

Barbara Schmiedtová – Eva Flanderková

Neurolingvistika: předmět, historie, metody*

Neurolinguistics: subject, history, methods

ABSTRACT: The present article deals with a number of issues relevant to neurolinguistics and, to a certain extent, also to psycholinguistics. First, it describes the development of neurolinguistics from primarily clinically oriented studies in aphasiology to a new discipline focusing on language production and comprehension in healthy subjects, and locates neurolinguistics within contemporary cognitive science. In addition, it briefly addresses the relation and interplay between neuro- and psycholinguistics. Second, it introduces the main neuroimaging techniques (i.e. PET, fMRI, EEG, and MEG) used in current neurolinguistic studies and explains in approximate terms how these methods function and what linguistic research questions they can be used for. Finally, this article outlines several research questions central to neurolinguistic research and critically discusses several factors which complicate the interpretation of findings from this type of research.

Key words: neurolinguistics, cognitive science, aphasiology, Pierre Paul Broca, Carl Wernicke, neuroimaging methods

Klíčová slova: neurolingvistika, kognitivní věda, afaziologie, Pierre Paul Broca, Carl Wernicke, neurovizualizační metody

0. Úvodem

Devadesátá léta 20. století bývají nazývána dekadou mozku (např. Gernsbacher – Kaschak, 2003, s. 91), první písemné zmínky o jazyce v souvislosti s mozkem jsou však prastaré: nalézáme je ve starém Egyptě v podobě papyru pojmenovaného po jeho objeviteli Edwinu Smithovi. Papyrus pochází z doby kolem 3500 let př. n. l. (Ahlsén, 2006, s. 11) a obsahuje medicínské popisy případů, které bychom dnes označili nejspíše za klinické záznamy o afatických poruchách – šlo vlastně o jakési kazuistiky, které navrhovaly i příslušnou léčbu (podrobněji viz Bouton, 1991, s. 1). S jistou mírou nadsázky bychom je mohli považovat za nejstarší kořeny samostatné mezioborové disciplíny zvané neurolingvistika. První moderní neurolingvistické studie vycházejí v 70. letech 20. století; její novodobé kořeny však sahají do afaziologie 19. století.

Cílem tohoto příspěvku je a) krátce nastínit novodobý vývoj neurolingvistiky a její postavení v rámci současné kognitivní vědy; b) seznámit se způsoby plánování experimentu (tzv. experimentálního designu) a představit možnosti a omezení v současnosti užívaných neurolingvistických metod (vizualizačních a elektrofyziologických); c) zmí-

* Autorky by rády poděkovaly Aleně Macurové, Olině Stehlíkové, Ireně Vaňkové a dvěma anonymním recenzentům za konstruktivní připomínky. Za všechny zbývající chyby a nedostatky zodpovídají autorky samy.

nit se o klíčových výzkumných otázkách a hlavních cílech, které si neurolingvistika v závislosti na vývoji svých metodologických přístupů klade.¹

V prvním oddíle zasazujeme neurolingvistiku do rámce kognitivních věd a vymezujeme její vztah k psycholingvistice. Následující oddíl věnujeme afaziologii jakožto důležité předchůdkyni neurolingvistiky. V oddíle 3 krátce nastíníme problematiku tzv. jazykových mozkových „center“ (tj. Brocova oblast, 3.1., a Wernickova oblast, 3.2.). Oddíl 4 se soustředí na neurovizuální metody a jejich technické principy provedení, přičemž jeho první část se zabývá metodami hemodynamickými, druhá elektrofyziologickými. V 5. oddíle načrtne některé ústřední výzkumné otázky neurolingvistiky. Oddíl 6 poukáže na některé výsledky neurolingvistického výzkumu a zároveň na obtížnost jejich interpretace. Článek uzavírá oddíl 7, který obsahuje stručný závěr.

1. Postavení neurolingvistiky v kognitivní vědě

Kognitivní vědu chápeme jako jednotné, transdisciplinární pole různých vědních oborů, které spojuje zájem o mysl a mozek (k označení transdisciplinární vs. multidisciplinární viz Havel, 2000);² jde v ní přitom o sbližování i těch oborů, které jsou na první pohled svou rozdílnou metodologií dosti odlehlé. Mezi kognitivní³ disciplíny, které takovému transdisciplinární pole utvářejí, patří vedle lingvistiky zejména umělá inteligence, kybernetika a informatika; biologie, psychologie a filozofie; neurovědy (od neuroanatomie a neurofyziologie přes neuropsychologii a neurofilozofii k výpočetní neurovědě), ale též chemie a fyzika, antropologie či jazyková patologie (srov. Ahlsén, 2006; Havel, 2000; Krámský, 2009; Stillings et al., 1998).⁴ V posledních letech se v kontextu zpracování jazyka v mysli a mozku dostaly do popředí zájmu psycholingvistika a neurolingvistika (Akmajian et al., 2001).

Sounáležitost neurolingvistiky a kognitivní vědy jakožto celku spočívá ve faktu, že neurolingvistiku zajímají – obecně řečeno – kognitivní procesy, jaké se v mozku a mysli odehrávají, užívá-li mluvčí nějaký přirozený jazyk. Kognitivní procesy v užším smyslu jsou: (zrakové, sluchové, taktilní) vnímání, učení, myšlení, usuzování a řešení problémů, avšak kognitivní vědě by mělo jít o výkony mysli ve smyslu nejširším, jako je racionální i neracionální jednání, intencionalita, paměť, vědomí, kreativní činnost a komunikace (srov. Havel, 2000). Jazyk je přitom chápán jako jedna z vyšších kog-

¹ Neurolingvistickým výzkumem (zejména výzkumem afatického jazyka) se zabývá Helena Lehečková (z posledních let viz např. Lehečková, 2009). Autorčin článek z roku 1984 nese téměř stejný název jako příspěvek náš: Neurolingvistika: předmět, metody a historie (Lehečková, 1984). Cílem naší stati je uvést neurolingvistiku jakožto mezioborovou disciplínu do aktuálních souvislostí.

² Za transdisciplinaritou oproti prosté multidisciplinaritě stojí představa budoucí, sjednocené kognitivní vědy (srov. Havel, 2000, zvl. pozn. 1). V této vizi sjednocené vědy spatřujeme též rozdíl mezi transdisciplinaritou, kreativně vycházející ze zázemí různých oborů, a interdisciplinaritou, která pracuje s metodami již etablovaných disciplín.

³ V historii české lingvistiky srov. Uhlířová (1978), nově srov. Nebeská (2007).

⁴ Jsme si vědomy jak možné součinnosti různých podoborů, tak rozdílných druhů dat, modelů, paradigmat a metodologických rámců, které pomezí disciplíny přinášejí a které bude nutno při jejich syntéze vzít v úvahu (srov. Ahlsén, 2006).

nitivních funkcí v mozku a mysli zpracovávaných,⁵ z čehož vyplývá úzký vztah mezi neurolingvistikou a psycholingvistikou;⁶ tento vztah se nyní pokusíme vysvětlit.

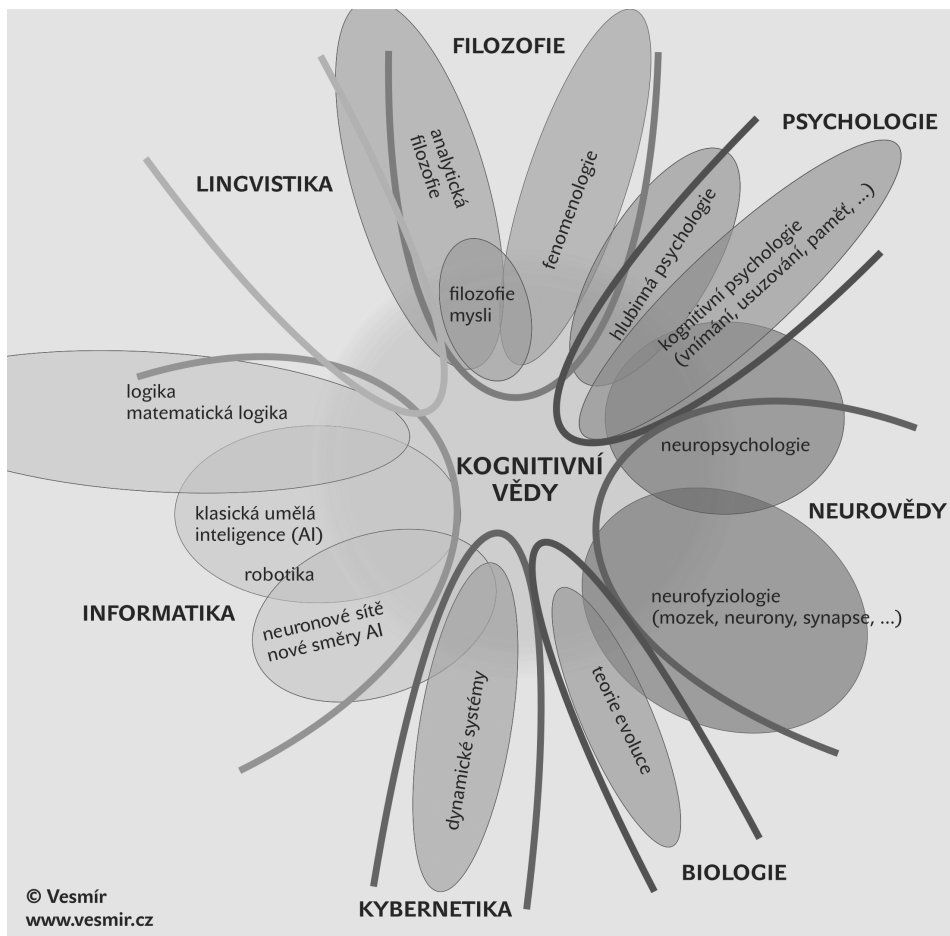
Neurolingvistika zkoumá lingvistické otázky pomocí neurovizuálních metod, které registrují biologicko-chemicko-fyzikální vlastnosti mozku. Je přitom zásadní, že neurolingvistika nevychází pouze z lingvistické teorie (tj. předpokladů, jak je jazykový systém strukturován), ale zabývá se též testováním psycholingvistických modelů, které postulují, jak v mysli probíhají procesy produkce a porozumění řeči (pro produkci řeči srov. Indefrey – Levelt, 2004; pro porozumění např. Gernsbacher – Kaschak, 2003). Důležitou roli tedy v neurolingvistice sehrávají poznatky z neurologie a neurofyzologie, které se při využití a obzvláště pak při vyhodnocování konečných výsledků výše zmiňovaných zobrazovacích metod uplatňují. Zároveň se současná neurolingvistika opírá o modely a teorie psycholingvistické, které svými metodami pomáhá prověřovat (podrobněji viz dále).

Psycholingvistika si klade za cíl zkoumat jednak to, jakým způsobem jsou jednotlivé lingvistické položky (*linguistic entries*) organizovány v mysli, jednak to, k jakým mentálním procesům zde dochází a) v oblasti produkce a porozumění řeči, b) v oblasti osvojování mateřského jazyka / mateřských jazyků (bilingvismu) u dětí či nabývání cizího jazyka u dospělých a konečně c) v oblasti jazykové patologie (např. studium afázií a jiných jazykových/řečových poruch). Metody, které se v psycholingvistickém výzkumu užívají buď samostatně nebo v kombinaci, se tradičně dělí do tří různých skupin (srov. např. Kroll – Gerfen – Dussias, 2008): 1) *offline metody*, 2) *online metody* a 3) *pravé online metody*. Označení těchto tří kategorií jsou motivována vyšší či nižší mírou bezprostřednosti jakéhosi navázání na mentální procesy, které v mysli probíhají. Pro offline metody platí, že toto navázání bezprostřední není; jde například o metodu úkolů ve formě jazykových testů (*grammaticality judgement task*, *preferential judgement task*, *discrimination*), v nichž mluvčí posuzují (a) gramatičnost nebo plauzibilitu určitého jazykového jevu v jistém kontextu. Předmětem offline metod je zkoumání jazykové kompetence (nikoliv performance) mluvčích daného jazyka. V online metodách je zmíněné navázání na mentální procesy více synchronizované (odtud označení online). Typickým zástupcem těchto metod je např. *lexical decision task* v kombinaci s primingem⁷ či měření reakčních časů. V těchto metodách se zaměřujeme na performance mluvčích a v porovnání s offline metodami zde vystupují do popředí automatizované mentální procesy, a nikoliv vědomé rozhodování, jako je tomu v případě offline metod. Konečně v pravých online metodách je vazba na mentální procesy v mozku

⁵ Jinými slovy, jazyk je jedna z kognitivních schopností, podobně jako je kognitivní schopností např. jízda na kole. Ke kognitivním schopnostem má člověk předpoklady, díky kterým jsou pak tyto schopnosti realizovány (např. Klein, 2000).

⁶ Úvod do studia (zejména komunikačně orientované) psycholingvistiky viz Nebeská (1992).

⁷ Metoda primingu je založena na perceptuální, sémantické, syntaktické či konceptuální podobnosti mezi tzv. primovým (*prime*) a cílovým (*target*) slovem, např. prezentujeme-li vizuálně či auditivně někomu po velmi krátkou dobu slovo *stůl*, dochází ke zrychlení v aktivaci (tzv. primingu) cílového slova *židle*, které je sémanticky spřízněné, nikoliv však např. slova *kočka*, které sémanticky spřízněné není (viz např. Tulving – Schacter – Stark, 1982). Primingový efekt je znatelný i v elektroencefalografii (EEG) (viz např. Chiarello et al., 1990).



Obr. 1: Kognitivní vědy (přetištěno z časopisu Vesmír, 79, 2000, s. 362)

a myslí téměř bezprostřední (mezi vlastním procesem a jeho měřením je pouze minimální časový posun). Předmětem zkoumání jsou pak vysoce automatizované procesy a vhodnými zástupci dané metody jsou kromě psycholingvistické metody měření očních pohybů (*eye-tracking*) všechny zobrazovací metody neurolingvistiky. Tím se právě online metody ocitají na rozhraní psycholingvistiky a neurolingvistiky.

V souvislosti s tímto metodologickým členěním ještě stojí za zmínku rozlišování mezi tzv. průřezovými (*cross-sectional*) a longitudinálními studiemi. Zatímco průřezové studie se zaměřují na výzkum dat od jedné a té samé skupiny mluvčích / skupin mluvčích, kterou testují pouze jednou (např. lexikální priming u rodilých vs. nerodilých mluvčích angličtiny), longitudinální studie se zabývají dlouhodobým výzkumem jedné a té samé skupiny mluvčích, či jednotlivce, jako je tomu v případových studiích (kazuistikách). Z logistických a finančních důvodů se zpravidla zkoumají menší vzorky mluvčích.

Aplikovatelnost těchto metod se vzájemně nevylučuje: v rámci jednoho prováděného experimentu může být například užit jak jazykový test, tak výzkum užívající měření reakčního času, či lze kombinovat zkoumání produkce určitého jazykového jevu spolu s výzkumem jeho porozumění.

Proces plánování dané experimentální studie se nazývá experimentální design a jeho součástí je též například výběr informantů či volba vhodných testovacích stimulů. Je přitom velmi důležité, že volba vhodných metod podléhá dané výzkumné otázce.

Postavíme-li vedle sebe neurolingvistiku a psycholingvistiku, můžeme říci, že psycholingvistika zkoumá produkci, porozumění, osvojování, nabyvání a patologii jazyka prizmatem mysli a mentálních kognitivních procesů, zatímco neurolingvistika se na tyto výzkumné oblasti dívá prizmatem mozku a mozkových (neurokognitivních) procesů, tj. zajímá ji, co při plnění jistého jazykového úkolu dělají neurony, jaké mozkové oblasti (příp. sítě neuronů) jsou v dané chvíli aktivní. Zkoumání (neuro)kognitivních procesů je přitom společné transdisciplinární doméně kognitivní vědy. Do oblasti kognitivní vědy náleží též lingvistická afaziologie (viz níže), přičemž styčnou oblastí výzkumu psycholingvistického a afaziologického je doména rozpadu jazyka (např. Caplan, 1987).

Závěrem lze tedy shrnout: Zatímco psycholingvistika se ptá, jak je lingvistická informace organizována v mysli a k jakým procesům zde dochází, neurolingvistika pak zjišťuje, jakým způsobem je tato organizace spolu s mentálními procesy fyziologicky implementována v mozku. Neurolingvistika se dále snaží psycholingvistické modely a teorie na základě empirického výzkumu pomocí neurovizuálních metod ověřovat, zpřesňovat a modifikovat. Odtud se pak odvíjejí některé zásadní otázky, které si neurolingvistika klade (viz odd. 5).

V následující kapitole se zaměříme na lingvistickou afaziologii, která představuje v historii neurolingvistiky stěžejní vývojovou fázi.

2. Afaziologie: novodobé kořeny neurolingvistického bádání

Otázky, které si neurolingvistika klade, sahají – jak už bylo řečeno – do starého Egypta a do antiky (Ahlsén, 2006; Bouton, 1991); v novodobých dějinách má neurolingvistika své kořeny v afaziologii. Lingvistická afaziologie, která je (resp. měla by být) součástí klinické a terapeutické praxe, se soustředí na výzkum afází, tj. poruch jazykového systému (ve smyslu *langue*)⁸, způsobených organickým poškozením mozkové tkáně (nejčastěji cévní mozkovou příhodou ischemického typu, viz např. Waberžinek – Krajíčková, a kol., 2007; Ingram, 2007, s. 11). Neurologické studie, které dnes mohou být považovány za mezníky v novodobé historii neurolingvistiky, se datují lety 1861 a 1874 a jsou spojeny se jmény Pierre Paul Broca a Carl Wernicke (viz níže).

Neurolingvistika je – navzdory starým otázkám, které si klade – oborem poměrně mladým: samotný termín se ustálil v 60. letech 20. století pod vlivem vzestupu chom-

⁸ Není dosud zřejmé, zda afázie náleží do oblasti jazyka (*langue*) či mluvy (*parole*). Ve srovnání s poruchami *parole*, jako je například koktavost, však patří spíše do *langue*. Při globální afázii dochází k úplnému rozvrácení systému jazyka (*langue*).

skyánské lingvistiky a pod vlivem psycholingvistiky, která tehdy již měla ustálenou oblast svého zájmu (srov. Ahlsén, 2006, s. 3). V roce 1974 vyšlo první číslo časopisu *Mozek a jazyk* (*Brain and Language*), který se stal platformou studia jazyka a komunikačních dovedností v souvislosti s výzkumem mozku. O dva roky později, v roce 1976, byl studiu vztahu mozku a jazyka věnován sborník *Studie z neurolingvistiky* (Whitaker – Whitaker, 1976–1977), v témže roce byl vydán anglický překlad ruského textu sovětského neuropsychologa Alexandra Luriji *Basic Problems of Neurolinguistics* (Lurija, 1976). V současnosti se neurolingvistickým otázkám věnují též časopisy *Journal of Neurolinguistics*, *Aphasiology*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, *Neuro-Image* a mnoho dalších.

3. Jazyková „centra“ v mozku?

V odborné literatuře, zvláště pak v medicínských studiích, se lze často setkat s termíny Brocovo a Wernickovo jazykové centrum, resp. Brocovo a Wernickovo centrum řeči. Teorie jazykových center v mozku je však příliš vyhraněná, tj. těmito „jazykovým centrem“ nelze obecně připsat výlučně funkci jazykovou (např. Frackowiak, 2003; Koukolík, 2000). Teorii jazykových „center“ tedy již řada neurolingvistů považuje za překonanou (Poeppel – Embick, 2005; Leiner – Leiner – Dow, 1993).⁹

Je tedy třeba mít vždy na paměti, že se nejedná výlučně o centra jazyková, protože mozkové struktury náležící do Brocovy či Wernickovy oblasti nezpracovávají pouze jazyk, ale jsou aktivní i u jiných, nejazykových úloh. Zároveň je třeba zdůraznit, že zpracování jazyka probíhá i mimo Brocovu a Wernickovu oblast (viz např. Grodzinsky, 2000).

Teorie jazykových center má svůj základ ve výzkumech Pierra Paula Brocy a Carla Wernicka, o jejichž neurologických pozorováních se nyní zmíníme. Předně je ale nutné podotknout, že současná neurolingvistika se na rozdíl od afaziologie v první řadě zabývá výzkumem nenarušeného zpracování jazyka.

3.1. *Paul Broca a tzv. Brocovo „motorické centrum“*

Francouzský neurolog a antropolog Pierre Paul Broca v roce 1861 publikoval data z lékařského vyšetření jednoho ze svých pacientů. Pacient trpěl afatickou poruchou, která se projevovala tím, že byl schopen užívat pouze jedinou slabiku „tan“. Studie mozku pacienta provedená post mortem odhalila poškození zadní oblasti levého frontálního laloku mozkové kůry (Ingram, 2007, s. 11). Léze byla spojována s deficitem jazykových funkcí a poškozená oblast mozku byla nazývána Brocovým motorickým (pohybovým) „centrem“ jazyka.

Přesné vymezení tzv. Brocovy oblasti však není zcela jasné: zdá se, že pod termín Brocova oblast bylo subsumováno několik architektonicky (i funkčně) rozdílných ob-

⁹ Vedle teorie jazykových center je překonána též myšlenka, že se v průběhu života netvoří nové nervové buňky. V nedávných výzkumech byla – zatím pouze u zvířat – zjištěna geneze nových neuronů (viz Shors, 2010).

lastí. Co do rozsahu a lokalizace Brocovy oblasti se jedná jednak o zadní část gyrus frontalis inferior (speciálně o jeho prostřední část, pars triangularis), tj. o Brodmannovu¹⁰ oblast 44 a 45 (u praváků i u leváků se zpravidla nalézá pouze v levé hemisféře), jednak o zadní část gyrus frontalis medius (tj. závit rovnoběžný s gyrus frontalis inferior) (Čihák, 2004, zejména s. 389). Za funkci této přesně neohraničené oblasti se vedle jiných funkcí považuje řízení pohybů mluvené i psané řeči (ibid., s. 389), tj. procesů potřebných především při řečové produkci zahrnující artikulaci¹¹ jazyka (odtud klasifikace přívlaskem *motorický*).

Jménem Pierra Paula Brocy bývá označován typ nonfluentní (neplynulé), motorické afázie – tzv. Brocovy afázie. Jde o takovou formu afázie, při níž je výrazně narušen proces produkce řeči: pacienti trpí namáhavou tvorbou řeči, užívají více či méně často agramatismy, v jejich řeči se objevují parafázie („neologické přesmyčky“), vyjadřování někdy působí „telegraficky“, protože bývají vynechávána tzv. funkční slova, zejména předložky (tj. pacienti se spoléhají na tzv. otevřené třídy slov, zejména substantiva). Schopnosti porozumění a opakování bývají u tohoto typu afázie více či méně zachovány.

3.2. Carl Wernicke a tzv. Wernickovo „senzorické centrum“

Německý neurolog Carl Wernicke v roce 1874 zjistil u dvou svých pacientů mozkové poškození, které se nacházelo vlevo nahoře v temporálním laloku, vzadu za Sylviovou rýhou, v posteriorní části BA22 (srov. např. Obler – Gjerlow, 1999, s. 41); oblast se nyní nazývá tzv. Wernickovým senzorickým řečovým „centrem“. Léze přitom vedla k jazykovému deficitu především v oblasti porozumění řeči, resp. v rozpoznávání slyšeného neboli rozeznávání (rozumění) mluvené řeči (odtud klasifikace přívlaskem *senzorický*) (Čihák, 2004, s. 393).

Jménem Carla Wernicka bývá označován typ fluentní (plynulé), senzorické afázie – tzv. Wernickovy afázie. Pro tuto formu afázie je příznačná plynulá, nepřerývaná řeč, která se tempem, rytmem a intonačním průběhem od řeči zdravých lidí dílem liší nemusí, dílem může působit jako drmolání. Vyskytují se v ní „neologické“ (parafatické) hláskové řetězce a slovní „přesmyčky“, ústí až v jakousi nesrozumitelnou slovní tříšť, v tzv. slovní salát (neologickou kvaziřeč naplněnou řetězci pseudoslov). Nemocní mají potíže s porozuměním a na rozdíl od pacientů s Brocovou afázií mají potíže též s doslovným opakováním. Svou řeč často považují za smysluplnou a nechápou, proč jim ostatní, zdraví mluvčí nerozumějí.¹² Vedle těchto dvou široce pojímaných typů afázie

¹⁰ Korbinian Brodmann (1868–1918), německý psychiatr a anatom; vypracoval cytoarchitektonickou korovou mapu. Rozčlenil kůru na 11 krajin, které se dále dělí na 52 oblastí (Čihák, 2004, s. 381). Koukolík (2000, s. 16) uvádí, že jde do značné míry o rozčlenění fiktivní, tedy že „[h]ranice korových polí jsou ve skutečnosti s výjimkou primárních smyslových korových oblastí podstatně méně určité, než Brodmann zakreslil“. Brodmannova mapa je však navzdory tomu široce přijímána a užívána.

¹¹ Artikulací rozumíme poslední fázi při produkci mluvené řeči (viz Levelt, 1989, 1999; Bordag, 2005).

¹² Je nutno dodat, že v tomto ohledu vždy záleží na tom, v jakém stádiu afázie se pacient nachází. Dojde-li k rozvratu řeči v podobě slovního salátu (žargonu), otázka schopnosti doslovného opakování přestává být relevantní.

se lze setkat i s jinými afatickými syndromy, např. s anomickou, konduktivní, transkortikální či globální afázií.

4. Neurozobrazovací metody: technické principy a provedení

Mezi výzkumné metody současné neurolingvistiky patří umělé modelování mozku (viz např. Ahlsén, s. 167), počítačové simulace (ibid., s. 37) a experimenty prováděné pomocí neurozobrazovacích metod; o stěžejních, nejvíce využívaných neurozobrazovacích metodách se nyní zmíníme.

4.1. Časové a prostorové rozlišení neurozobrazovacích metod

Dvěma parametry, které charakterizují neurozobrazovací metody, jsou tzv. časové a tzv. prostorové rozlišení. Obecně platí, že pro výzkumnou otázku „Kde v mozku?“ jsou vhodnější metody, které mají dobré prostorové rozlišení, tzn., lze z nich dobře určit lokalizaci aktivace, zatímco pro výzkumnou otázku „Kdy v mozku?“ jsou vhodnější metody s dobrým rozlišením časovým, tj. ty, které zaznamenávají reakci mozku v různých jednotkách času.

Neurozobrazovací metody lze členit na metody hemodynamické a elektrofyziologické. Hemodynamické metody, tj. pozitronová emisní tomografie (PET) a funkční magnetická rezonance (fMRI), mají poměrně dobré prostorové rozlišení; nejlepší prostorové rozlišení má však anatomická magnetická rezonance (anatomická MRI) či magnetická rezonanční tomografie (MRT). Obě dvě právě zmíněné metody lze přitom fúzovat s elektroencefalografií (EEG) a magnetoencefalografií (MEG). Pokud jde o časové rozlišení, je fMRI znatelně lepší než PET: u metody PET se aktivita mozku snímá přibližně každých 40 sekund, zatímco u metody fMRI každé tři sekundy. Nejlepší časové rozlišení však mají elektrofyziologické metody, tj. EEG a MEG; v obou případech se aktivita mozku snímá v řádech milisekund.

Stejně tak jako v případě volby experimentálního designu je výběr vhodné neurozobrazovací či elektrofyziologické metody závislý na dané výzkumné otázce (viz dále v odd. 5). Je třeba zdůraznit, že výsledným neurozobrazením, která následně bývají otištěna v odborných časopisech, předcházejí velmi komplikované statistické analýzy (např. vyhodnocování fMRI pomocí programu BrainVoyager, viz <<http://www.brain-voyager.com/>>).

Neurozobrazovací metody se v neurolingvistice široce používají k výzkumu morfologie (Ullman, 1999), syntaxe (např. Friederici – Opitz – von Cramon, 2000), prozodie (např. Friederici et al., 2003), sémantiky (např. Spalek – Thompson-Schill, 2008); zájmem neurolingvistiky je též zkoumat vztahy mezi těmito rovinami (Friederici et al., 2003). Některé studie se zaměřují též na výzkum širšího jazykového kontextu či diskurzu (např. přehledový článek Ska et al., 2009; Zwaan, 1996).

Nyní se zmíníme o stěžejních technických charakteristikách neurozobrazovacích a elektrofyziologických metod a o jejich výhodách a nevýhodách pro výzkum konkrétních lingvistických otázek.

4.2. Hemodynamické neuroobrazovací metody: PET a fMRI

Hemodynamické metody jsou založeny na měření průtoku krve v různých mozkových oblastech (*regional cerebral blood flow*, rCBF). Téměř veškerý výzkum je soustředěn na porozumění řeči, přičemž produkce řeči je spíše opomíjena. Logickým vysvětlením tohoto stavu je skutečnost, že testovaný informant uvnitř skeneru musí být téměř dokonale znehybněn, aby se zabránilo aktivaci pohybových center v mozku, a tudíž i interferenci s měřenou aktivitou daného jazykového úkolu. Jediná možnost, jak se vyhnout tomuto problému, je zkoumat produkci řeči tak, že testovaný informant produkuje daný jazykový materiál pouze „v duchu“ (jakožto vnitřní řeč, *internal speech*).¹³ Zůstává otázkou, zda tato simulace jazykové produkce odpovídá skutečné hlasité produkci řeči. Úhrnem lze konstatovat, že izolace daného úkolu od jiných než jazykových kognitivních procesů zůstává v kontextu neurolingvistiky zásadní výzvou výzkumu produkce či porozumění řeči. Z lingvistického pohledu se může zdát velkým nedostatkem, že se výzkum zaměřuje zejména na jazykové jednotky na úrovni slova či jednotky menší. Výzkum diskurzu/vyprávění či zahrnutí jazykového kontextu je teprve v počátcích (např. Mason – Just, 2006; Speer et al., 2009; Whitney et al., 2009; Zacks et al., 2001). Je nutné podotknout, že takový výzkum se provádí na úkor jazykové komplexity, protože striktní experimentální design těchto studií vyžaduje radikální zjednodušení jazykového materiálu.

4.2.1. Princip pozitronové emisní tomografie (PET)

Metoda PET je založena na principu emitovaného záření. Pacientovi či informantovi se nitrožilně aplikuje radiofarmakum,¹⁴ které v lidském těle při rozpadu emituje pozitrony β^+ ; ty kolidují s elektrony okolní hmoty, což vede k anihilaci (vyzáření) dvou fotonů, které se od sebe pohybují po tzv. koincidenční přímce a jsou zachycovány pomocí scintilačních kamer či detektorů umístěných v tubusu přístroje (viz např. Kulišťák, 2003, s. 58). Výsledkem jsou tomografické řezy, které znázorňují rozložení radioaktivity: různá možná intenzita zobrazení je proporcionální vzhledem k počtu anihilačních událostí. Tato různá intezita je na výsledných skenech znázorněna (odstupňována) různými barvami.

Výhodou techniky PET je poměrně dobré prostorové rozlišení, naopak nevýhodou je riziko radiace a invazivnost metody, dalšími úskalími jsou nízký počet pořizovaných skenů v rámci jednoho vyšetření, vysoké vstupní náklady a také fakt, že se neuronální aktivita měří pouze nepřímou (na rozdíl od měření metodami elektrofyziologickými, viz níže).

Vzhledem k tomu, že metoda PET je invazivní a oproti fMRI nemá zase o tolik lepší prostorové rozlišení, nepoužívá se v neurolingvistice tak často (je více rozšířená

¹³ V některých prováděných experimentech je možné, aby informant jedno určité slovo vyslovil nahlas, např. při pojmenování obrázků nebo objektů; nejde tedy vždy bezvýhradně pouze o vnitřní řeč.

¹⁴ Nejčastěji se užívá 2-[18F]fluoro-deoxy-D-glukóza (18FDG) (Brázdil – Hadač – Marusič, a kol., 2004, s. 127).

v klinické praxi). Chtěly bychom na tomto místě poukázat na zajímavou lokalizační studii Petera Hagoorta a jeho spolupracovníků, ve které se metoda PET využívá k testování čtených slov a pseudoslov v němčině (Hagoort et al., 1999).

4.2.2. *Princip funkční magnetické rezonance (fMRI)*

Funkční magnetická rezonance je metoda zaznamenávající poměr oxy- a deoxyhemoglobinu v krvi. Ústřední je přitom tzv. BOLD efekt (*blood oxygen level dependence*),¹⁵ jehož podstatou je chování okysličeného vs. neokysličeného hemoglobinu ve vnějším magnetickém poli.

V praxi je pacient či informant vystaven silnému magnetickému poli, v němž deoxyhemoglobin jakožto paramagnetická látka způsobuje zvýšení celkové intenzity magnetického pole v místě svého výskytu, a magnetické pole se tak díky vysoké koncentraci deoxyhemoglobinu stává méně homogenním. Při zvýšení oxygenace – neurony při svém pálení (*firing*) spotřebovávají více kyslíku – vzrůstá mozkový regionální průtok krve (rCBF), koncentrace deoxyhemoglobinu klesá a magnetické pole se stává homogennějším, tj. zvyšuje se BOLD efekt. Statistické zpracování získaných dat umožňuje výsledné zobrazení míst se statisticky významnou hemodynamickou změnou, tj. oblastí aktivovaných příslušným kognitivním úkolem (Brázdil – Hadač – Marusič, a kol., 2004, s. 134).

Funkční magnetická rezonance je metodou neinvazivní a lze ji použít i u dětí. K dalším výhodám patří dobré prostorové rozlišení (s přesností 1 mm) a možnost získání velmi vysokého počtu skenů (stovky až tisíce). Vzhledem k jejímu dobrému prostorovému, avšak nikoliv dobrému časovému rozlišení se používá hlavně k řešení otázek lokalizačních.

Tato metoda je v současné neurolingvistice velmi užívaná a kombinuje se s jinými metodami, například s EEG (viz níže). Vzhledem k tomu, že neurolingvistických studií využívajících metodu fMRI je velké množství, je obtížné vybrat některou z nich jakožto jedinou reprezentativní.

4.3. *Elektrofyzilogické metody (EEG, MEG)*

Elektrofyzilogické metody jsou založeny na faktu, že některé třídy neuronů se chovají jako elektrické dipóly. Jsou-li orientovány tímž směrem, vytvářejí elektromagnetické pole: elektrická složka tohoto pole zakládá elektroencefalogram (EEG, konkrétně evokované potenciály ERP, viz níže) a magnetická složka pak magnetoencefalogram (MEG).

Na rozdíl od hemodynamických metod elektrofyziologické metody měří povrchovou aktivitu na skalpu, a tudíž jsou vyhovující pro zkoumání specifických procesů, které se na zpracování jazyka podílejí. Jde zde zejména o to, kdy se v průběhu porozumění

¹⁵ Těž BOLD signál, BOLD kontrast, BOLD odpověď.

jazyka zpracovává semantická a kdy syntatická informace. Je ovšem třeba zdůraznit, že tyto metody neměří hloubkové (subkortikální) aktivace, a tudíž nejsou vhodné k výzkumu lokalizačních otázek.

V klinické psychologii a v psychiatrii se EEG, resp. ERP, užívá ke stanovení diagnózy pacientů (např. u schizofrenie).

4.3.1. Elektroencefalografie (EEG)

Elektroencefalografie je metoda, která měří neuronální aktivitu přímo, tzn., měří hladinu kolísajícího napětí, které populace synchronně aktivních neuronů vytvářejí. V praxi se provádí snímáním bioelektrické aktivity z povrchu hlavy pomocí menšího či většího počtu elektrod; Kulišťák (2003, s. 52) udává počet 16–64 elektrod.

Pro neurolingvistiku jsou nejdůležitějšími komponentami EEG tzv. evokované potenciály (*event-related potentials*, ERP). Pro zpracování jazyka byly prokázány zejména tři typické vlny: 1. vlna ELAN (*early left anterior negativity*) se objevuje velmi rychle po příslušném podnětu a vrcholí v rozmezí mezi 100 a 300 milisekundami po začátku např. gramaticky nesprávného podnětu (např. *We were THE EATING pizza* versus *We were eating pizza*). Vlna ELAN byla prokázána pro němčinu, japonštinu, angličtinu, čínštinu a nizozemštinu, avšak je prokázáno, že to není reakce specifická výlučně pro jazyk (objevuje se i jako reakce na podněty nelingvistické, srov. Hagoort, 2003). Další důležitou komponentou EEG je 2., negativní vlna N400. Je vyvolávána podnětem vyžadujícím zpracování sémantické informace a je pozorována 400 milisekund po příslušném podnětu¹⁶ (odtud zkratka N400), zatímco 3., pozitivní vlna P600 je vyvolávána podnětem vyžadujícím syntaktické zpracování jazyka a je pozorována 600 milisekund po podnětu (odtud zkratka P600). V případě N400 byla zkoumána sémanticky neočekávaná slova uvnitř věty, jako např. ve větě *Mám rád burty a PSA*, kde je N400 vyvolána neočekávaným podstatným jménem *PSA* (srov. Brown – Hagoort, 1999, s. 10; srov. též Kremláček – Kuba, 2007).¹⁷ V případě P600 byly zkoumány věty s tzv. efektem slepé koleje (*garden-path sentences*), např. *Zloděj otevřel trezor s velkým úsilím a SE SVÝM LUPEM utekl* (viz Eysenck – Keane, 2008, s. 410), kdy konstrukce *se svým lupem* „vrátí“ recipienta zpět na začátek dané věty, aby mohl větu správně interpretovat.

Velkou výhodou metody EEG je – jak už bylo řečeno – vysoké časové rozlišení (v řádech milisekund, zatímco v případě výše zmíněných metod hemodynamických jde o sekundy či minuty), dále též neinvazivnost a možnost jejího využití u dětí. Nevýhodou je absence signálů ze subkortikálních oblastí (způsobená tím, že napětí klesá se vzdáleností od svého zdroje), tzn., metoda EEG měří napětí pouze z povrchových (kortikálních) struktur mozku. Velmi slabé prostorové rozlišení lze zvýšit přidáním většího počtu elektrod.

¹⁶ N400 lze stejně jako vlnu ELAN vyvolat i jiným než jazykovým podnětem. Nové teorie postulují, že N400 je svázána obecně se sémantickou pamětí (např. Kutas – Federmeier, 2000).

¹⁷ Vyvolání vlny N400 je pro tento příklad pouze hypotetické: v češtině tento podnět dosud nebyl testován.

Metody EEG a fMRI jsou do jisté míry komplementární a často se aplikují společně (Friederici – Meyer – von Cramon, 2000).¹⁸ Stejně tak jako u fMRI je výzkum pomocí ERP velmi rozšířený. Jednou z prvních, průkopnických studií byla práce M. Kutasové a S. A. Hillyarda (1980). Za zmínku stojí i poměrně nové zaměření na tzv. neurotypologii, v jejímž rámci se pomocí EEG studují kontrastivně syntaktické vlastnosti různých jazyků (srov. Bornkessel-Schlesewsky – Schlesewsky, 2009).

4.3.2. *Magnetoencefalografie (MEG)*

Metoda MEG je magnetický protějšek metody EEG. Má vysoké časové i prostorové rozlišení a není invazivní. Umožňuje zachycovat i velmi slabé změny magnetických polí, které jsou v mozkové kůře generovány odpovědí na jistý podnět (srov. Ahlsén, 2006, s. 165). Její nevýhodou jsou však velmi vysoké vstupní náklady. Stejně jako u metody EEG lze u metody MEG provádět záznam ERP. Jako příklad uveďme studii z poslední doby, která se zabývá výzkumem intonace – Fournier et al. (2010).

5. Výzkumné otázky neurolingvistiky

Obecně vzato lze říci, že hlavním cílem neurolingvistiky je studium neurofyzilogických jevů v mozku v průběhu porozumění a produkce řeči (zpracování jazyka). Specifikum neurolingvistiky či kognitivních neurověd vůbec spočívá ve využívání nejmodernějších neurofyzilogických, (ne)invazivních metod v kombinaci s lingvistickými, neurobiologickými a neuropsychologickými poznatky pro výzkum zpracování jazyka v laboratorních podmínkách. Protože tato práce vyžaduje technicky vyspělé vybavení a rozsáhlé odborné znalosti v několika disciplínách, tento druh výzkumu typicky zahrnuje týmovou spolupráci a bývá často zastoupen více než jednou laboratoří.

Ústřední otázky, které si neurolingvistika klade, se vztahují k architektuře a fungování modelů, o něž se autoři neurolingvistických studií teoreticky opírají (viz vztah neurolingvistiky k psycholingvistice v odd. 1). Například: V jakém pořadí se při porozumění větě v mozku zpracovávají syntaktická a sémantická informace? Předchází analýza sémantické informace analýze informace syntaktické, nebo naopak, či dochází k jejich časovému překrytí? Kromě toho se studuje, v jakých částech mozku se daná lingvistická informace zpracovává, tj. zdali jsou informace různého typu zpracovávány v odlišných / totožných / částečně se překrývajících oblastech mozku. V neposlední řadě se neurolingvistika zabývá též patologií jazyka, tj. zajímá ji, co se stane, je-li mozek poškozen (například při afázii). V neurolingvistice mají místo též otázky bilingvální akvizice, tj. rozdíly ve zpracování jazyka u rodilých vs. nerodilých mluvčích (Saburin – Stowe, 2008).

¹⁸ Tzv. kombinované metody, např. efMRI.

6. Kognitivní neurověda a jazyk: možnosti a omezení

Základem zkoumání v oblasti neurověd a tudíž i neurolingvistiky je rozčlenění jazyka na jednotlivé roviny: neurolingvistické studie operují s rovinou fonologie (fonotaktiky) (např. Zatorre et al., 1996), morfologie (zejm. zpracování jazyka na úrovni slova, případně jednotlivých morfémů) (např. Bright – Moss – Tyler, 2004; Cappelletti et al., 2008), syntaxe (např. Oberecker – Friedrich – Friederici, 2005) a diskurzu (např. Mason – Just, 2006). Vydělováno bývá též zkoumání sémantiky (např. Kang et al., 1999; Zurif et al., 1974) a ortografie, resp. grafematiky (např. Ischebek et al., 2004; Buchweitz et al., 2009).

Lokalizovat zpracování jazyka v určité oblasti mozku je velmi komplikované; jako příklad uvádíme aktivaci rozličných mozkových oblastí ve zpracování syntaxe: z neurozobrazovacích studií vyplývá, že Brodmannova oblast 44 je zodpovědná za syntaktické zpracování jazyka, a to v rámci Brocovy oblasti (Heim – Opitz – Friederici, 2003). Jiná studie (Friederici – Mayer – von Cramon, 2000) ukázala, že se BA 44 dělí na dvě funkčně odlišné části: dolní (inferiorní) část je zapojena při zpracování syntaktické struktury a střední část je zapojena do procesů spojených se syntaktickou pamětí. Další oblasti, které jsou aktivovány při syntaktickém zpracování, jsou následující: cingulární gyrus (tj. gyrus obkružující mediálně corpus callosum), levý horní čelní gyrus, levý nucleus caudatus (tj. část bazálních ganglií), střední a horní spánkový lalok, přední spánkový lalok, zadní spánková oblast a pravá hemisféra.

V tabulce 1 uvádíme výčet několika kognitivních (tj. nejen jazykových) funkcí a jejich lokalizaci. Je zjevné, že jejich lokalizace není příliš vyhraněná.

Tab. 1: Distribuce funkcí a jejich lokalizací¹⁹

Funkce	Popis	Oblast mozku
motorické	kontrola řízených pohybů	zadní okraj frontálního laloku
somatosenzorické	tělesné vjemy, včetně vnímání teploty, tlaku, bolesti	čelní okraj parietálního laloku
zrakové	schopnost vidět	okcipitální lalok
sluchové	schopnost slyšet	horní část temporálního laloku
produkce řeči (ve smyslu motoricko-artikulačním)	schopnost produkovat řeč	Brocova oblast ve frontálním laloku v <i>l e v é</i> hemisféře
plánování a porozumění řeči	schopnost plánování a porozumění řeči	Wernickova oblast na rozhraní parietálního, temporálního a okcipitálního laloku v <i>l e v é</i> hemisféře

Pokud jde o lateralizaci jazyka v mozku, je třeba zmínit, že u většiny lidí je jazykové zpracování prováděno převážně v hemisféře, která je pro jazyk dominantní. U praváků to zpravidla bývá hemisféra levá.

Závěrem se soustředíme na vytyčení několika otázek o těch problémech, které se nám zdají být v kontextu tohoto článku relevantní.

¹⁹ Viz <<http://facstaff.gpc.edu/~bbrown/psyc1501/brain/locilat.htm>>.

- a) Uvažujeme-li mluvčí jakožto nositele jazyka v myslích a mozcích, je třeba počítat též s individuální funkční a strukturní variabilitou: strukturu mozku lze přirovnat k otiskům prstů. Odtud vyvstává problém komparace dat z různých mozků a problém následné generalizace.²⁰
- b) Fyzikální principy neurovizuálních metod jsou dosti složité a mají svá omezení (viz výše).²¹ Je tedy třeba – vedle provádění experimentů samých – studovat, jak byly jednotlivé neurovizuální metody vyvinuty, co o neuronální strukturu jazyka vypovídají a jakou funkci při vyhodnocování neurovizuálních dat plní statistická analýza (srov. Gernsbacher – Kaschak, 2003, s. 109). Je tedy nutné zaměřit se vedle otázky „*Kde* v mozku“ na otázku „*Jak* v mozku“, a to v spojitosti se zkoumáním mozkové mikrostruktury (tj. struktury na úrovni jednotlivých neuronů). Kromě toho je nutno podotknout, že pro výzkum některých lingvistických otázek jsou i nadále behavioristické metody často vhodnější než metody neurovizuální (Hagoort, listopad 2005, ústní sdělení).
- c) Otázka zní: Jak integrovat informace získané měřeními pomocí rozdílných metod? Přesněji: Jak docílit integrace časové a prostorové informace? Prozatím přesně nevíme, v jakém vzájemném vztahu jsou hemodynamické a elektrofyziologické signály.
- d) Mozkové oblasti vzájemně interagují, a proto bude třeba vyrovnat se s problémem simultánní aktivity.
- e) Jak přejít od neuronálního korelátu kognice ke kauzálnímu vztahu mezi neuronální a kognitivní aktivitou?

Z uvedených otázek a problémů vyplývá to nejdůležitější: je třeba zamyslet se nad tím, jakým způsobem navrhnout a realizovat vhodné experimenty (tj. jakou výzkumnou otázkou se zabývat – viz úvod tohoto článku), abychom dospěli k žádoucím výsledkům a dokázali tak různé aspekty zpracování jazyka v mozku a mysli vysvětlit. V tomto kontextu chceme poukázat na dvě studie, které se vyjadřují k využívání neurovizuálních metod ke studiu lingvistických otázek poměrně kriticky – Poeppel, 1996; Van Lancker Sidtis, 2006.

7. Závěrem

Domníváme se, že je žádoucí provádět neurovizuální výzkum jazyka (zahrnující i češtinu), neboť jen tak se dozvíme něco nového o jeho fungování na neuronální úrovni a o jeho zpracování jakožto v čase probíhajícího procesu. Přitom je třeba vzít v úvahu, že jazykově-kognitivní úlohy jsou vysoce komplexní a zpracovávají se vždy ve spojení s dalšími kognitivními procesy.

²⁰ Rozvíjejí se však také přístupy, které počítají s individuálními odchylkami (viz např. Schneider et al., 2002).

²¹ Neurovizuální metody jistě budou dále vyvíjeny. Slibnou budoucnost má v tomto ohledu fMRI v kombinaci s EEG či s měřením pohybů očí (*eye-tracking*).

LITERATURA

- AHLSÉN, E. (2006): *Introduction to Neurolinguistics*. Amsterdam – Philadelphia: John Benjamins.
- AKMAJIAN, A. – DEMERS, R. A. – FARMER, A. K. – HARNISH, R. M. (2001): *Linguistics: An Introduction to Language and Communication*. Cambridge – London: The MIT Press.
- BORDAG, D. (2005): Modely řečové produkce v současné psycholingvistice. *Slovo a slovesnost*, 66, s. 180–193.
- BORNKESSEL-SCHLESEWSKY, I. – SCHLESEWSKY, M. (2009). *Processing Syntax and Morphology: A Neurocognitive Perspective*. Oxford – New York: Oxford University Press.
- BOUTON, CH. P. (1991): *Neurolinguistics: Historical and Theoretical Perspectives*. New York: Plenum Press.
- BRÁZDIL, M. – HADAČ, J. – MARUŠIČ, P., A KOL. (2004): *Farmakorezistentní epilepsie*. Praha: Triton.
- BRIGHT, P. – MOSS, H. – TYLER, L. K. (2004): Unitary vs multiple semantics: PET studies of word and pictures processing. *Brain and Language*, 89, s. 417–432.
- BROWN, C. M. – HAGOORT, P. (eds.) (1999): *The Neurocognition of Language*. New York: Oxford University Press.
- BUCHWEITZ, A. – MASON, R. A. – HASEGAWA, M. – JUST, M. A. (2009): Japanese and English sentence reading comprehension and writing systems: An fMRI study of first and second language effects on brain activation. *Language and Cognition*, 12, s. 141–151.
- CAPLAN, D. (1987): *Neurolinguistics and Linguistic Aphasiology: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CAPPELLETTI, M. – FREGNI, F. – SHAPIRO, K. – PASCUAL-LEONE, A. – CARAMAZZA, A. (2008): Processing nouns and verbs in the left frontal cortex: A transcranial magnetic stimulation study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, s. 1–15.
- CHIARELLO C. – BURGESS, C. – RICHARDS L. – POLLOCK A. (1990): Semantic and associative priming in the cerebral hemispheres: some words do, some words don't ... sometimes, some places. *Brain and Language* 38, s. 75–104.
- ČIHÁK, R. (2004): *Anatomie*, 3. Praha: Grada.
- EYSENCK, M. W. – KEANE, M. (2008): *Kognitivní psychologie*. Praha: Academia.
- FRACKOWIAK, R. S. J. – FRISTON, K. J. – FRITH, C. – DOLAN, R. – PRICE, C. J. – ZEKI, S. – ASHBURNER, J. – PENNY, W. D. (2003): *Human Brain Function*. San Diego – London: Academic Press.
- FRIEDERICI, A. D. – KOTZ, S. A. – STEINHAEUER, K. – VON CRAMON, D. Y. (2003): The neural basis of the prosody-syntax interplay: The role of the corpus callosum. *Brain and Language*, 87, s. 133–134.
- FRIEDERICI, A. D. – MEYER, M. – VON CRAMON, D. Y. (2000): Auditory language comprehension: An event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain and Language*, 74, s. 289–300.
- FRIEDERICI, A. D. – OPITZ, B. – VON CRAMON, D. Y. (2000): Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: An fMRI investigation of different word types. *Cerebral Cortex*, 10, s. 698–705.
- FOURNIER, R. – GUSSENHOVEN, C. – JENSEN, O. – HAGOORT, P. (2010): Lateralization of tonal and intonational pitch processing: An MEG study. *Brain Research*, 1328, s. 79–88.
- GERNSBACHER, M. A. – KASCHAK, M. P. (2003): Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, s. 91–114.
- GRODZINSKY, Y. (2000): The neurology of syntax: Language use without Broca's area. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, s. 1–21.
- HAGOORT, P. (2003): How the brain solves the binding problem for language: A neuro-computational model of syntactic processing. *NeuroImage*, 20, s. 18–29.
- HAGOORT, P. – INDEFREY, P. – BROWN, C. M. – HERZOG, H. – STEINMETZ, H. – SEITZ, R. J. (1999): The neural circuitry involved in the reading of German words and pseudowords: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, s. 383–398.

- HAVEL, I. M. (2000): Věda o duši. *Vesmír*, 79, s. 363.
- HEIM, S. – OPITZ, B. – FRIEDERICI, A. (2003): Distributed cortical networks for syntax processing: Broca's area as the common denominator. *Brain and Language*, 85, s. 402–408.
- INDEFREY, P. – LEVELT, W. J. M. (2004): The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition*, 92, s. 101–144.
- INGRAM, J. C. L. (2007): *Neurolinguistics: An Introduction to Spoken Language Processing and its Disorders*. New York: Cambridge University Press.
- ISCHENBECK, A. – INDEFREY, P. – USUI, N. – NOSE, I. – HELLWIG, F. – TAIRA, M. (2004): Reading in a regular orthography: An fMRI study investigating the role of visual familiarity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, s. 727–741.
- KANG, A. M. – CONSTABLE, R. T. – GORE, J. C. – AVRUTIN, S. (1999): An event-related fMRI study of implicit phrase-level syntactic and semantic processing. *NeuroImage*, 10, s. 555–561.
- KLEIN, W. (2000): Prozesse des Zweitspracherwerbs. In: H. Grimm (ed.), *Enzyklopädie der Psychologie*, 3. Göttingen: Hogrefe, s. 538–570.
- KOUKOLÍK, F. (2000): *Lidský mozek: funkční systémy, normy a poruchy*. Praha: Portál.
- KRÁMSKÝ, D. (ed.) (2009): *Kognitivní věda dnes a zítra*. Liberec: Bor.
- KREMLÁČEK, J. – KUBA, M. (2009): Objektivní hodnocení kognitivních funkcí pomocí elektrofyziologického vyšetření: vlna P300 a její vlastnosti. In: M. Petrů et al. (eds.), *Struny mysli: Kognice 2007*. Ostrava: Montanex, s. 20–24.
- KROLL, J. F. – GERFEN, CH. – DUSSIAS, P. E. (2008): Laboratory designs and paradigms: Words, sounds, sentences. In: L. Wei – M. G. Moyer (eds.), *The Blackwell Guide to Research Methods in Bilingualism and Multilingualism*. Malden: Blackwell, s. 108–131.
- KULIŠTÁK, P. (2003): *Neuropsychologie*. Praha: Portál.
- KUTAS, M. – HILLYARD, S. A. (1980): Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, s. 203–208.
- KUTAS, M. – FEDERMEIER, K. D. (2000): Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Science*, 4, s. 463–470.
- LEHEČKOVÁ, H. (1984): Neurolingvistika: předmět, metody a historie. *Slovo a slovesnost*, 45, s. 154–157.
- LEHEČKOVÁ, H. (2009): Afázie jako zdroj poznatků o fungování jazyka. *Slovo a slovesnost*, 70, s. 23–35.
- LEINER, H. C. – LEINER, A. L. – DOW, R. S. (1993): Cognitive and language functions of the human cerebellum. *Trends in Neurosciences*, 16, s. 444–447.
- LEVELT, W. J. M. (1989): *Speaking: From Intention to Articulation*. Cambridge – London: The MIT Press.
- LEVELT, W. J. M. (1999): Language. In: G. Adelman – B. H. Smith (eds.), *Elsevier's Encyclopedia of Neuroscience*. Amsterdam: Elsevier, s. 1005–1008.
- LURIA, A. R. (1976): *Basic Problems of Neurolinguistics*. Translated by B. Haigh. The Hague: Mouton.
- MASON, R. A. – JUST, M. A. (2006): Neuroimaging contributions to the understanding of discourse processes. In: M. Traxler – M. Gernsbacher (eds.), *Handbook of Psycholinguistics*. Amsterdam: Elsevier, s. 765–799.
- NEBESKÁ, I. (1992): *Úvod do psycholingvistiky*. Praha: H+H.
- NEBESKÁ, I. (2007): Mnoho otázek, málo odpovědí. *Slovo a smysl*, 4, s. 277–289.
- OBLER, L. K. – GJERLOW, K. (1999): *Language and the Brain*. Cambridge: Cambridge University Press.
- OBERECKER, R. – FRIEDRICH, M. – FRIEDERICI, A. D. (2005): Neural correlates of syntactic processing in two-year-olds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, s. 1667–1678.
- POEPPEL, D. (1996): A critical review of PET studies of phonological processing. *Brain and Language*, 55, s. 317–351.
- POEPPEL, D. – EMBICK, D. (2005): Defining the relation between linguistics and neuroscience. In: A. Cutler (ed.), *Twenty-First Century Psycholinguistics: Four Cornerstones*. New Jersey: Lawrence and Erlbaum Associates, s. 103–118.
- SABOURIN, L. L. – STOWE, L. A. (2008): Second language processing: When are first and second languages processed the same? *Second Language Research*, 24, s. 397–430.

- SCHNEIDER, P. – SCHERG, M. – DOSCH, H. G. – SPECHT, H. J. – GUTSCHALK, A. – RUPP, A. (2002): Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5, s. 688–694.
- SHORS, T. J. (2010): Zachraňme nové mozkové buňky. *Scientific American*, české vydání, s. 21–27.
- SKA, B. – SCHERER, L. C. – FLÖRES, O. C. – DE OLIVEIRA, C. R. – NETTO, T. M. – FONSECA, R. P. (2009): Theoretical, behavioral and neuroimage evidence on discourse processing aging. *Psychology and Neuroscience*, 2, s. 101–109.
- SPAŁEK, K. – THOMPSON-SCHILL, S. L. (2008): Task-dependent semantic interference in language production: An fMRI study. *Brain and Language*, 107, s. 220–228.
- SPEER, N. K. – REYNOLDS, J. R. – SWALLOW, K. M. – ZACKS, J. M. (2009). Reading stories activates neural representations of perceptual and motor experiences. *Psychological Science*, 20, s. 989–999.
- STILLINGS, N. A. – WEISLER, S. E. – CHASE, CH. H. – FEINSTEIN, M. H. – GARFIELD, J. L. – RISSLAND, E. L. (1998): *Cognitive Science: An Introduction*. Cambridge – London: The MIT Press.
- TULVING, E. – SCHACTER, D. L. – STARK, H. A. (1982): Priming effects in word fragment completion are independent of recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8, s. 336–342.
- UHLÍŘOVÁ, L. (1978): K terminu kognitivní. *Slovo a slovesnost*, 39, s. 288–291.
- ULLMAN, M. T. (1999). The functional neuroanatomy of inflectional morphology. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, s. 1041–1042.
- VAN LANCKER SIDIŠ, D. (2006). Does functional neuroimaging solve the questions of neurolinguistics? *Brain and Language*, 98, s. 276–290.
- WABERZINEK, G. – KRAJČKOVÁ, D., A KOL. (2007): *Základy speciální neurologie*. Praha: Karolinum.
- WHITAKER, H. A. – WHITAKER, H. (eds.) (1976–1977): *Studies in Neurolinguistics, 1–3*. New York: Academic Press.
- WHITNEY, C. – HUBER, W. – KLANN, J. – WEIS, S. – KRACH, S. – KIRCHER, T. (2009): Neural correlates of narrative shifts during auditory story comprehension. *NeuroImage*, 47, s. 360–366.
- ZACKS, J. M. – BRAVER, T. S. – SHERIDAN, M. A. – DONALDSON, D. I. – SNYDER, A. Z. – OLLINGER, J. M. – BUCKNER, R. L. – RAICHLE, M. E. (2001): Human brain activity time-locked to perceptual event boundaries. *Nature Neuroscience*, 4, s. 651–655.
- ZATORRE, J. R. – MEYER, E. – GJEDDE, A. – EVANS, A. C. (1996): PET studies of phonetic processing of speech: Review, replication, and reanalysis. *Cerebral Cortex*, 6, s. 21–30.
- ZURIF, E. – CARAMAZZA, A. – MYERSON, R. – GALVIS, J. (1974): Semantic feature representations for normal and aphasic language. *Brain and Language*, 1, s. 167–187.
- ZWAAN, R. A. (1996). Processing narrative time shifts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, s. 1196–1207.

Barbara Schmiedtová
 Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
 IDF, Plöck 55, D-69117 Heidelberg, Deutschland
 <schmiedtova@idf.uni-heidelberg.de>

Eva Flanderková
 Ústav lingvistiky a ugrofinistiky FF UK
 nám. Jana Palacha 2, 116 38 Praha 1
 <eva.flanderkova@saga.cz>