behavior* 40: 742-753.

Cheney D, Seyfarth R (1990b): How Monkeys See the World. Chicago Univ. Press.

- Churchland P, Churchland P (1998): *On the Contrary*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Crick F, Koch Ch (1995): Are we aware of neural activity in the primary visual cortex? *Nature* 375: 121-123.
- Curtiss S (1977): *Genie: A Psycholinguistic Study of a Modern-day 'wild child'*. Academic Press.
- Damasio AR (1999): *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*. Harcourt Brace, New York, San Diego, London.
- De Veer MW, van den Boss R (1999): A critical review of methodology and interpretation of mirror self-recognition research in non-human primates. *Animal Behaviour* 58: 459-468.
- Dennett DC (1988): Quining Qualia. In: Marcel AJ, Bisiach E (eds): *Consciousness in Contemporary Science*. Oxford: Clarendon, pp. 42-77.
- Eccles JC (1990): *Die Psyche des Menschen*. Piper, Muenchen.
- Edelman GM (1989): *The Remembered Present. A Biological Theory of Consciousness*. Basic Books, New York.
- Engel AK, Roelfsema PR, Fries P, Brecht M, Singer W (1997): Role of temporal domain for response selection and perceptual binding. *Cereb Cortex* 7: 571-582.
- Ettlinger G (1981): The relationship between metaphorical and cross-modal abilities: Failure to demonstrate metaphorical recognition in chimpanzees capable of cross-modal recognition. *Neuropsychologia* 19(4): 583-586.
- Ettlinger G, Wilson WA (1990): Cross-modal performance: Behavioral processes, phylogenetic considerations and neural mechanisms. *Beh Brain Res* 40: 169-192.
- Falk D (1985): Hadar AL 162-28 endocast as evidence that brain enlargement preceded cortical reorganization in hominid evolution. *Nature* 313: 45-47.
- Fellerman DJ, van Essen DC (1991): Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cereb Cortex* 1:1-47.
- Galef BG (1992): The question of animal culture. *Human Nature* 3: 157-178.
- Galilei G (1632): *Dialogue Concerning the Two Chief World Problems*. Transl. S. Drake, Berkeley, Univ. of California Press, 1962.
- Gallagher S (2000): Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends Cog Sci* 4: 14-21.
- Gallup GG Jr (1970): Chimpanzees: self-recognition. *Science* 167: 86-87.
- Geschwind N (1965): Disconnection syndromes in animals and man. *Brain* 88: 237-294, 585-644.
- Goedel K (1931): Ueber formal unentscheidbare Saetze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. *Monatsheft fuer Mathematik und Physik* 38: 173-198.
- Goldin-Meadow S, Mylander C (1990): Beyond the input given: The child's role in the acquisition of language. *Language* 66: 323-355.
- Goldman-Rakic PS (1984): The frontal lobes: Uncharted provinces of the brain. *Trend Neurosci* 7: 425-429.
- Gopnik A, Meltzoff AN (1994): Minds, bodies and persons: young children's understanding of the self and others as reflected by imitation and theory of mind research. In: Parker ST, Mitchell RW, Boccia ML (eds): *Self-Awareness in Animals and Humans*. Cambridge: Cambridge Univ. Press., 166-186.
- Gould SJ, Marler P (1987): Learning by instinct. *Scientific American* 256: 62-73.

- Greenfield PM (1992): Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behav Brain Sci* 14: 531-595.
- Haldane E, Ross G (1978): The Philosophical Work of Descartes, vol. 1 a 2. Cabridge Univ. Press, Cambridge.
- Hayek von FA (1952): The Sensory Order. Routledge and Kegan Paul, London, Univ. of Chicago Press, Chicago.
- Heyes CM (1998): Theory of mind in non-human primates. *Behav Brain Sci* 21: 101-148. (open peer komentáre a reakcia autorky na str. 115-148)
- Holman SD (1998): Neuronal cell death during sexual differentiation and lateralisation of vocal communication. *Neurosci Biobehav Rev* 22: 725-734.
- Hofstadter DR (1988): Godel, Escher, Bach: Ein endloses geflochtenes Band. Stuttgart, Klett-Kotta, 11. vydanie.
- Howartd MA, Volkov IO, Mirsky R, Garell PC, Noh MD, Granner M, Damasio H, Steinschenider M, Reale RA, Hind JE, Brugge JF (2000): Auditory cortex on the human posterior superior temporal gyrus. *J Comp Neurol* 416: 79-92.
- Hume D (1739): A Treatise of Human Nature. Claredon Press (reprinted 1975).
- James W (1893): Psychology: Briefer Course. New York, Henry Holt.
- James W (1950): The Principles of Psychology. Vol. 1. Reprint. New York, Dover.
- Kaas JH (1987): The Organization and Evolution of Neocortex. In: Wise SP (ed.): Higher Brain Functions. John Wiley and Sons, New York. pp. 347-378.
- Kant I (1781): Critique of Pure Reason. Transl. Kemp Smith N (1929): MacMillan and Co., London.
- Kant I (1796): Nachwort zum Soemmering ST: Organ der Seele. Dotlač 1966, EJ Bousset, Amsterdam, str. 81-86.
- Kirzinger A, Jurgens U (1985): The effects of brainstem lesions on vocalization of the squirrel monkey. *Brain Res* 358: 150-162.
- Klinke R, Král' A, Heid S, Tillein J, Hartmann R (1999): Recruitment of the auditory cortex in congenitally deaf cats by long-term electrostimulation. *Science* 285: 1729-1733.
- Král' Á (1974): Model rečového mechanizmu. Veda, Bratislava.
- Král' A, Majerník V (1996a): On lateral inhibition in the auditory system. *Gen Physiol Biophys* 15: 109-127.
- Král' A, Majerník V (1996b): Neural networks simulating the frequency discrimination of hearing. *Biol Cybern* 74: 359-366.
- Král' A (1998a): Autonómny nervový systém. In: Hulín I (ed.): Patofyziológia. Slovak Academic Press, 990-999.
- Král' A (1998b): Patofyziológia zmyslových orgánov. In: Hulín I (ed.): Patofyziológia. Slovak Academic Press, 1003-1032.
- Král' A, Tillein J, Hartmann R, Klinke R (1999): Monitoring of anaesthesia in neurophysiological experiemnts. *NeuroReport* 10: 781-787.
- Král' A, Hartmann R, Mortazavi D, Klinke R (1998): Spatial resolution of cochlear implants: The electrical field and excitation of auditory afferents. *Hear Res* 121: 11-28.
- Král' A, Hartmann R, Tillein J, Heid S, Klinke R (2000): Congenital auditory deprivation reduces synaptic activity within the auditory cortex in a layer specific manner. *Cereb Cortex* 10: 714-726.

- Kolb B, Whishaw IQ (1993): Neuropsychologie. Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Kuypers HGJM (1958): Corticobulbar connections to the pons and lower brainstem in man. *Brain* 81: 299-315.
- Kvasnička V, Beňušková Ľ, Farkaš I, Pospíchal J, Tiňo P, Král' A (1997): Úvod do teórie neurónových sietí. IRIS, Bratislava.
- Kyuhou S, Gemba H (1998): Two vocalization-related subregions in the midbrain periaqueductal gray of the guinea pig. *NeuroReport* 9: 1607-1610.
- Libet B (1978): Neuronal vs. subjective timing for a conscious sensory experience. In: Buser PA, Rougeul-Buser A (eds): Cerebral Correlates of Conscious Experience. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, str. 69-82.
- Libet B, Gleason CA, Wright EW, Pearl DK (1983): Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness potential). *Brain* 106: 623-642.
- Llinás R, Paré D (1991): Of dreaming and wakefulness. *Neuroscience* 44: 521-535.
- Macphail EM (1998): The Evolution of Consciousness. Oxford Univ. Press, Oxford, New York, Tokyo.
- Mans L, Cicchetti O, Sroufe LA (1978): Mirror reactions of Down's syndrome infants and toddlers: cognitive underpinnings of self-recognition. *Child Development* 49: 1247-1250.
- Mitchell RW, Anderson JR (1993): Discrimination learning of scratching, but failure to obtain imitation and self-recognition in a long-tailed macaque. *Primates* 34: 301-309.
- Muller-Preuss P, Ploog D (1981): Inhibition of auditory cortical neurons during phonation. *Brain Res* 215: 61-76.
- Munk MHJ, Roelfsema PR, Koenig P, Engel AK, Singer W (1996): Role of reticular activation in the modulation of intracortical synchronization. *Science* 272: 271-274.
- Nisser U (1988): Five kinds of self-knowledge. *Philos Psychol* 1: 35-59.
- Nagel T (1974): What is it like to be a bat? *Seminars in Neuroscience* 2: 263-275.
- Newman B, Baars B (1993): A neural attentional model for access to consciousness: A global workspace perspective. *Concepts in Neuroscience* 4: 255-290.
- Ornstein RE (1963): On the Experience of Time. Harmondsworth, England.
- Pandya D, Yeterian EH (1985): Architecture and connections of cortical association areas. In: Jones EG, Peters A (eds): Association and auditory cortices. Plenum Press, 3 - 61.
- Parvizi J, Van Hoesen GW, Damasio A (1998): Severe pathological changes of the parabrachial nucleus in Alzheimer's disease. *NeuroReport* 9: 4151-4154.
- Pinker S (1996): Das Sprachinstinkt. Kindler, Muenchen.
- Poeppel E (1985): Grenzen des Bewusstseins. Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH, Munchen.
- Poeppel D (1996): A critical review of PET studies in phonological processing. *Brain Lang* 55: 317-351.
- Popper KR, Eccles JC (1982): Das Ich und sein Gehirn. Piper Verlag, Munchen.
- Posner MI, Pettersen SE (1990): The attentional system of the human brain. *Ann Rev Neurosci* 13: 25-42.
- Povinelli DJ, Rulf AB, Landau RK, Bierschwale DT (1993): Self-recognition in chimpanzees (Pan troglodytes): distribution, ontogeny, and patterns of emergence. *J Comp Psychol* 107: 347-372.

- Premack D (1988): Minds with and without language. In: Weiskrantz L (ed.): Thought without Language. Oxford: Clarendon, pp. 46-65.
- Premack D, Woodruff G (1978): Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behav Brain Sci* 1: 515-526.
- Putman H (1975): Mind, Language and Reality (philosophical papers). Cambridge, England, Cambridge Univ. Press.
- Putman H (1988): Representation and Reality. Cambridge, MIT Press.
- Rizzolatti G, Arbib MA (1998): Language within our grasp. *Trends Neurosci* 21: 188-194.
- Robinson BW (1972): Limbic influences on human speech. *Ann New York Acad Sci* 280: 761-771.
- Roth G (1997): Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Frankfurt, Suhrkamp.
- Sanides F (1975): Comparative neurology of the temporal lobe in primates including man with reference to speech. *Brain Lang* 2: 396-419.
- Savage-Rumbaugh ES (1991): Language learning in the bonobo: how and why they learn. In: Krasnegor NA, Rumbaugh DM, Schiefelbusch RL, Studdert-Kennedy M (eds): Biological and Behavioral Determinants of Language Development. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- Searle JR (1979): What is an intentional state? *Mind* 88: 72-94.
- Searle JR (1980): Minds, Brains and Programs. *Behav Brain Sci* 3: 417-424.
- Sečenov IM (1863): Reflexy golovnogo mozga. Sv. Petrohrad.
- Steriade M (1991): Basic mechanisms of sleep generation. *Neurology* 42: 9-17.
- Steriade M (1996): Arousal: revisiting the reticular activating system. *Science* 272: 225-226.
- Steriade M (1997): Synchronized activities of coupled oscillators in the cerebral cortex and thalamus at different levels of vigilance. *Cereb Cortex* 7: 583-604.
- Tallal P, Schwartz J (1980): Temporal processing, speech perception and hemispheric asymmetry. *Trend Neurosci* 3: 309-311.
- Tobias PV (1987): The brain of Homo habilis: a new level of organization in cerebral evolution. *J Hum Evol* 16: 741-761.
- Tononi G, Sporns O, Edelman G (1992): Reentry and the problem of integrating multiple cortical areas: Simulation of dynamic integration in the visual system. *Cereb Cortex* 2: 310-335.
- Tononi G, Edelman G (1998): Neuroscience: consciousness and complexity. *Science* 282: 1846-1851.
- Tye M (1995): Ten Problems of Consciousness: A Representational Theory of the Phenomenal Mind. MIT Press.
- Vierodt K (1868): Der Zeitsinn nach Versuchen. Tuebingen.
- Watson RT, Valenstein E, Day A, Heilman KM (1994): Posterior neocortical systems subserving awareness and neglect. *Arch Neurol* 51: 1014-1021.
- Wilkins WK, Wakefield J (1995): Brain evolution and neurolinguistic preconditions *Behav Brain Res* 18: 161-182.
- Wilson EO (1972): Animal communication. *Scientific American* 227: 52-60.
- Wundt W (1911): Einfuehrung in die Psychologie. Leipzig.