

# Jazyk, mozog a evolúcia

Igor Farkaš\*

Laboratórium neurónových sietí

Ústav merania SAV, Bratislava

**Abstrakt:** V príspevku pojednávame o jazyku ako o kognitívnej schopnosti človeka, na nadobudnutie ktorej existujú dve hlavné triedy pohľadov: lingvistickej a neurobiologický. Oba pohľady sa značne líšia aj v názore na evolúciu jazyka. Väčšina lingvistov chápe jazyk ako niečo unikátné, čo vzniklo u človeka pomene nedávno, a kladú ho tak na piedestál tvorstva na Zemi. Neurobiologický pohľad „zdola“ kladie vznik jazyka do rámca kontinuálneho rozvoja kognitívnych schopností, ktoré sa vyuvinuli u človeka v priebehu Darwinovej evolúcie. V príspevku kladieme dôraz na pohľad zdola, v prospech ktorého hovoria viaceré pozorovania z psychológie a kognitívnych neurovied, ako aj simulačné modely akvizície jazyka a evolúcie. V prvej časti príspevku sa venujeme jazyku a jeho modelovaniu pomocou umelých neurónových sietí. V druhej časti sa zameriame na vzťah jazyka a mozgu, ktorý je nutné poznať, ak chceme konštruovať biologicky priateľné modely jazykových funkcií. V tretej časti stručne poukazujeme na rozdielnosť názorových prúdov týkajúcich sa evolúcie jazykov aj v rámci samotného evolučného pohľadu, ktoré implikujú, že otázka evolúcie jazykov nie je v súčasnosti ani zdáleka vyriešená.

## 1. Jazyk a jeho charakteristiky

Jazyk, ktorým je obdaréný človek, má viacero kultúrnych, spoločenských a personálnych funkcií; primárnu je zrejme schopnosť dorozumieť sa (Crystal, 1997). V bežnom živote vnímame túto schopnosť ako samozrejmosť, ale ako komplexná kognitívna činnosť pútala jazyk pozornosť jazykovedcov, filozofov, psychológov a biológov celé desaťročia. Napriek tomu, že všetky vedné odbory zaobrájúce sa jazykom po nejakej stránke pokročili vo výskume, stále ostáva pomerne veľa nezodpovedaných otázok, alebo len hypotézy, ktoré nahrádzajú odpovede. My sa v tomto príspevku zameriame na otázky týkajúce sa neurobiologických korelátov jazyka (t.j. ako je jazyk reprezentovaný a spracovávaný v mozgu) a na hypotézy týkajúce sa evolúcie jazyka.

V súčasnej lingvistike sa jazyk popisuje ako hierarchický systém pozostávajúci z viacerých lingvistických úrovni: *akustickej* (fonetika a fonológia), *gramatickej* (morfológia a syntax), *sémantickej* (lexikon a diskurz) a *pragmatickej* (Crystal, 1997). Na každej úrovni existujú v každom jazyku obmedzenia čo sa týka spájania do celkov (napr. sekvencie hlások, spájanie slov do fráz, atď.), vďaka čomu má jazyk štruktúru. Najmarkantnejšie sa štruktúra jazyka prejavuje na úrovni gramatiky, ktorá predstavuje akýsi rámec definujúci pravidlá spájania slov z pohľadu slovných tried.<sup>1</sup> Najvplyvnejším teoretikom v tejto oblasti bol americký lingvista Noam Chomsky, ktorý zaviedol koncept *generatívnej gramatiky*, z ktorej sa dajú odvodíť gramatiky všetkých jazykov (Chomsky, 1957).

Pri bežnej komunikácii v rodnom jazyku si človek štruktúru (gramatiku) jazyka neuvedomuje a je schopný vnímať alebo produkovať vety bez akejkoľvek námahy. Jedine v prípade učenia sa cudzemu jazyku v dospelosti býva často šokovaný jeho zložitosťou. Dieťa prichádza na svet ako nemluvňa, avšak v priebehu niekolkých rokov už jazyk ovláda. Naučí sa ho vyslovene empiricky<sup>2</sup> a je schopné podchytiť jeho podstatu (štrukturálne vzťahy) priamo z povrchovej formy (v ktorej sa jazyk pri reči prezentuje), navyše len z pozitívnych príkladov a viac-menej bez explicitnej korekcie chýb (rodičmi). Tieto skutočnosti ontogenézy jazyka primäri Chomského vyslovili presvedčenie, že dieťa musí prichádzať na svet s vrodenou jazykovou kompetenciou v podobe *univerzálnnej gramatiky* (lebo všetky jazyky majú túto „hlbokú štruktúru“ rovnakú), ktorá sídli v *jazykovom orgáne mozgu*, LAD (angl. language acquisition device). Toto tvrdenie bolo neskôr podporené i logickým dôkazom (Gold, 1967), ktorého záverom bolo, že bez explicitnej korekcie chýb nie je možné (ani teoreticky) sa induktívne naučiť pravidlá gramatiky, ktoré majú štrukturálnu zložitosť prirodzeného jazyka. Dôvodom je nielen komplexita, ale aj to, že medzi pravidlami a vonkajšou formou viet nie je priame zobrazenie, čo vyúsťuje v kombinatorický problém pri snahe hľadať štruktúry z viet.

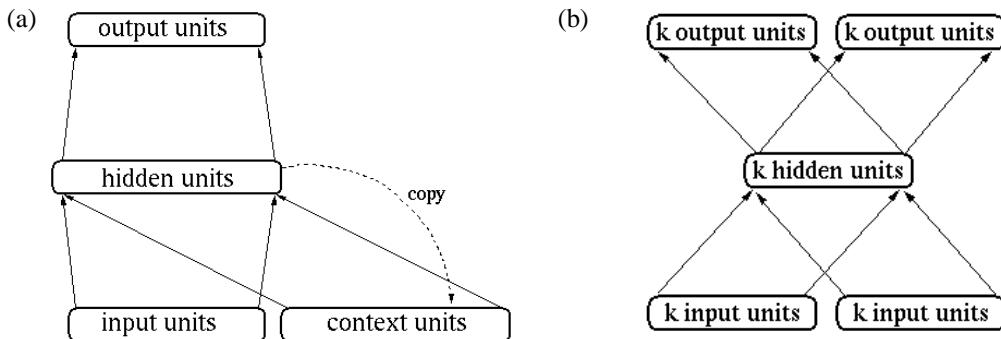
\* umerfark@savba.sk, http://nic.savba.sk/~umerfark.

<sup>1</sup> Je zrejmé, že pre dosiahnutie porozumiteľnosti jazyku sú tieto pravidlá nutnou, ale nepostačujúcou podmienkou. Nevyhnutné sú i sémanticke obmedzenia, ktoré sú dané vlastnosťami sveta, v ktorom žijeme.

<sup>2</sup> na rozdiel od jazykových škôl, kde býva metodika výuky cudzieho jazyka zjavne odlišná

## 1.2. Modelovanie jazyka pomocou umelých neurónových sietí

Umelé neurónové siete (tiež nazývané konekcionistické systémy) sa ukázali ako veľmi úspešný nástroj na modelovanie kognitívnych činností človeka, ako aj rôznych praktických úloh vyžadujúcich spracovanie informácie (Haykin, 1994; Churchland a Sejnowski, 1992; Kvasnička a spol., 1997). V oblasti kognitívneho modelovania je ich prednosťou to, že neurálny prístup do istej miery napodobňuje princípy spracovania informácie v mozgu a umožňuje tak simulaovať viaceré kognitívne prejavy človeka pozorované pri psychofyzických experimentoch alebo pri poruchách mozgu (napr. robustnosť voči šumu, postupná degradácia pri poruchách, pamäťové funkcie a iné). Hlavne v priebehu posledných desiatich rokov bolo navrhnutých pomerne veľa modelov neurónových sietí zameraných na rôzne funkcie jazyka ako percepcia reči, morfológia, spracovanie viet (akvizícia jazyka), produkcia jazyka a čítanie (Christiansen a Chater, 1999). Na ilustráciu uvedieme dve najčastejšie používané architektúry neurónových sietí: jedna je zameraná na akvizíciu jazyka (modelovanie vývinu reči u detí), druhá na reprezentáciu dátových štruktúr (Obr.1).



**Obrázok 1:** Dva najčastejšie používané modely umelých neurónových sietí na spracovanie jazyka, trénované pomocou algoritmu spätného šírenia chyby (angl. back-propagation). **(a)** Jednoduchá rekurentná sieť (SRN) na modelovanie jazyka. V každom kroku sa na vrstvu vstupných neurónov predloží slovo vety a sieť má cieľ na svojom výstupe predikovať, aké slovo (slovna kategória) bude nasledovať. Na skrytej vrstve neurónov si sieť vytvára vnútornú reprezentáciu toho, čo už videla, pretože táto reprezentácia sa vždy aktualizuje ako kombinácia tejto reprezentácie z predchádzajúceho kroku s aktuálnym vstupom. **(b)** Rekurzívna autoasociatívna pamäť (RAAM) na vytváranie reprezentácie (kódovanie) štruktúrovaných dát. Podobne ako u SRN, i tu sa reprezentácia vytvára na skrytej vrstve neurónov, avšak sieť pracuje ako autoasociátor. Po natrénovaní na kódovanie stačí použiť dolnú časť siete, na dekódovanie hornú časť.

### 1.2.1. Modelovanie akvizície jazyka

Aplikácia neurónových sietí na učenie jazyka priniesla so sebou nový pohľad na tento proces. Na rozdiel od symbolických systémov, v ktorých naučenie jazyka odpovedá naučeniu pravidiel (v duchu lingvistickeho pohľadu), neurónové siete implikujú pohľad na jazyk ako na *stochastický (náhodný) proces*, ktorý má v sebe určité pravdepodobnostné obmedzenia<sup>3</sup> (Seidenberg, 1997). Neurónové siete sú vlastne samo osebe štatisticky založené učiace systémy, ktoré sú schopné extrahovať zo vstupných dát existujúce regulárnosti a korelácie.

Najčastejšie používaným modelom neurónovej siete na akvizíciu jazyka je jednoduchá rekurentná sieť (angl. simple recurrent network, SRN; Elman, 1991). Pri modelovaní jazyka ako stochastického procesu pomocou SRN (Obr.1a) sa vychádza predpokladu, že ak neurónová sieť bude pracovať ako úspešný prediktor (t.j. že pri predkladaní viet slovo po slove na vstup bude vedieť s veľkou pravdepodobnosťou správne predikovať svojím výstupom, aké slovo alebo slovná kategória má nasledovať), znamená to, že „pochopila“ jazyk, na ktorom bola natrénovaná. Elman (1993) použil rozšírenú<sup>4</sup> SRN, ktorá sa dokázala naučiť jednoduchší typ bezkontextovej gramatiky (ktorá pomerne dobre popisuje prirodzený jazyk) výlučne na základe pozitívnych príkladov (gramaticky správnych viet). Sieť pritom učil spôsobom podobným ako sa učí dieťa (t.j. od jednoduchšieho k zložitejšiemu, v duchu konceptu „menej je viac“, ktorý zaviedla Newport, 1990).<sup>5</sup> Elman záverom usúdil, že takáto stratégia uľahčuje učenie jazyka. Táto hypotéza sa prekvapujúco nepotvrdila v následnej práci (Rohde a Plaut, 1999), v ktorej autori na základe výsledkov simulácií dospeli k záveru, že takáto explicitná stratégia nie je nutná, pretože SRN má inherentne takú učiacu vlastnosť, vďaka ktorej najprv extrahuje jednoduchšie

<sup>3</sup> dané syntaxou a sémantikou jazyka

<sup>4</sup> Medzi vstupnú a skrytú vrstvu, a medzi skrytú a výstupnú vrstvu neurónov vložil ešte po jednej vrstve neurónov s trénovateľnými spojeniami, aby sa zvýšila aproximáčná schopnosť siete.

<sup>5</sup> Túto stratégiju učenia realizoval Elman dvoma spôsobmi: (a) predkladaním najprv jednoduchších viet, potom zložitejších, (b) okliešťovaním pamäti sieti (ktorú sieť má vďaka spätnej väzbe) tým, že ju z času načas vynuloval, a potom intervale medzi vynulovaniami predĺžoval.

regulárnosti a potom tie zložitejšie. Obe práce však spoločne poukázali na fakt, že nejaký učiaci systém je schopný sa naučiť (jednoduchší) bezkontextový jazyk bez apriornej znalosti gramatiky, a to len z pozitívnych príkladov (čo Goldov dôkaz vylučoval). V kontexte akvizície jazyka u človeka tak vzniká otázka, či sa človek vôbec musí narodiť so znalosťou gramatických univerzálií, alebo dostáva do vienia schopnosť naučiť sa jazyk v nejakej inej forme.

### 1.2.2. Reprezentácia štruktúrovaných dát

Jazyk je úzko spojený s myslením. Aby bol človek schopný myslieť, musí mať zrejme vybudované vnútorné reprezentácie popisujúce svet, ktorý ho obklopuje. Vďaka takému vnútornému modelu sveta je potom schopný realizovať svoje myšlienkové pochody a taktiež pochopiť stav myseľ iného človeka, t.j. jeho úmysly či pocity. Pre entity vonkajšieho sveta, ktoré popisujeme slovami-symbolmi je charakteristické, že medzi nimi existujú nejaké vzťahy. Tieto vzťahy sa dajú dobre popísat' *rekurzívnymi štruktúrami symbolov* (stromy, sekvencie) a *operáciami* s týmito štruktúrami.

Modelovanie schopnosti človeka „štrukturálne myslieť“ bolo v minulých desaťročiach doménou symbolických systémov. Neurónové siete boli podrobene kritike, že ich subsymbolický<sup>6</sup> prístup nemá potrebnú kapacitu, ktorá by im umožňovala realizovať *systematické reprezentácie*<sup>7</sup> symbolických štruktúr a ich transformácie (Fodor a Pylyshyn, 1988). Táto kritika však vyústila v radoch konekcionistov vo zvýšené úsilie s cieľom ukázať, že i neurónové siete majú takúto reprezentáčnu schopnosť (Sharkey, 1991). Bolo navrhnutých viacerých modelov, ktoré umožňujú systematicky reprezentovať štruktúrované dátá ako aj operácie s nimi, a tiež riešiť s tým súvisiaci problém väzby<sup>8</sup> (angl. binding problem). Medzi najznámejšie príklady navrhnutých modelov patrí rekurzívna autoasociatívna pamäť (Pollack, 1991), modely založené na tenzorových produktoch (Smolensky, 1990; Plate, 1995) a modely využívajúce princíp synchronicity aktivít neurónov (Shastri a Ajjanagadde, 1993; Hummel a Holyoak, 1997).

Ako príklad uvedieme rekurzívnu autoasociatívnu pamäť (angl. recursive autoassociative memory, RAAM, Obr. 1b), ktorá sa používala doteraz najčastejšie. Ak potrebujeme napr. zakódovať strom B(AB), najprv dámme na vstupy dvojicu AB, v ďalšom kroku aktivitu zo skrytej vrstvy skopírujeme na pravý vstup a na ľavý vstup dámme B. Teraz vypočítaná aktivita na skrytej vrstve už predstavuje požadovanú reprezentáciu. Empirické štúdie ukázali, že takéto reprezentácie majú vlastnosť systematicnosti, a umožňujú tak aj ich transformácie. Trénovanie RAAM je však výpočtovo veľmi náročné a preto jej použitie na väčšie, reálnejsie úlohy ostáva problémom.

Vyššie uvedené ako aj ďalšie existujúce architektúry umožňujú modelovať viaceré aspekty jazyka, sú to však umelé neurónové siete, ktoré len málo hovoria o tom, ako jazyk v mozgu naozaj funguje. Aby sme boli schopní vytvárať biologicky priateľnejšie modely, nemôžeme ignorovať neurobiologické koreláty jazyka v mozgu.

## 2. Vzťah jazyka a mozgu

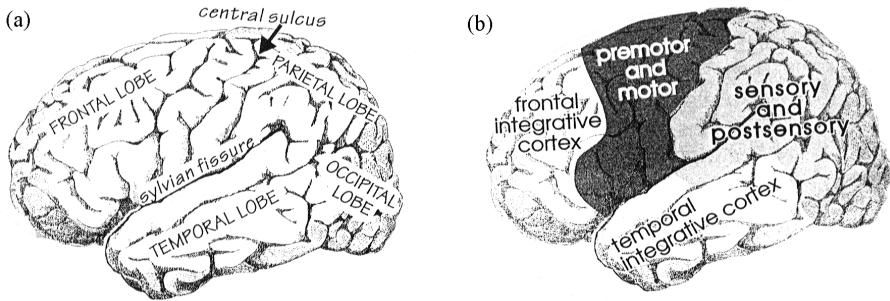
Klasický pohľad na vzťah jazyka a mozgu bol taký (Adams a Victor, 1993), že existujú tri centrá v mozgu (u veľkej väčšiny ľudí v dominantnej, ľavej hemisfére), z toho dve receptívne a jedna exekutívna: (a) *centrum percepcie hovorenej reči* (Wernickeho oblasť), (b) *centrum percepcie písaného jazyka*, a (c) *centrum produkcie reči* (Brocova oblasť). Tento názor vznikol v druhej polovici 19. storočia, kedy boli uvedené oblasti lokalizované na základe lokálnych porúch mozgu.

Elektrická stimulácia nervových buniek v mozgu (Penfield a Roberts, 1959; Ojemann, 1983), ale predovšetkým moderné neinvazívne zobrazovacie metódy (ako PET, fMRI), ktoré umožňujú vizualizovať stav mozgu subjektu (napr. nejakej kognitívnej úlohe), však naznačujú, že takýto trichotomický pohľad na vzťah jazyka a mozgu je veľmi zjednodušený. Ukázalo sa, že jazykové funkcie „zaneprázdňujú“ okrem vyššie spomínaných oblastí aj iné časti mozgu, hlavne v jeho ľavej hemisfére. Dôvodom je zrejme to, že jazyk ako schopnosť mozgu je veľmi komplexná entita, ktorá si vyžaduje vysokú percepčnú, kognitívnu ako aj artikulačnú „zručnosť“, pričom tieto spomínané zručnosti sú svojou povahou navzájom odlišné a súvisia s odlišnými procesmi spracovania informácie.

<sup>6</sup> Tento koncept súvisí s vlastnosťou distribuovanosti reprezentácie v neurónovej sieti, na rozdiel od symbolického systému, v ktorom každá entita je reprezentovaná lokálne (ako atóm).

<sup>7</sup> Systematicosť reprezentácií, resp. vlastnosť kompozičnosti (angl. compositionality) je nutnou podmienkou k tomu, aby sa dali realizovať operácie na štruktúrach. Preložené zjednodušene do kontextu prirodzeného jazyka, aby bol človek schopný generovať nekonečné množstvo nových zmysluplných viet.

<sup>8</sup> V kontexte jazyka problém väzby znamená, ako viazať slová s ich rolami vo vete (angl. role-filler binding). Napr. vo vete „x ľubi y“ musí byť „x“ zviazané s roľou ľubiaceho, zatiaľ čo „y“ s roľou ľubenej (-ého).



**Obrázok 2:** Znázormenie ľavej hemisféry mozgu človeka. (a) Hemisféra mozgu sa skladá zo štyroch hlavných lalokov: frontálneho, parietálneho, temporálneho a okcipitálneho. Okrem nich sa tu nachádzajú dve hlavné brázdy. Centrálna brázda (lat. sulcus centralis) oddeľuje parietálny lalok od frontálneho, a laterálna brázda (lat. sulcus lateralis, na obr. angl. sylvian fissure) oddeľuje temporálny lalok od frontálneho. (b) Odpovedajúce hlavné činnosti jednotlivých lalokov mozgu.

## 2.1. Lokalizácia jazykových funkcií v mozgu

Medzi známe fakty týkajúce sa neurobiologických korelátov jazyka v mozgu patria nasledovné pozorovania:

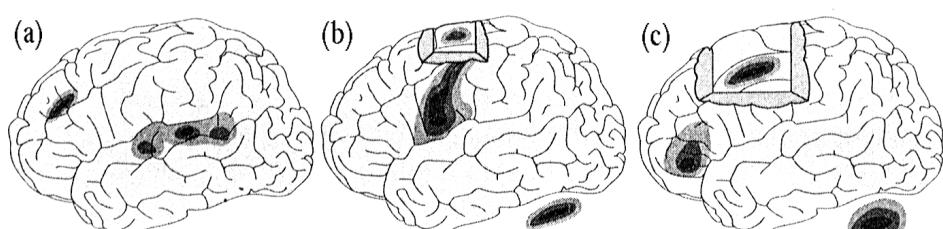
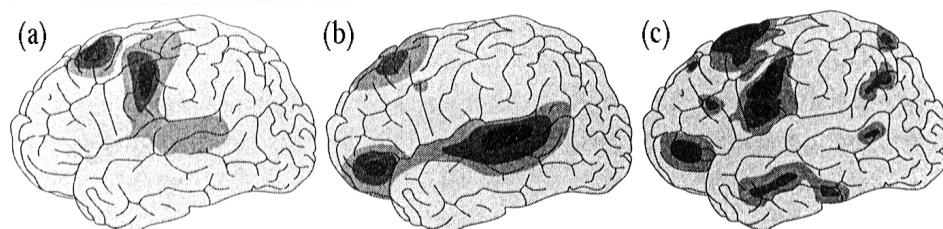
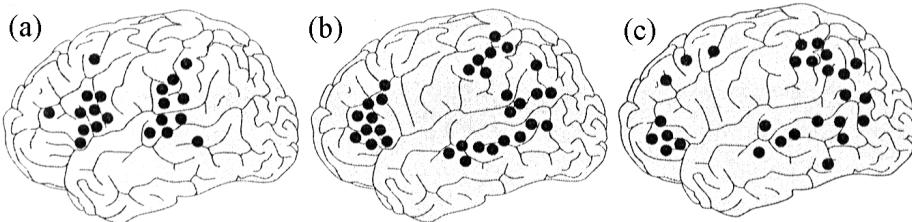
- Spracovanie jazyka sídli prevažne v dominantnej hemisfére (zväčša ľavej) okolo laterálnej brázdy (lat. sulcus lateralis) v oblastiach, ktoré sú súčasťou troch základných lalokov na kôre: *frontálneho, parietálneho a temporálneho* (viď Obr.2a). Viaceré funkcie jazyka však evokujú aktivitu vo viacerých častiach mozgu (viď početné referencie v Müller, 1996; tiež pozri Obr.3, 4, 6).
- Obrázky poukazujú na *distribuovanosť* jazykových funkcií v mozgu a ich hierarchickú organizáciu vzhľadom ku časovej škále spracovania. Usporiadanie oblastí pripomína vzájomne vnorené oblúky (sústredené okolo laterálnej brázdy), z ktorých každý „pracuje“ v inej časovej škále. Časová škála smerom k vonkajším oblúkom rastie, pretože zatial čo vnútorné oblúky najviac korelujú so senzomotorickými funkciami jazyka, vonkajšie korelujú s lingvistickými a kognitívnymi funkciami. Takéto usporiadanie je konzistentné s faktom, že vnútorné oblúky sa nachádzajú blízko primárnej sluchovej a motorickej oblasti, a zase vonkajšie oblasti sú distribuované v multimodálnych a asociačných oblastiach (Obr.3).
- Aj *pravá hemisféra* sa podieľa na spracovaní jazyka. Tu sú reprezentované funkcie odpovedajúce pomalším časom spracovania, a to sémantika reči na nadvetnej úrovni (Gardner a spol., 1983) a prozódia reči.<sup>9</sup> V súvislosti s predchádzajúcim bodom sa ponúka implikácia, že jednotlivé analytické operácie prebiehajúce na rôznych časových úsekokoch (hlásky, slabiky, slová, vety) zamestnávajú separátne siete neurónov v mozgu a zrejme preto môžu bežať *paralelne*.
- Jednotlivé kategórie slov sa nespracúvajú v mozgu rovnako a na rovnakých miestach (Pulvermüller, 1996). Reprezentácie významových slov (napr. podstatné mená, slovesá) sa ukazujú byť výrazne distribuované (nielen v blízkosti laterálnej brázdy) a sú tak viac odolné voči lokálnym poruchám mozgu (Howard a spol., 1992). Naopak, funkčné slová (napr. zámená, spojky) majú len gramatickú funkciu a sú asi viac lokalizované (Pulvermüller a Preissl, 1994). Teóriu, že významové slová sa spracovávajú na inom mieste v mozgu ako funkčné slová podporuje pozorovanie agramatizmu u pacientov s poruchou v Brocovej oblasti (Tramo, 1988).<sup>10</sup>
- Reprezentácie významových slov majú i svoje jemnejšie priestorové členenie na kôre. Bola pozorovaná separačnosť reprezentácií, čo sa týka jednotlivých modalít (akustická versus vizuálna; Petersen, 1988), jednotlivých slovných druhov (napr. podstatné mená, slovesá; Caramazza a Hillis, 1991) a jednotlivých sémantických kategórií v rámci slovných druhov (Caramazza, 1988; Warrington a Shallice, 1984). Značná miera separačnosti kortikálnych reprezentácií bola pozorovaná aj u bilingválnych subjektov (Paradis, 1977).
- Spracovanie gramatickej informácie nie je v mozgu univerzálne „umiestnené“, ale závisí od *kategórie jazyka*. V izolačných jazykoch (napr. angličtina) je dôležité poradie (neohybnych) slov, ktoré určuje funkčné roly jednotlivých slov (podmet, prísudok, predmet, atď.). Naopak, vo flexívnych jazykoch (napr. slovenčina) je poradie slov viac-menej voľné a logický význam vety sa indukuje použitím prípon a predpôn. Pozorovania naznačujú, že gramatické operácie v izolačných jazykoch kladú väčšie nároky na spracovanie informácie v Brocovej oblasti, zatial čo gramatika flexívnych jazykov „zamestnáva“ skôr Wernickeho oblasť.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> Pacienti s poruchou v pravej hemisfére sú sice schopní hovoriť plynule bez gramatických chýb, ale mávajú problémy s porozumením nejakého textu (napr. pointy príbehu). Okrem toho, ich reč býva monotoná kvôli absencii prozódie.

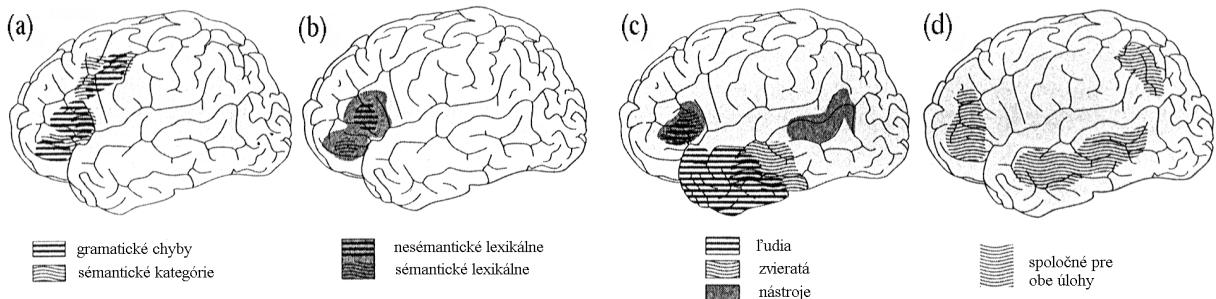
<sup>10</sup> Títo pacienti mali problémy s pochopením viet, v ktorých sa logická štruktúra nedala vydedukovať len z významových slov osamote.

<sup>11</sup> U pacientov hovoriacich izolačným jazykom bol pozorovaný vyšší stupeň agramatizmu, ak mali poruchu vo frontálnom laloku v Brocovej oblasti, a naopak, u pacientov hovoriacich flexívnym jazykom bolo toto pozorované, ak sa u nich vyskytla porucha v oblasti temporálneho laloku vo Wernickeho oblasti (Bates a MacWhinney, 1991).

- Pri spracovaní jazyka sa podieľa významne aj *prefrontálna kôra* (časťou ktorej je aj Brocova oblasť), ktorej polyfunkčnosť nie je stále podrobne prebádaná. V kontexte jazyka je však zaujímavé, že sa zapája do hry pri kognitívnych činnostiach (napr. Obr.4a), ktoré si vyžadujú zložitejšie sekvenčné alebo hierarchické asociácie, inferencie či napr. mentálne usporiadavanie položiek (Perecman, 1987). Znížená funkčnosť prefrontálnej kôry (Williamsov syndróm) spôsobuje značný kognitívny deficit u pacientov (Bellugi a spol., 1994).
- O mozočku sa pôvodne predpokladalo, že je len centrom riadenia relatívne autonómnych pohybov (napr. hod lopou), avšak zobrazovacie metódy nedávno odhalili (Obr.5), že mozoček na kontralaterálnej (t.j. zväčša na pravej) strane<sup>12</sup> sa aktivuje i pri asociačných jazykových úlohách ako napr. generovanie slovies ku zadaným podstatným menám (Posner a Raichle, 1994).



<sup>12</sup> Pretože spojenia medzi mozgovou kôrou a mozočkom sa križujú.



**Obrázok 6:** Výsledky zobrazovacích štúdií zameraných na lokalizáciu syntaktického a sémantického spracovania slov a vied. (a) Identifikácia gramatických chýb verus sémantických kategórií v priebehu (metódou PET). (b) Sémantické verus nesémantické spracovanie slov (metódou fMRI). (c) Pomenovávanie obrázkov z troch kategórií – kombinované dátu: od ľudí s poruchou v mozgu (pomenovanie osôb na obrázku), PET obrázky (pomenovanie predmetov). (d) Spracovanie slov alebo odpovedajúcich obrázkov. Obrázky boli prebraté z Deacon (1997), kde boli vyhotovené podľa Nichelli a spol. (1995), Demb a spol. (1995), Damasio a spol. (1996) a Vandenberghe a spol. (1996).

Vyššie uvedené poznatky poukazujú na teóriu, že v mozgu vôbec neexistuje nejaký „orgán jazyka“ (podobne ani „orgán hudby“, či „aritmetiky“), ktorého existenciu postulujú lingvisti, ale že jazyk v plnej svojej komplexite „zamestnáva“ viacero neurálnych štruktúr, prisľúchajúcich rôznym lalokom. Súčasne, priestorové usporiadanie jednotlivých funkcií jazyka zrejme nie je náhodné, ale vykazuje atribúty akejsi *sémantickej topografickosti*: Je známe, že jednotlivé senzorické modality (zrak, sluch, atď.) majú svoje reprezentácie (ktoré sa vyvinuli v priebehu ontogenézy) v mozgu realizované v podobe topografických máp (Knudsen a spol., 1987). Ich princíp topografickosti umožňuje implementačne ekonomický a efektívny spôsob spracovania informácie, pretože jednotky (neuróny, moduly), ktoré spolu často komunikujú, sa nachádzajú podľa možnosti blízko seba. Jednotlivé jazykové oblasti vykazujú podobné priestorové usporiadanie (napr. Brocova oblasť sa nachádza v blízkosti primárnej motorickej kôry, Wernickeho oblasť má zasa bližšie ku primárnej sluchovej kôre).<sup>13</sup>

## 2.2. Predispozícia mozgu človeka na akvizíciu jazyka

Mozog súčasného človeka (*Homo sapiens*) disponuje viacerými črtami, ktorými sa odlišuje od mozgov ostatných, nižších zvierat. Každá z nich má svoj podiel na tom, že človek vďaka nim je schopný sa jazyk v plnej mieri naučiť. Na jednotlivé črty majú jednotliví odborníci rôzne názory. Kompromisné zrejme možno tvrdiť, že spomínané črty sa vyvinuli v priebehu evolúcie (časť 3) a fungujú orchesterálne ako neurálny substrát jazykovej kompetencie človeka:

- **Veľkosť mozgu.** Človek by intuitívne predpokladal, že čím väčší mozog, tým výkonnejšia jeho výpočtová schopnosť (čo by mohlo byť potrebným predpokladom pre zvládnutie jazyka). Nie je to však také lineárne, pretože encefalizácia (množstvo mozgovej hmoty) u človeka nie je najväčšia ani v absolútnej mieri, ani v relatívnej.<sup>14</sup> Okrem toho, ako argumentuje Deacon (1997), v mozgu človeka nevznikli v priebehu evolúcie ani zjavne nové štruktúry (v porovnaní s ostatnými primátnimi). Čo sa však výrazne zmenilo, je pomer veľkostí jednotlivých častí mozgu. Jednoznačne proporčne najväčší nárast nastal u prefrontálnej kôry – sídla verbálnej krátkodobej pamäti, kombinatorickej analýzy a sekvenčných behaviorálnych schopností.
- **Artikulačný trakt.** Tento sa u človeka tvarom výrazne líši od traktu šimpanza, a dovoľuje nám artikulovať relatívne široké spektrum zvukov a foném (hlások), ktoré používame pri reči (Lieberman, 1992). Množstvo foném, ktoré je človek schopný artikulovať je dostatočne široké na to, aby umožňovalo hovoriacemu v každom jazyku produkovat foneticky dostatočne odlíšiteľné slová. Inak kvôli jednoznačnosti by priemerná dĺžka slov musela byť väčšia, čo by zvýšilo nároky na verbálnu pamäť. Je možné, že medzi veľkosťou artikulačného spektra a kapacitou verbálnej krátkodobej pamäti vznikol evolučne optimálny pomer (Hurford, 1999).
- **Sekvenčné schopnosti.** Hlásky jazyka na rozdiel od zvukov (komunikačných signálov) zvierat nemajú význam.<sup>15</sup> Sekvencie hlások v podobe slov už áno. Viacero schopností, ktoré sú špecifické pre človeka, si vyžaduje „manipulácie“ so sekvenciami či už v percepčnom alebo exekutívnom móde (reč, hudba, tanec, šport,

<sup>13</sup> Tento pohľad nie je v konflikte s faktom, že mozog využíva i „ďaleké“ axonálne prepojenia, ktoré umožňujú komunikáciu aj medzi vzdialenosťmi modulmi (napr. medzi prefrontálnou kôrou a mozočkom).

<sup>14</sup> Napr. hmotnosť mozgu veľryby či slona je vyššia než u človeka, a napr. myš má dvakrát väčší pomer hmotnosti mozgu a celeho tela.

<sup>15</sup> Zaujímavosťou je, že počet hlások, ktoré je človek schopný artikulovať sa zhruba zhoduje s počtom zvukov, ktoré používajú divoké šimpanzy na komunikáciu (Goodall, 1986).

plánovanie činnosti, atď.). V tomto kontexte vzniká hypotéza, že rozvoj sekvenčných schopností lokalizovaných po oboch stranach laterálnej brázdy v dominantnej hemisfére bol tým dominantným fenoménom, ktorý sprevádzal evolúciu (Calvin, 1990).

• **Symbolické referencie.** Znalosť jazyka, ktorý operuje so slovami-symbolmi, si vyžaduje schopnosť vykonávať symbolické operácie. Zo všetkých živočíchov jedine človek a niektoré druhy opíc<sup>16</sup> prekročili v dôsledku evolúcie „symbolický prah“, ako nutnú (ale zjavne nepostačujúcu) podmienku jazykovej kompetencie. Koncept referenčných asociácií bol študovaný filozofmi zaobrajúcimi sa semiotikou už koncom minulého storočia. Pravdepodobne najviac akceptovanou bola klasifikácia (prijatá aj mysliteľmi ako Locke, Hume, Kant či Hegel), ktorú zaviedol Peirce (1897, 1903, 1978). Rozlišoval tri kategórie referenčných asociácií: *ikonu*, *index* a *symbol*.<sup>17</sup> V stručnosti stačí povedať, že medzi ikonou nejakého objektu a objektom samotným je priama podobnosť (napr. obraz znázorňujúci krajinu), medzi indexom a objektom je nejaká korelácia alebo priestorová/časová súvislosť (napr. závan dymu môže byť indexom blízkeho ohňa), a symbol je zviazaný s objektom (ak k nemu existuje) len pomocou nejakej konvencie či kauzality (napr. svadobný prsteň symbolizuje manželský stav). Je treba zdôrazniť, že takáto klasifikácia je hierarchická a nie disjunktná, t.j. medzi referenčnou entitou a objektom môže existovať viac ako jedna asociácia; závisí to od úrovne interpretácie.<sup>18</sup>

• **Teória myслe.** Niektorí autori argumentujú, že človek musí disponovať teóriou myслe, pretože tá je nevyhnutná pre inteligentné používanie jazyka, napr. pri generovaní inferencií o úmysloch spoluuhovoriaceho (Sperber a Wilson, 1986). Súčasne zastávajú názor, že táto dispozícia je vlastná len človeku (Heyes, 1998), alebo že inteligentnejšie zvieratá ju majú v obmedzenej miere. Táto otázka úzko súvisí s otázkou vedomia, ktorá je v súčasnosti intenzívne študovaným fenoménom.

### 2.3. Smerom k biologicky prijateľným modelom jazyka

Práce snažiace sa o modelovanie jazyka (alebo nejakej jeho časti) možno podľa ich smeru pohľadu na jazyk rozdeliť na dve skupiny:

(1) *lingvistickej pohľad „zhora“* implikuje modelovanie jazyka ako (často modulárneho) symbolického systému, ktorý pracuje nad symbolmi-slovami jazyka. Otázka implementácie takéhoto virtuálneho systému v mozgu sa považuje za irelevantnú, pretože z pohľadu Turingovho stroja možno argumentovať, že ten istý program môže bežať na fyzicky rozdielnych strojoch a preto sú neurobiologické dátá irelevantné (Fodor, 1981). Avšak aj sám Chomsky (1972) explicitne postuloval, že jeho univerzálna gramatika biologicky zviazanou entitou. Okrem toho existujú indície, že fyzikálne veličiny (na neurálnej úrovni) korelujú s kognitívnymi veličinami (Müller, 1996), preto by sa mali brať pri modelovaní do úvahy.

(2) *neurobiologický pohľad „zdola“* kladie dôraz na to, aby vytvorené modely (neurónových sietí) boli čo najviac v súlade so známymi princípmi spracovania informácií v mozgu. Samozrejme, v súčasnosti takýto model kvôli komplexnosti jazyka neexistuje (a ani tak skoro zrejme nebude), avšak jednotlivé časti jazyka (modely akvizície jazyka, vnetného rozboru viet a iné) sa dajú pomocou modelov neurónových sietí celkom pekne podchytiť, vykazujúc pritom atribúty fungovania podobné človeku (napr. odolnosť voči šumu, postupná degradácia pri poškodení, a pod.).

Spracovanie informácie v mozgovej kôre má svoje charakteristiky, ktoré sú pravdepodobne vo veľkej miere unitárne a nezávisia od modality (Phillips a Singer, 1997). Medzi základné koncepty, ktoré sa tu uplatňujú, patrí:

• **Lokálnosť a distribuovanosť reprezentácie informácie.** Tento aspekt sa často chápe dichotomicky, a to na základe kontraindikácií z literatúry. Na jednej strane zobrazovacie metódy u pacientov s lokálnymi poruchami v mozgu utvrdzujú neuropsychológov v presvedčení, že jednotlivé kognitívne funkcie sú lokálne; na druhej strane modely neurónových sietí, ktoré vykazujú správanie podobné správaniu človeka, využívajú ditribuovanú reprezentáciu (Müller, 1996). Táto dichotómia pritom môže byť irelevantná, ak oba pohľady budeme vzťahovať na rozličné mierky. Koncept lokálnosti sa javí prijateľný pohľadu nejakých častí mozgu, zatiaľ čo o distribuovanosti budeme hovoriť z pohľadu jednotlivých neurónov. Mierka môže zohrávať úlohu, aj keď pojde o úroveň vyššie. Napr. tvrdenie, že syntax jazyka možno lokalizovať v dominantnej hemisfére (Grodzinsky, 2000) je úplne konzistentné s tvrdením, že syntax je distribuovaná v dominantnej hemisfére z pohľadu zoskupení buniek.

<sup>16</sup> Pokusy so šimpanzmi (Sherman, Austin a najmä Kanzi, ktorý bol učený v skoršom veku) ukázali, že aj tento druh je pri intenzívnom tréningu schopný porozumieť jednoduchším verbálnym úlohám na úrovni asi trojročného dieťaťa (Savage-Rumbaugh a Lewin, 1994).

<sup>17</sup> Význam a vzťahy medzi jednotlivými kategóriami sú pomerne podrobne popísané v knihe (Deacon, 1997).

<sup>18</sup> Napr. pri pohľade na obraz si človek (hlavne znalec umenia) vytvorí zrejme symbolickú linku, zatiaľ čo zviera len ikonickú.

- **Zoskupenia buniek ako jednotky reprezentácie.** Tento koncept (ktorý vlastne podporuje distribuovanosť reprezentácie) navrhol už pre polstoročím Hebb (1949), ktorý zadefinoval zoskupenia buniek (angl. cell assemblies) ako skupiny neurónov vzájomne spojených silnými excitačnými spojeniami. Vďaka nim sa počiatočná aktivita na niektorých neurónoch rýchlo (akonáhle sa prekročí daný prah) rozšíri na celé zoskupenie, ktoré potom reprezentuje nejakú elementárnu entitu. Pritom neuróny, ktoré sú súčasťou nejakého zoskupenia môžu byť distribuované po kôre, a ten istý neurón môže participovať v mnohých zoskupeniach buniek.
- **Neurón ako impulzný funkčný prvok.** Model impulzného neurónu v porovnaní so štandardným sigmoidálnym alebo RBF (angl. radial-basis-function) neurónom podstatne lepšie vystihuje vlastnosti reálneho neurónu, a to preto, že umožňuje modelovať časové kódovanie informácie (generovanie impulzov v nepravidelných intervaloch).
- **Synchróne oscilácie impulzných neurónov.** Pre túto teóriu existujú viaceré biofyzikálne a teoretické argumenty (Abeles, 1991; Phillips a Singer, 1997). Význam synchrónnych oscilácií skupín neurónov spočíva v tom, že umožňuje riešiť problém väzby.<sup>19</sup>
- **Samoorganizácia adaptácie.** V teórii neurónových sietí boli navrhnuté rôzne algoritmy učenia spadajúce do troch hlavných kategórií: učenie s učiteľom (angl. supervised learning), učenie s posilňovaním (angl. reinforcement learning) a učenie bez učiteľa (angl. unsupervised, self-organized learning). Prevažuje názor, že práve samoorganizácia je dominantným adaptačným princípom, ktorý funguje v mozgovej kôre. Ako prvý postuloval pravidlo adaptácie synáps Hebb (1949). Doteraz bolo publikovaných niekoľko biologicky priateľných pravidiel samoorganizácie v kôre, ktoré sú vzájomne veľmi podobné (Bienenstock, Cooper a Munro, 1982; Der a Smith, 1998; Hancock, Smith a Phillips, 1991; Kay a Phillips, 1997; Becker, 1996).
- **Spätnoväzobné spojenia.** Aby mozog mohol vykazovať komplexné a emergentné správanie, musí mať nevyhnutne spätnú väzbu (to už vyplýva aj z teórie dynamických systémov). Existencia spätných prepojení v mozgu je nepochybňá (napr. z kôry späť do talamu v strednom mozgu), a preto akékoľvek modely mozgu ignorujúce jej existenciu (napr. Fodor, 1983) sú biologicky neprijateľné.

### 3. Evolúcia jazyka a mozgu

Otázka evolúcie jazyka a jej vzťah k mozgu je kontroverznou tému. Neexistujú nijaké „lingvistické fosílie“ dátovo staršie ako písomné záznamy, a preto predchádzajúce teórie týkajúce sa pôvodu jazyka a jeho evolúcii mali špekulačný charakter. Táto skutočnosť spôsobila, že Société de Linguistique de Paris v roku 1866 „zrušila“ akékoľvek debaty na túto tému. Novú vlnu záujmu o túto otázku však zaznamenávame v priebehu posledných desiatich rokov, t.j. o viac ako 100 rokoch neskôr, keď nové pohľady prinášajú so sebou disciplíny ako psychológia a kognitívne neurovedy, ako aj simulačné modely spracovania jazyka a evolučných procesov.

Z antropologického hľadiska si v otázke jazyka môžeme byť istý snáď iba dvoma vecami: Po prvej tým, že artikulovanú reč a jazyk ovláda iba človek, *Homo sapiens*, čím sa výrazne odlišuje od ostatných živých tvorov.<sup>20</sup> Po druhé tým, že mozog *Homo sapiens* je trikrát väčší ako mozog nášho evolučne najbližšieho príbuzného – veľkej africkej antropoidnej opice. Medzi týmito dvoma pozorovaniami je nepochybne nejaký vzťah, ale o jeho charaktere sa horivo diskutuje.

#### 3.1. Existujúce teórie

Je iróniou, že hoci filozofi dlho premýšľali o svete jazyka, väčšina toho, čo o ňom vieme, je z posledných tridsiatich rokov. Stručne povedané, pri úvahách o pôvode a evolúcii jazyka sa sformovali dva hlavné názorové prúdy: Prvý z nich interpretuje jazyk ako jedinečnú charakteristiku ľudí – schopnosť, ktorá sa zrodila vedľajší dôsledok zväčšenia mozgu. Súčasne sa predpokladá, že jazyk vznikol rýchlo a nedávno, potom, čo bol prekročený prah poznania („symbolický“ prah). Druhý názor tvrdí, že artikulovaná reč a jazyk sa vyvinuli vďaka prirodzenému výberu, ktorý sa u predľudských predkov uplatňoval v rôznych empirických schopnostiach vrátane komunikácie, avšak nie iba v nej. V tomto tzv. modeli kontinuity sa jazyk vyvíjal v prehistórii ľudstva postupne, počnúc evolúciou rodu *Homo*.

<sup>19</sup> Problém väzby vzniká, ak potrebujeme zlúčiť dve reprezentácie, z ktorých každá pozostáva napr. z časti aktívnych buniek na mriežke. Vo výslednej reprezentácii sa stráca informácia o častiach, takže mozog pri ďalšom spracovaní má prístup len k celku. Napr. v jazyku, porozumenie vete predpokladá zlúčenie čiastkových reprezentácií odpovedajúcich slovám vety (a zrejme ďalšie operácie, kým vznikne komplexná sémantická reprezentácia).

<sup>20</sup> Jazyk otvoril človeku svet introspektívneho vedomia a svet, ktorý si vytvárame a máme spoločný s ostatnými a ktorý nazývame kultúrou. Lingvista Bickerton (1990) to vystihol slovami: „Iba jazyk mohol prelomiť väzenie bezprostrednej skúsenosti, v ktorej sú všetky ostatné bytosti uzavreté, a otvoril nám dvere do nekonečnej slobody priestoru a času.“

Nové poznatky z oblasti antropológie a porovnávacích štúdií v neurobiológii svedčia skôr v prospech druhého, evolučného názorového prúdu. Okrem toho sa postupne ukázalo, že niektoré inteligentné schopnosti (používanie nástrojov, symbolov, či spoznanie sa v zrkadle), ktoré sa ešte v 60-tych rokoch považovali za exkluzívnu schopnosť človeka, má aj opica. Výnimočnosť človeka sa tak zúžila na jazyk (a iné sekvenčné schopnosti ako povedzme tanec či plánovanie činnosti), a tak poslednými zastáncami prvého prúdu, ktorého pôvodcom je Chomsky (1972), ostávajú len niektorí lingvisti.

Kedy sa začal jazyk vyvíjať? Zdrojom informácie pri hľadaní odpovedí na túto otázku môžu byť *nálezy paleoneurologických fosílií*, ktoré nachádzame predovšetkým v Afrike. Tvary objavených lebiek *Homo habilis* (slov. človek zručný) poukazujú na to, že zväčšovanie mozgu začalo počas tejto éry, t.j. pred viac ako 2 miliónmi rokov (Wilkins a Wakefield, 1995; Holloway, 1983) a pokračovalo nepretržite.<sup>21</sup> *Homo erectus* (slov. človek vzpriamnený) pred pol miliónmi rokov mal už veľkosť mozgu takmer ako *Homo sapiens*, takže potom sa už tempo nárastu spomalilo. Väčší mozog sice ešte nemusí znamenať vznik jazyka, ale iné nálezy poukazujú na potenciálnu prítomnosť Brocovej oblasti u *Homo habilis* (Tobias, 1987; Falk, 1983), čo je už priamejším indikátorom existencie jazyka.

K podobným časovým horizontom dospejeme pri sledovaní vývoja *artikulačných schopností* predchodcov *Homo sapiens*. Tvar záhlavia najstaršej známej (takmer 2 milióny rokov starej) skameneliny lebky *Homo erectus* indikuje,<sup>22</sup> že raný *Homo erectus* už mohol byť schopný artikulovať niektoré samohlásky bežne používané v dnešných jazykoch (Laitman, 1984; Lieberman, 1992). Z antropologického hľadiska teda nič z doteraz známych pozorovaní nenasvedčuje čomu, že jazyk sa nemohol začať vyvíjať už dávno, zhruba pred 2 miliónmi rokov (Leakey, 1996).

Ak akceptujeme, že jazyk sa začal vyvíjať už počas éry *Homo erectus*, ako sa vyvíjal? Etapovite alebo kontinuálne? Bickerton (1990) verí, že moderné jazyky sa vyvinuli v dvoch etapách, pričom prvú predstavovali akéosi *protojazyky*,<sup>23</sup> ktorími hovoril *Homo erectus*. S príchodom moderného *Homo sapiens* (pred 100000 až 200000 rokmi) sa podľa neho jazyky dostali do svojho druhého, moderného štadia. Tento pohľad kontrastuje s kontinuálnymi modelmi evolúcie jazyka, ktoré predikujú postupné narastanie komplexity jazykov (Bichakjian, 1999), či do rozsahu slovnej zásoby alebo zložitosti viet.

Základná dichotómia, ktorá figuruje v otázke evolúcie jazyka, sa týka toho, do akej miery a v akej forme sa uplatňuje *nativistický* (genetické vlohy) a *empirický* (učenie) aspekt akvizície jazyka. Niektorí lingvisti (napr. Pinker, 1994), aj keď pripúšťajú evolúciu jazyka, postulujú existenciu vrodenej univerzálnnej gramatiky, s ktorou človek prichádza na svet a len vďaka ktorej je schopný sa jazyk naučiť.<sup>24</sup> Z pohľadu súčasných znalostí o vzťahu jazyka a mozgu je však tăžké pripustiť existenciu nejakých vrodených jazykových univerzálií (t.j. spoločných pre všetky jazyky), a to z viacerých dôvodov (pozri časť 2.1):

(1) Zobrazovacie štúdie poukazujú na to, že *neurobiologické koreláty* jazykov v mozgu nachádzame skôr v ich *povrchovej forme* (napr. rozdiely v spracovaní izolačných a flexívnych jazykoch) a nie na úrovni lingvistickej odvodených univerzálnych hlbokých jazykových štruktúr. Keďže jazyky sa vyvíjali (a vyvíjajú) o niekoľko rádov rýchlejšie ako je evolúcia mozgu, z pohľadu mozgu nemohli vzniknúť podmienky invariantnosti, aby sa mohli uplatniť Darwinove evolučné princípy (Deacon, 1997).

(2) Jazykové funkcie sú v mozgu *distribuované*, a to v častiach, u ktorých doteraz známe pozorovania či merania nenasvedčujú tomu, žeby plnili len špecifické jazykové funkcie. Inými slovami, jazyk človeka podľa všetkého neobsahuje kvalitatívne nové štruktúry v porovnaní s nižšími príbuznými živočíshnymi druhami.

(3) Mozog vykazuje vysokú úroveň *plasticity*, čo potvrdzujú mnohé ontogenetické štúdie. Mnoho neurónov nemá dopredu stanovenú funkciu, ale tá sa definuje v priebehu raného učenia (interakciou s prostredím). Okrem toho boli realizované úspešné transplantácie neurónov medzi druhami.<sup>25</sup> Obe pozorovania nasvedčujú tomu,

<sup>21</sup> Ako sme sa zmienili v časti 2.2, najväčší nárast mozgu sa vzťahoval na prefrontálnu kôru, ktorá sa významne podieľa pri spracovaní jazyka, hlavne pri vytváraní asociácií (Deacon, 1992).

<sup>22</sup> Aj keď hlasový aparát - zložený z jemných tkanív (chrupavky, svalov a epitelu) - neskamenie, zmena jeho tvaru sa dá vypozičovať zo zmeny tvaru zadnej časti lebky, lebečnej spodiny. Laitman dokonca vypočítal, že pozícia hrtana u raného *Homo erectus* bola ekvivalentná pozícii hrtana dnešného 6-ročného dieťaťa.

<sup>23</sup> Protojazyk popísal ako zreteženie používaných slov bez gramatických pravidiel (skôr len akýchsi pragmatických, ako napr. „najdôležitejšie slovo použi ako prvé“) alebo funkčných slov. Prirovnáva ho k jazyku dvojročného dieťaťa alebo k jazyku natrénovanej opice (v znakovnej forme).

<sup>24</sup> Pinker tvrdí, že človek prichádza na svet s vrodenou znalosťou svojho vnútorného jazyka – „mentálčiny“, z/do ktorého potom prekladá vety jazyka, ktorý sa neskôr naučí. Dodáva, že mentálčinu by mal človek aj keby jazyk neexistoval, a že jednoduchšie formy mentálčiny majú aj ostatné vyššie živočíchy a bábätká.

<sup>25</sup> Napr. v jednom experimente (Isacson a Deacon, 1996) boli transplantované neurálne bunky z prasačieho plodu na rôzne miesta mozgu dospelých potkanov. Neskoršia analýza ukázala, že bunky sa integrovali do nového prostredia a prispôsobili sa „potkaním pravidlám“ (ich výstupy - axony - našli správne ciele).

spracovanie informácie neurónmi môže byť založené na univerzálnych princípoch, a to nielen v rámci jedného mozgu, ale aj v rámci príbuzných druhov.

Ako argumentuje Deacon (1997), skôr sa preto javí prijateľnejšia hypotéza, že čo sa evolučne vyvinulo, nie je univerzálna gramatika, ale nejaké všeobecné štrukturálne charakteristiky reči a jazyka, a ich výpočtové nároky, ktoré kladú na spracovanie v mozgu.<sup>26</sup> Podobne Müller (1996) argumentuje, zohľadňujúc neurobiologické aspekty ontogenézy mozgu, že vrodenosť alebo genetické predispozície sa uplatňujú do značnej miery, čo sa týka všeobecných princípov organizácie mozgu („rozvrh programu“ dozrievania mozgu, aferentné a eferentné senzorimotorické dráhy, neurálne mechanizmy reprezentácie a spracovanie informácie). Avšak veľmi limitované sa uplatňuje pri funkčnej (samo)organizácii vyšších kognitívnych funkcií (vrátane jazyka), ktorú určuje predovšetkým prostredie. Samoorganizácia predstavuje významný princíp, ktorý sa uplatňuje pri vývine mozgu, a môže hrať významnú úlohu aj pri akvizícii kognitívnej činnosti (Singer a von der Malsburg, 1988).

Zaujímavé závery ohľadom evolúcie jazyka a mozgu poskytuje teória *koevolúcie jazyka a mozgu* (Christiansen, v tlači; Deacon, 1997), podľa ktorej sa jazyk skôr prispôsoboval mozgu než naopak.<sup>27</sup> Tým, že jazyk ako spoločenský fenomén sa mení oveľa rýchlejšie než jeho biologický substrát, mal v priebehu evolúcie mozgu vždy dosť času adaptovať sa tak, aby jeho forma (štruktúra, syntax, dĺžka slov, fonetické črty) bola efektívna a podporovateľná neurálnym systémom. V tomto kontexte Deacon postuluje, že hlavným „neurofaktorom“, ktorý determinoval úroveň jazyka bol stav rozvoja prefrontálnej kôry, ktorá sa podieľa pri realizácii komplexných symbolických asociácií (pozri časť 2.1).

### 3.2. Modelovanie evolúcie

V priebehu posledných 10-ich sa začala otázka evolúcie jazyka študovať aj pomocou modelovania tohto procesu. Realizované modely (napr. Steels, 1998; Batali, 1998; Kvasnička, 1998) sú založené na populácii jednotlivcov-agentov, z ktorých každý má svoj kognitívny aparát (napr. neurónovú sieť). Tento aparát umožňuje agentovi komunikovať s ostatnými, t.j. prijímať a vysielat správy. Pri modelovaní je komunikácia spočiatku úplne nekoordinovaná, avšak v priebehu simulovanej Darwinovej evolúcie (potenciálne so zahrnutím Baldwinovho efektu, ktorý predstavuje možnosť ako učenie môže urýchliť evolúciu) vzniká koordinovaná komunikácia – spoločný jazyk – ako *emergentný fenomén*. Tieto modely teda tiež podporujú vznik jazyka v evolučnom chápání, bez potreby postulovania vrodených jazykových univerzálií.

## Literatúra

- Abeles M. (1991): *Corticonics: Neural Circuits of Cerebral Cortex*. Cambridge University Press.
- Adams R.D. a Victor P. (1993): *Principles of neurology*. McGraw-Hill Company, 5. vydanie.
- Batali J. (1998): Computational simulations of the emergence of grammar. V knihe: Hurford J., Studdert-Kennedy M. a Knight C. (eds.): *Approaches to the Evolution of Language: Social and Cognitive Bases*. Cambridge University Press.
- Bates E. a MacWhinney B. (1991): Crosslinguistic research in aphasia: An overview. *Brain and Language (Special issue on crosslinguistic aphasia)*, 41, 123-148.
- Becker S. (1996): Mutual information maximization: Models of cortical self-organization. *Network*, 7, 7-31.
- Bellugi U., Wang P.P. a Jernigan T.L. (1994): Williams syndrome: An unusual neuropsychological profile. V knihe Brodman S. a Grafman J. (eds.): *Atypical Cognitive Deficits in Developmental Disorders: Implications for Brain Function*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 23-56.
- Bichakjian B.H. (1999): Language evolution and complexity criterion. *Psychology*, 10(033).
- Bickerton D. (1990): *Language and Species*. University of Chicago Press.
- Bienenstock E., Cooper L.N. a Munro P.W. (1982): Theory for the development of neuron selectivity: Orientation specificity and binocular interaction in visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 2, 32-48.
- Calvin W.H. (1990): *The Ascent of Mind: Ice Age Climates and the Evolution of Intelligence*. Bantam.
- Caramazza A. (1988): Some aspects of language processing revealed through the analysis of acquired aphasia: The lexical system. *Annual Review of Neuroscience*, 11, 395-421.
- Caramazza A. a Hillis A.E. (1991): Lexical organization of nouns and verbs in the brain. *Nature*, 349, 788-790.

<sup>26</sup> Jazykové univerzálie chápe Deacon ako konvergentné črty evolúcie jazykov (ako analógiu uvádzajúceho chrbotové plutvy u žralokov či delfínov, ktoré sú konvergentnými, evolučne vyvinutými črtami rýb), ktoré však v mozgu nie sú nikde reprezentované.

<sup>27</sup> Christiansen využíva pri opise analógiu jazyka k organizmu, ktorý žije v akomsi symbiotickom vzťahu s hostiteľom - mozgom, od ktorého je závislý, ale súčasne aj preň potrebný. Analógia jazyka a organizmu nie je nová; vznikla už začiatkom minulého storočia v komparatívnej lingvistike, kde sa používala na analýzu jazykov ako organizmov, ktoré možno štrukturálne usporiadať podľa vzájomných podobností a porovnávať (Deacon, 1997).

- Chomsky A.N. (1957): *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.
- Chomsky A.N. (1972): *Language and Mind*. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 2. vydanie.
- Christiansen M.H. a Chater N. (1999): Connectionist natural language processing: The state of the art. *Cognitive Science (Special issue on Connectionist models of human language processing: progress and prospects)*, 23(4), 417-437.
- Christiansen M.H. (v tlači). Language as an organism – Implications for the evolution and acquisition of language. *Cognition*.
- Churchland P.S. a Sejnowski T.J. (1992): *The Computational Brain*. MIT Press.
- Crystal D. (197): *Encyclopedia of Language*. Cambridge University Press, 2. vydanie.
- Damasio H., Grabowski T.J., Tranel D., Hichwa R.D. a Damasio A.R. (1996): A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380, 499-505.
- Deacon T.W. (1997): *Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*. W.W. Norton & Company, New York.
- Demb J., Desmond J., Wagner A., Vaidya C., Glover G. a Gabrieli J. (1995): Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: A functional MRI study of task difficulty and process specificity. *Journal of Neuroscience*, 15(9), 5870-5878.
- Der R. a Smyth D. (1998). Local online learning of coherent information. *Neural networks*, 11(5), 909-926.
- Elman J.L. (1991): Distributed representations, simple recurrent networks, and grammatical structure. *Machine learning*, 7, 195-225.
- Elman J.L. (1993): Learning and development in neural networks: The importance of starting small. *Cognition*, 48, 71-99.
- Falk D. (1983): Cerebral cortices of East African early hominids. *Science*, 221, 1072-1074.
- Fodor J.A. (1981): *Representations*. Brighton (Sussex): Harvester.
- Fodor J.A. (1983): *The Modularity of Mind*. Cambridge (Mass.): MIT Press.
- Fodor J.A. a Pylyshyn Z.W. (1988): Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition*, 28, 3-71.
- Gardner H., Brownell H., Wapner W. a Michelow D. (1983): Missing the point: The role of the right hemisphere in processing of complex linguistic materials. V knihe Perecman E. (ed.): *Cognitive Processes and the Right Hemisphere*. New York: Academic Press.
- Gold E. (1967): Language identification in the limit. *Information and Control*, 16, 447-474.
- Goodall J. (1986): *The Chimpanzees of Gombe*. Harvard University Press.
- Grodzinsky Y. (2000): The neurology of syntax: Language use without Broca's area. *Behavioral and Brain Sciences*, 23(1), v tlači.
- Hancock P.J.B., Smith L.S. a Phillips W.A. (1991): A biologically supported error-correcting learning rule. *Neural Computation*, 3, 201-212.
- Haykin S. (1994): *Neural Networks*. Macmillan Press.
- Hebb D. O. (1949): *The Organization of behavior*. John Wiley.
- Heyes C.M. (1998): Theory of mind in nonhuman primates. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(1): 101-134.
- Holloway R. (1983): Human paleontological evidence relevant to language behavior. *Human Neurobiology*, 2, 105-114.
- Howard D., Patterson K., Wise R., Brown W.D., Friston K., Weiller C. a Frackowiak R. (1992): The cortical localization of the lexicons. *Brain*, 115, 1769-1782.
- Hummel J.E. a Holyoak K.J. (1997): Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping. *Psychological Review*, 104(3), 427-466.
- Hurford J.R. (1999): The evolution of language and languages. V knihe Dunbar R., Knight C. a Power C.: *The Evolution of Culture*, Edinburgh University Press, 173-193.
- Isaacson O. a Deacon T. (1996): Specific axon guidance factors persist in the adult brain as demonstrated by pig neuroblasts transplanted to the rat. *Neuroscience*, 75, 827-837.
- Kay J. a Phillips W.A. (1997): Activation functions, computational goals, and learning rules for local processors with contextual guidance. *Neural Computation*, 9, 763-778.
- Knudsen E.I., du Lac S. a Esterly S.D. (1987): Computational maps in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 10, 41-65.
- Kvasnička V. (1999): Emergencia koordinovanej komunikácie v populácii agentov. V zborníku prednášok *Kognitívne vedy II*, ChTF STU Bratislava, 29-44.
- Kvasnička V., Beňušková Ľ., Pospíchal J., Farkaš I., Tiňo P. a Kráľ A. (1997): *Úvod do teórie neurónových sietí*. IRIS Bratislava.
- Laitman J.T. (1984): The anatomy of human speech. *Natural History*, 20-27.
- Larsen B., Skinhoj E. a Lassen N.A. (1978): Variations in regional cortical blood flow in the right and left hemispheres during automatic speech. *Brain*, 101, 193-209.
- Lassen N.A. a Larsen B. (1980): Cortical activity in the left and right hemispheres during language-related brain functions. *Phonetica*, 37, 27-37.
- Leakey R. (1996): *Pôvod ľudstva*. Archa Bratislava.

- Lieberman P. (1992): On the evolution of human language. V knihe Hawkins J.A. a Murray G.-M. (eds.): *The Evolution of Human Languages*. Redwood City, California: Addison Wesley, 21-47.
- Müller R.-A. (1996): Innatenes, autonomy, universality: Neurobiological approaches to language. *Behavioral and Brain Sciences*, 19(4), 611-675.
- Newport E.L. (1990): Maturational constraints on language learning. *Cognitive Science*, 14, 11-28.
- Nichelli P., Grafman J. a spol. (1995): Where the brain appreciates the moral of a story. *NeuroReport*, 6, 260-263.
- Ojemann G.A. (1983): Brain organization for language from the perspective of electrical stimulation mapping. *Behavioral and Brain Sciences*, 2, 189-230.
- Ojemann G.A. a Mateer C.C. (1979): Human language cortex: Localization of memory, syntax, and sequential motor-phoneme identification systems. *Science*, 205, 1401-1403.
- Paradis M. (1978): Bilingualism and aphasia. *Studies in Neurolinguistics*, 3, 65-122.
- Peirce C. S. (1897, 1903): Logic as semiotic: The theory of signs. V knihe Buchler J. (ed.): *The Philosophical Writings of Peirce* (1955), New York: Dover Books, 98-119.
- Peirce C. S. (1978): *Collected Papers. Vol. II. Elements of Logic*. V knihe Hartshorne C. a Weiss P. (eds.), Cambridge, MA: Belknap.
- Penfield W. a Roberts L. (1959): *Speech and Brain Mechanisms*. London: Oxford University Press.
- Perecman E. (1987): *The Frontal Lobes Revisited*. New York: IRBN Press.
- Petersen S.E., Fox P.T., Posner M.I., Mintun M. a Raichle M.E. (1988): Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331(6157), 585-589.
- Phillips W.A. a Singer W. (1997): In search of common foundations for cortical computation. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 657-722.
- Pinker S. (1994): *The Language Instinct*. New York, William Morrow.
- Plate T. (1995): Holographic reduced representations. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 6(3), 623-641.
- Pollack J.B. (1991): Recursive distributed representations. *Artificial Intelligence*, 46, 77-105.
- Posner M.I., Petersen S.E., Fox P.T. a Raichle M.E. (1988): Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240, 1627-1631.
- Posner M.I. a Raichle M.E. (1994): *Images of Mind*. New York: Scientific American Library.
- Pulvermüller F. (1996): Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Pulvermüller F. a Preissl H. (1994): Explaining aphasias in neuronal terms. *Journal of Neurolinguistics*, 8, 75-81.
- Rohde D.L.T. a Plaut D.C. (1999): Language acquisition in the absence of explicit negative evidence: How important is starting small? *Cognition*, 72, 67-109.
- Roland P.E. (1985): Cortical organization of voluntary behavior in man. *Human Neurobiology*, 4, 155-167.
- Savage-Rumbaugh E.S. a Lewin R. (1994): *Kanzi: The Ape at the Brink of the Human Mind*. New York: John Wiley.
- Seidenberg M.S. (1997): Language acquisition and use: Learning and applying probabilistic constraints. *Science*, 275, 1599-1603.
- Sharkey N.E. (1991): Connectionist representation techniques. *Artificial Intelligence Review*, 5, 143-167.
- Shastri L. a Ajjanagadde V. (1993): From simple associations to systematic reasoning. *Behavioral and Brain Sciences*, 16(3), 417-494.
- Singer W. a von der Malsburg Ch. (1988): Brain development and self-organization. V knihe Markus M., Müller S.C. a Nicolis G. (eds.): *From Chemical to Biological Organization*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Smolensky P. (1990): Tensor product variable binding and the representation of symbolic structures in connectionist systems. *Artificial Intelligence*, 46, 159-216.
- Sperber D. a Wilson D. (1986): *Relevance: Communication and Cognition*. Oxford: Basil Blackwell.
- Steels L. (1998): Synthesising the origins of language and meaning using co-evolution, self-organization and level formation. V knihe: Hurford J., Studdert-Kennedy M. a Knight C. (eds.): *Approaches to the Evolution of Language: Social and Cognitive Bases*. Cambridge University Press.
- Tobias P.V. (1987): The brain of *Homo habilis*: A new level of organization in cerebral evolution. *Journal of Human Evolution*, 16, 741-761.
- Tramo M.J., Baynes K. a Volpe B.T. (1988): Impaired syntactic comprehension and production in Broca's aphasia: CT lesion localization and recovery patterns. *Neurology*, 38, 95-98.
- Vandenbergh R., Price C., Wise R., Josephs O. a Frackowiak R.S.J. (1996): Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383, 254-256.
- Warrington E.K. a Shallice T. (1984): Category specific semantic impairments. *Brain*, 9, 112-125.
- Wilkins W. a Wakefield J. (1995): Brain evolution and neurolinguistic preconditions. *Behavioral and Brain Sciences*, 18, 161-182.