



TOMASZ NOWAK

Instytut Języka Polskiego, Uniwersytet Śląski w Katowicach

Przetwarzanie języka/mowy w umyśle/mózgu na tle wyników wybranych eksperymentów neurolingwistycznych

ABSTRACT: This paper aims at presenting the development of modern neurolinguistic research by providing its review and summary. At the end, the author includes a catalog of correlations between language functions and neural networks as well as an extensive bibliography, containing selected publications in the field of neurolinguistics.

KEY WORDS: neurolinguistics, experiment, language function, neural network

Praca, jaką oddaję do rąk czytelnika, stanowi, w moim zamyśle, skromną pomoc – bardziej orientacyjny drogowskaz niż kompendium – adresowaną zwłaszcza do szerokiego grona słuchaczy studiów logopedycznych na wszystkich szczeblach kształcenia, jak również do wszystkich zainteresowanych wynikami badań z zakresu neurolingwistyki (w tym też ich językoznawczą wykładnią). Wizerunek języka/mowy w umyśle/mózgu, jaki na podstawie zgromadzonej literatury rekonstruuje, jest – z konieczności – skrótowy i uproszczony. Wiele poruszanych w artykule zagadnień znacząco wykracza poza przyjęte w nim ramy i planowaną jego objętość, a także poza kompetencję autora, który z profesji jest lingwistą, zafascynowanym spektaklem rozgrywającym się aktualnie na rubieżach nauk społeczno-humanistycznych i matematyczno-przyrodniczych. Z myślą o ułatwieniu czytelnikowi rozeznania w temacie, na końcu artykułu zamieszczam obszerną bibliografię, wierząc przy tym, że zainteresowany odbiorca zechce samodzielnie zgłębić wiedzę, sięgając do wskazanych publikacji. Na podstawie dostępnej literatury z zakresu neurolingwistyki zgromadziłem obszerną bazę danych na temat obwodów językowych (ściślej – korelacji funkcjonalno-strukturalnych); udostępniam ją czytelnikowi w aneksie. Ze względu na ogromną liczbę ogłoszonych drukiem publikacji, wręcz niemożliwą do objęcia przez jedną osobę nawet w dłuższej perspektywie, byłem zmuszony dokonać wyboru (nieocenione źródło, z którego czerpałem: *Brodmann's Interactive Atlas* Byrona Bernala i Joanny

Perdomo¹). Mając na uwadze przejrzystość wyводу i wygodę odbiorcy, postanowiłem nie zamieszczać w tekście artykułu adresów bibliograficznych. Uczciwie rzecz biorąc, powinienem nimi opatrywać niemal każde zdanie (wszak relacjonuję nie swoje, lecz czyjeś osiągnięcia), co praktycznie uniemożliwiłoby lekturę, a także znacznie powiększyło jej, i tak już okazałą, objętość. Ograniczam się jedynie do zamieszczenia wspomnianej sążnistej bibliografii publikacji, z których pełnymi garściami czerpałem, pragnąc na ich podstawie zbudować „cerebralny portret” języka/mowy.

Poszukiwanie języka/mowy w umyśle/mózgu

Badania eksperymentalne nad językiem/mową absorbują uwagę lingwistów, jak również – a raczej przede wszystkim – psycho- i neurolingwistów. Jedno z najpierwszych pytań, jakie w tej sytuacji się narzuca, dotyczy wzajemnych relacji pomiędzy tymi trzema domenami poznania. Okazuje się bowiem, że przywoływane dyscypliny stawiają przed sobą, a także – i to zapewne najważniejsze – przed językiem/mową, nieco odmienne cele: lingwistyczny – funkcja (komputacja) werbalna; psychologiczny – reprezentacja (alorytmizacja) mentalna; neurologiczny – instalacja (implementacja) cerebralna. Mówiąc otwarcie, lingwistyka opisuje: „co”, psycholingwistyka wyjaśnia: „jak”, neurolingwistyka przewiduje: „gdzie” i „kiedy” – umysł/mózg robi (coś) z językiem/mową. Przedmiot moich dalszych studiów będzie stanowić profil neurolingwistyczny wybranych jednostek i procesów języka/mowy.

Neurolingwistyka dysponuje szerokim (z biegiem czasu coraz rozleglejszym) spektrum metod badawczych, dzięki którym naukowcy mogą coraz głębiej zaglądać „do mózgu przez język”, a także, od dwudziestu paru lat – „do języka przez mózg”. Metody neurolingwistyczne obejmują aktualnie procedury zarówno tradycyjne, jak i współczesne. Metody tradycyjne, zorientowane na eksplorację pod kątem lateralizacji funkcji językowych, skupiają techniki nieinwazyjne, np. obserwujące i słuchające, oraz mniej lub bardziej inwazyjne, np. usypiające i drażniące, rozszczepiające i usuwające (zob. obserwacja kliniczna i słyszenie rozdzielności, próba amygdalowa i drażnienie kory, komisurotomia i hemisferektomia). Metody nowoczesne z kolei, ukierunkowane na penetrację w zakresie lokalizacji funkcji językowych, gromadzą techniki obrazujące, np. CT, fMRI MRI, MRS, PET, SPECT, oraz rejestrujące, np. CRP, EEG, ERPs, MEG, PEG. Myślę, że nie miejsce tu, by je wszystkie wyczerpująco omawiać (zresztą artykuł ten – w intencji autorskiej – został zogniskowany zdecydowanie bardziej na rezultatach niż na narzędziach); ponadto zain-

¹ B. BERNAL, J. PERDOMO: *Brodmann's Interactive Atlas*. www.fmriconsulting.com/brodmann [data dostępu: 19.11.2016].

teresowany czytelnik znajdzie ich przystępną charakterystykę w wielu fachowych publikacjach. Znacznie istotniejszą sprawą, z punktu widzenia obranego w tej pracy celu, jest kwestia skonstruowania, opartego na wynikach eksperymentów, modelu przetwarzania języka/mowy w umyśle/mózgu.

Model przetwarzania języka/mowy w umyśle/mózgu

Model przetwarzania języka/mowy obejmuje zwykle kilka poziomów/etapów, jak również przyporządkowanych im jednostek/procesów. Poziomy/etapy, jakie są w nim przewidziane, sytuują się w zasięgu bądź modułów peryferyjnych, np. analizatorów percepcyjnych i parsera językowego, bądź procesora centralnego; por. poziom/etap fonologiczny i gramatyczny, semantyczny i pragmatyczny, w ramach których kolejne poziomy/etapy odznaczają się aktywnością swoich jednostek/procesów; por. rozkład: jednostka: głoska/różnica i proces: percepcja dystynktywna, na poziomie/etapie (analizator) fonologicznym (gnostycznym); jednostka: słowo/pojęcie i proces: dostęp leksykalny, na poziomie/etapie (procesor) semantycznym (konceptualnym); jak również jednostka: zdanie/sąd i proces: integracja syntaktyczna, na poziomie/etapie (parser) gramatycznym (propozycjonalnym); jednostka: tekst/cel i proces: interpretacja dyskursywna, na poziomie/etapie (procesor) pragmatycznym (intencjonalnym).

Lokalizację/temporalizację jednostek/procesów ustala się, manipulując wzorami bodźców, mianowicie kontrastując z sobą w ramach odpowiednich poziomów i w trakcie właściwych etapów typ manifestowanych stymulacji; por. głoska i nie-głoska, słowo i nie-słowo, zdanie i nie-zdanie, tekst i nie-tekst, dzięki czemu udaje się określić wiele interesujących korelacji między lingwalnymi funkcjami i neuronalnymi strukturami; zob. następne podrozdziały oraz, szczególnie, aneks i bibliografia, wiążące pracę.

Przetwarzanie języka/mowy w umyśle/mózgu

Przetwarzanie języka/mowy w umyśle/mózgu przebiega w dwóch trybach, syntetycznym i analitycznym, por. procesy zaangażowane w czynność mówienia i słuchania, które zachodzą na kilku poziomach i w kilku etapach (z czym zresztą ściśle wiążą się odpowiednie jednostki i procesy), por. przetwarzanie, np. fonologiczne, leksykologiczne, gramatyczne, pragmatyczne. W kolejnych podrozdziałach, rozważając poszczególne funkcjonalno-strukturalne korelacje, przestrzegam tego zarysowanego na wstępie porządku.

Przetwarzanie języka/mowy w trybie analitycznym (procesy słuchania)

Przetwarzanie fonologiczne

Przetwarzanie mowy przebiega w kilku zorganizowanych hierarchicznie podsięciach, m.in. w sieci akustycznej, dystynktywnej i prozodycznej. W kolejnym akapicie przybliżam specyfikę funkcjonalną neuronalnych struktur zorientowanych na wstępną obróbkę dźwięków ludzkiej mowy.

Sieć akustyczna, umiejscowiona bilateralnie w korze pierwszorzędowej (PAC: BA 41/42): w zakrętach Heschla (HG), w zakręcie skroniowym górnym, w jego części środkowej i górnej (mdSTG), odpowiada za analizę spektrotęmoralną prostych cech dźwiękowych, tj. tonów (PT) i szumów (PP). Sieć dystynktywna – zajmująca w hierarchii obwodów specjalizujących się w analizie mowy pozycję wyższą – obejmuje dwie sieci, niższą (skroniową) i wyższą (czołową), obie zorganizowane bilateralnie (z lekką przewagą półkuli dominującej). Podsieć skroniowa, zlokalizowana w korze drugorzędowej (BA: 42/22): w bruzdzie skroniowej górnej, w jej części środkowej tylnej (mpSTS), jest angażowana przede wszystkim w analizę fonologiczną złożonych cech dźwiękowych: reaguje zarówno na słowa, jak i na nie-słowa; co jednak najważniejsze, aktywuje się w toku przetwarzania dźwięków bliskich fonologicznie, por. „kura” – „tura”, ale nie: „kura” – „aura”. Podsieć czołowa, mieszcząca się w zakręcie czołowym dolnym, a szczególnie w jego części tylnej (pIFG: BA 44), obejmuje pamięć operacyjną, która podtrzymuje informacje fonologiczne w procesach wyższego rzędu, m.in. w trakcie syntezy mowy. W tym miejscu nie wspomnieć o kluczowej dla operacji przetwarzania mowy sprawie, tj. o kooperacji dwu ścieżek korykalnych, segmentalnej (w półkuli lewej) oraz suprasegmentalnej (w półkuli prawej). O ile półkula lewa pracuje w tempie szybszym niż półkula prawa, co pozwala jej na analizę cech segmentalnych dystynktywnych (por. cechy: spółgłoskowe, sylabiczne, sonorne), o tyle półkula prawa działa w tempie wolniejszym od półkuli lewej, co umożliwia jej analizę cech prozodycznych delimitacyjnych (por. cechy: głośnie, wysokie, długie). Sieć prozodyczna, wszak o niej właśnie mowa, zajmuje półkulę prawą, ściślej: fragment kory perysylwiańskiej, zarówno przedniej (pIFG), jak i tylnej (pSTG). Okolica zaangażowana w przetwarzanie cech supralinearnych mowy wspomaga procesy integracji informacji syntaktyczno-semantycznych i prozodycznych.

Przetwarzanie głosek (dźwięków mowy ludzkiej), chociaż przebiega w zgodzie z zasadami uniwersalnymi, opiera się na percepcji opozycji fonologicznych, których status semantyczny jest relatywny i wtórny w stosunku do parametrów określonego języka etnicznego. Co istotne, matryca cech dystynktywnych aktywuje się w procesach zarówno sensorycznej percepcji, jak i motorycznej produkcji dźwięków mowy. Budowa reprezentacji fonologicznej, jak również – co za tym idzie – leksykalnej, dokonuje się na podstawie procesów audytywnych i artykulacyjnych, w trybie tzw. analizy przez syntezę.

Sieci akustyczne, dystynktywne i prozodyczne, istnieją realnie. Ich obecność i aktywność w ludzkim mózgowiu stwierdzono na podstawie wielu eksperymentów. Procedury badawcze, które umożliwiają naukowcom wgląd w procesy przetwarzania mowy, polegają na tym, że badający przedstawia badanemu głoski i nie-głoski, a także słowa i nie-słowa. W pierwszej sytuacji aktywacji ulega sieć (dSTG) wspomagająca procesy analizy akustycznej (dźwięków dowolnych), natomiast w drugiej sytuacji reakcję generuje sieć (mSTS) angażująca się w procesy analizy fonologicznej (dźwięków mownych). Postępowanie badawcze, które pozwala uczonym śledzić operacje towarzyszące przetwarzaniu mowy, może też sprowadzać się do tego, że badający prezentuje badanemu, w roli bodźca, mowę z intonacją naturalną i mowę z intonacją sztuczną, przy czym w każdym przypadku leksyka pozostaje zachowana albo usunięta dzięki aplikacji filtra. Co ciekawe, w obydwóch sytuacjach aktywacji ulegają neurony w korze perysylwiańskiej – z tą jednak istotną różnicą, że informacje syntaktyczno-leksykalne przetwarza lewa, natomiast informacje syntaktyczno-prozodyczne – prawa półkula. W toku dalszych analiz sukcesywnie napływającego materiału językowego mózg uruchamia procesy strukturyzacji syntaktycznej i interpretacji semantycznej (w porządku: wpierw analiza formy, potem analiza treści), którym – od początku do końca – towarzyszy nieprzerwanie komplementarny względem informacji syntaktyczno-semantycznych aspekt prozodyczny.

Przetwarzanie mowy akustyczne oraz optyczne kojarzy się z najwcześniejszymi etapami i najniższymi poziomami analizy (mowy lub pisma), w ramach której można wyodrębnić trzy zachodzące na siebie fazy: preleksykalną, leksykalną i postleksykalną. W kolejnych wersach nieco miejsca poświęcam procesom wspierającym wstępną obróbkę (rekognicję) mowy i pisma. Otóż identyfikacja głosek i liter przebiega w zbliżony sposób, mimo że angażuje na wejściu, oczywiście, analizatory obsługujące dwie różne modalności. Analiza mowy i pisma dokonuje się w trzech etapach, zob. percepcja, komparacja i translacja, w sieciach neuronalnych, które znajdują się w korze mózgowej projekcyjnej, asocjacyjnej i integracyjnej. Kora projekcyjna – słuchowa (A1) i wzrokowa (V1) – konstruuje dyskretne reprezentacje analogowych bodźców czy, ściślej, percypowanych słuchowych i wzrokowych fal. Kora asocjacyjna – słuchowa (A2) i wzrokowa (V2) – zestawia i porównuje reprezentacje: z jednej strony napływające, czyli percepcyjne, a z drugiej strony przechowywane, czyli pamięciowe (tj. dyskretne wzorce: fonemy i grafemy, a więc mentalne formy dla dźwiękowych i wzrokowych substancji), co umożliwia mózgowi podjęcie decyzji w zakresie detekcji, tj. identyfikacji i klasyfikacji. Kora integracyjna – osadzona w polimodalnej i amodalnej okolicy TPO (A2-V2-S2) – przeprowadza translację: przekłada ostatecznie kod ortograficzny na fonologiczny. Co ciekawe, coraz to wyższe piętra analizy – w zakresie mowy i pisma – angażują w coraz większym stopniu dominującą półkulę lewą (rekognicja pisma przebiega wręcz na wszystkich etapach wyłącznie w półkuli lewej).

Przetwarzanie leksykalne

Słownik umysłowy (leksykon mentalny) obejmuje zarówno repertuar pasywnych jednostek (wejść) leksykalnych, jak i arsenał aktywnych procesów (wyjść) leksykalnych. Gromadzi i przechowuje, a także udostępnia i sugeruje jednostki leksykalne przetwarzane w ludzkim umyśle/mózgu. Co więcej, leksykon mentalny odznacza się przy tym kilkoma specyficznymi cechami, np. wieloraką organizacją, zmienną objętością i efektywnym dostępem. Atrybuty te podlegają pewnym prawidłowościom, np. powtarzane słowa dominują nad innymi, podobne słowa rywalizują z sobą, zaś pokrewne słowa wywołują się wzajemnie. W kolejnych akapitach omawiam formalną i treściową zawartość słownika umysłowego pod kątem reprezentacji i organizacji form i treści jego jednostek.

Jednostki leksykalne to, najogólniej sprawę ujmując, minimalne związki form i treści, przy czym forma jednostki – w skali: od cząstki i słowa, aż po zwrot i przysłowie – posiada swój korelat neuronalny w płacie skroniowym dla mowy i/lub potylicznym dla pisma, z kolei treść jednostki mogą kodować komórki nerwowe znajdujące się w różnych okolicach czterech płatów lewej i prawej kory mózgowej – ściśle odpowiednio do cech desygnowanych bytów. Relacje pomiędzy – wziętymi osobno – formami i treściami słów, ściślej: jednostek słownika umysłowego, stanowią odrębne, choć w jakiś sposób, z konieczności, powiązane zagadnienia. Formy słów odznaczają się przy tym większym lub mniejszym podobieństwem: im bardziej są do siebie podobne, tym więcej czasu pochłania ich identyfikacja, z czego można wnosić, że w mózgu aktywacje – podobnych do siebie – form różnych słów rywalizują o dostęp do świadomej fazy interpretacji. Treści słów są z kolei zorganizowane na innej zasadzie: otóż im większe pokrewieństwo między treściami słów, tym szybciej następuje ich identyfikacja; dzieje się tak zapewne dlatego, że aktywacja jednej treści pociąga za sobą aktywację drugiej. Zagadnienia te znajdują swoje rozwinięcie w następujących ustępach.

Procesy leksykalne, które pozwalają mówiącym i słuchającym na operatywną gospodarkę zasobami werbalnymi (konkretniej: umożliwiają przetwarzanie, tj. wyszukiwanie i pobieranie, pozycji słownikowych, w szczególności zaś – dostęp do form i/lub treści różnych jednostek), obejmują wejście leksykalne oraz semantyczne. Dostęp leksykalny monitoruje procesy, które torują mówiącemu przejście od komunikowanej treści do reprezentującej je formy, czyli powiązanie części znaczonej znaku z jego częścią znaczącą. Dostęp semantyczny kontroluje z kolei zespół procedur, które ułatwiają słuchającemu pokonanie drogi od percypowanej formy do intencjonalnej treści. Można skonstatować, że wejście leksykalne i semantyczne pozostają względem siebie w relacji konwersji – jedno stanowi odwrotność drugiego. Co interesujące, o ile procesy dostępu leksykalnego korzystają z zasobów pamięci operacyjnej, czyli magazynu informacji bieżących, która pozwala na integrację włączanych do kontekstu jednostek, o tyle dostęp semantyczny kieruje się procedurami klasyfikacyjnymi, zarówno słownikowymi, jak i encyklopedycznymi. Problem

dostępu leksykalno-semantycznego znajdzie swoje rozwinięcie w kolejnych paragrafach, przy okazji dyskusji nad relacjami form i treści jednostek (słów).

Słownik umysłowy jest bytem realnym, którego istnienie potwierdza wiele eksperymentów. Procedury badawcze, pozwalające uczonym na dotarcie do zawartości leksykonu mentalnego, sprowadzają się do sytuacji, w których badający prezentuje badanemu bodźce, z jednej strony negatywne, tj. opozycje: słowo i nie-słowo, zdanie i nie-zdanie, a z drugiej strony pozytywne, mianowicie słowa sensowne, np. nazwy zwierząt, prosząc zarazem badanego, aby nacisnął przycisk, kiedy zidentyfikuje przedstawiane mu bodźce. Mózg badanego reaguje odpowiednio do rodzaju przetwarzanego bodźca: percepcja słów i nie-słów (próg dolny słownika: etap preleksykalny, tzw. reprezentacja fonologiczna) wywołuje aktywację w części środkowej bruzdy skroniowej górnej (mSTS), natomiast analiza zdań i nie-zdań (próg górny słownika: etap postleksykalny, tzw. reprezentacja gramatyczna) uruchamia komórki nerwowe w części przedniej zakrętu skroniowego górnego (aSTG). Przetwarzanie słów (i tylko słów) pociąga za sobą silną reakcję struktur wchodzących w skład podsieci tylnoskroniowych (magazyn jednostek) oraz przednioczołowych (dostęp do jednostek), które operują (dostęp leksykalno-semantyczny) na reprezentacjach leksykalnych (na formach słów w izolacji i w kontekście).

Słownik umysłowy obsługuje rozległa sieć neuronalna, w ramach której koopeują dwie bardziej wyspecjalizowane podsieci, statyczna (skroniowa) oraz dynamiczna (czołowa). Podsieć skroniowa pełni funkcję magazynu – przechowuje ślady pamięciowe (engramy) form słów (wziętych w izolacji), ściślej: reprezentacje słuchowe form jednostek. Podsieć skroniową lokalizuje się w części tylnej płata skroniowego (bardziej lewego niż prawego) – w zakrętach: środkowym (MTG) i dolnym (ITG) oraz wrzecionowatym (FG) i przyhipokampowym (PHG); a także w części dolnej płata ciemieniowego – w zakrętach: kątowym (AG) i nadbrzeżnym (SG). Podsieć czołowa odgrywa natomiast kluczową rolę w procesach dostępu leksykalnego i semantycznego, jako że pozwala czerpać z bogatego spektrum form i treści słów (w kontekście). Podsieć czołowa znajduje się w części przedniej płata czołowego (tylko lewego) – w zakręcie czołowym dolnym (aIFG: BA 45/47), wspomaganym czasem przez górny (SFG) i środkowy (MFG), przy czym część dolna płata czołowego partycypuje głównie w procesach integracyjnych, zaś część górna i środkowa – w procesach kategoryzacyjnych.

Słownik umysłowy posiada własną mózgową reprezentację i organizację. Przeprowadzono pokaźną liczbę eksperymentów, dzięki którym uzyskano pewien wgląd w strukturę leksykonu mentalnego pod kątem dostępu zarówno leksykalnego, jak i semantycznego. Badania, których głównym celem jest odsłonięcie zawartości formalnej słownika, sprowadzają się do tego, że badający indaguje badanego o formę słowa, np. prosi go, by do definiensa (w formie opisu lub obrazka) dobrał właściwe definiendum. Badania, które zmierzają do ustalenia zawartości treściowej słownika, polegają z kolei na tym, że badający wypytuje badanego o treść słowa, np. prosi go, aby do definiendum – w formie słowa lub obrazka – dopasował odpowiedni

definiens. W ten sposób otrzymano wiele interesujących rezultatów dotyczących organizacji cerebralnej pod kątem reprezentacji i organizacji (form i treści) słów w słowniku umysłowym. W najogólniejszym zarysie można orzec (choć sprawę te wciąż budzą wiele wątpliwości), że specyfikacja słownika umysłowego opiera się na rozłącznej reprezentacji form i treści jego jednostek. Ślady pamięciowe form słów układają się na osi: przód – tył. Ogólnie rzecz biorąc, nazwy osobowe i jednostkowe, w opozycji do nazw niesobowych i ogólnych, mieszczą się w części przedniej, natomiast nazwy nieżywotne i ogólne, w kontraście do nazw żywotnych i jednostkowych, znajdują się w części tylnej płata skroniowego, np. nazwy ludzi, zwierząt i narzędzi są rozmieszczone w różnych partiach zakrętu skroniowego dolnego (ITG) i struktur do niego przylegających; por. przód (ludzie), środek (zwierzęta) i tył (narzędzia). Kortykalne reprezentacje treści jednostek leksykalnych rozkładają się za to nierównomiernie w różnych płatach lewej i prawej półkuli mózgu. Lokalizacja znaczeń słów pozostaje bowiem w trwałej zależności od pełnionej przez te słowa funkcji.

Formy i treści słów desygnujących ludzi, zwierzęta i narzędzia posiadają swoje cerebralne reprezentacje. Kortykalna organizacja reprezentacji form/treści słów (jednostek leksykalnych) uwzględnia przyporządkowane im cechy: osobowe *vs* niesobowe i żywotne *vs* nieżywotne.

Po pierwsze, formy słów zajmują swoje miejsca w rozmaitych częściach zakrętu skroniowego dolnego i w strukturach do niego blisko przylegających; por. nazwy ludzi (aITG/TP), zwierząt (mITG/FG) i narzędzi (pITG/SG). Przyjmuje się, na podstawie przeprowadzonych badań, że słownik umysłowy, interpretowany jako zbiór form słów, wchodzi w skład odrębnej podsieci, tzw. językowego regionu skroniowego podstawnego (BTLA: BA 20, 21, 37, 38), w granicach której mózg kumuluje i archiwizuje formy słów, zwłaszcza w zakrętach: skroniowym dolnym, potyliczno-ciemieniowym i przyhipokampowym. Dowody na rzecz realności słownika, jakie się przywołuje, płyną nie tylko z eksperymentów, w których są wykorzystywane techniki neuroobrazujące, ale również z badań opierających się na obserwacjach klinicznych; por. podwójna dysocjacja zaburzeń leksykalno-semantycznych: amnii i amnezji, czyli dysfunkcji dotykających pamięć w zakresie osobno formy i treści słów. Kolejny wątek stanowi więc przejście od form do treści. Po drugie, treści słów są umiejscowione w rozmaitych okolicach różnych płatów, m.in. sensy nazw: ludzi – w płacie skroniowym, w części dolnej, w zakręcie wrzecionowatym; zwierząt – w płacie potylicznym, w części przyśrodkowej, w bruzdzie ostrogowej; i narzędzi – w płacie czołowym, w części przedruchowej, w okolicy przedśrodkowej. Co ciekawe, znaczenia słów będących nazwami ludzi (w kontraście do nazw zwierząt) aktywują brzuszną – bardziej emocjonalną niż kognitywną – część kory przedczołowej (VM PFC), z kolei treści słów będących nazwami zwierząt (w opozycji do nazw narzędzi) aktywują przyśrodkową – bardziej strukturalną niż funkcjonalną – część płatów potylicznych.

Naturalnie, uzyskano również wiele innych ciekawych wyników. Szczególnie interesujące rezultaty dotyczące struktury konceptualnej słownika umysłowego

otrzymano w ramach eksperymentu, podczas którego badający prezentował badanemu słowa reprezentujące kategorie, np. „budynek”, „ciało”, „mebel”, „naczynie”, „narzędzie”, „odzież”, „owad”, „pojazd”, „warzywo”, „zwierzę”. Na tej podstawie udało się ustalić korelację – specjalizację – trzech aktywacji neuronalnych oraz trzech domen konceptualnych: ‘schronienie’, ‘manipulowanie’, ‘jedzenie’. Te trzy wielkości pojęciowe można ogólniej scharakteryzować, podając dla każdej: ilustrujący jej zakres przykład, stanowiący jej podstawę schemat, reprezentującą jej położenie aktywację. Domena ‘schronienie’ – silnie zaangażowana w przetwarzanie słów: „dom”, „kościół”, „samochód” – wpisuje się w schemat: [miejsce/pojemnik], którego reprezentacja znajduje się w zakręcie wrzecionowatym i przyhipokampowym, a także w strukturach przedklinka. Domena ‘manipulowanie’ – wydatnie wspomagająca recepcję słów: „łyżka”, „młotek”, „nóż” – wykorzystuje szablon: [narzędzie/ręka], umiejscowiony w zakręcie przed- i zaśrodkowym, jak również nadbrzeżnym. Domena ‘jedzenie’ – intensywnie stymulowana przez słowa w rodzaju „krowa”, „marchewka”, „pszczola” – opiera się na wzorcu: [czynność/pokarm], zlokalizowanym w zakrętach czołowych: środkowym i dolnym. Tym, co łączy te trzy domeny, jest ich główna lokalizacja, tj. zakręt skroniowy dolny (ITG). Jakie konkluzje wynikają z przeprowadzonych obserwacji? W pierwszym rzędzie okazuje się, że treści słów poddają się dekompozycji konceptualnej, co oznacza, że stanowią kombinacje aktywacyjne konceptów, którymi terazniejszy mózg operuje dzięki ich przeszłej ewolucyjnej adaptacyjnej funkcji (‘schronienie’, ‘manipulowanie’, ‘jedzenie’). Ponadto, hipoteza, której zarys przedstawiłem, pozwala przewidywać dla konceptu złożonego aktywację jego subkomponentów, czyli konceptów prostych, np. koncept złożony „seler”, poza reprezentacją strukturalną, obejmie aktywacje funkcjonalne – ‘jedzenie’ i ‘manipulowanie’.

Organizacja cerebralnej reprezentacji form/trześci jednostek słownika umysłowego zasada się na kilku kryteriach, które – zhierarchizowane – tworzą spiętrzony klasyfikacyjny podział; por. cechy: leksykalne – gramatyczne, konkretne – abstrakcyjne, percepcyjne – motoryczne. Dopiero na tym tle można podjąć próbę naszkicowania logiki, jaka rządzi dystrybucją słów w mózgowym leksykonie pod kątem reprezentujących je form i asocjowanych z nimi treści. W pierwszej kolejności można wyodrębnić jednostki funkcyjne i treściowe. Jednostki funkcyjne, obdarzone jedynie formą fonologiczną, mózg koduje w półkuli lewej, ściślej: w bezpośrednim sąsiedztwie kory perysłylwiańskiej. Jednostki treściowe z kolei – wiążące formy fonologiczne oraz treści semantyczne – posiadają swoje reprezentacje w wielu różnych obszarach (częściej w półkuli lewej niż prawej), z wyłączeniem pasa kory mózgowej otaczającej bruzdę boczną. W gruncie rzeczy jednostki treściowe (semantyczne) to słowa, których desygnaty mają naturę percepcyjnych wizji i motorycznych akcji. Co bardzo istotne, jednostki o treści abstrakcyjnej są utrwalone w korze perysłylwiańskiej – częściej w półkuli prawej niż lewej; z kolei jednostki o treści konkretnej są zakodowane w rejonach odległych od kory perysłylwiańskiej – częściej w półkuli lewej niż prawej. Obserwacje te pozostają w nierozzerwalnym

związku z faktem, że słowa treściowe korelują z reprezentacjami cech percepcyjnych (wizji) i motorycznych (akcji) swoich desygnatów; o ile bowiem słowa-wizje, np. treści nazw zwierząt, mają swoje korelaty neuronalne na granicy płata skroniowego i potylicznego – zgodnie z rozkładem homunkulusa czuciowego – o tyle słowa-akcje, np. treści nazw narzędzi, sytuują się w sieciach nerwowych na styku płata czołowego (ruchowe) i ciemieniowego (czuciowe), w zależności od tego, czy ich znaczenia wiążą się z ruchem (ręką, ustami) czy z czuciem (nogą, ustami) – w zgodzie, tym razem, z rozkładem homunkulusa ruchowego. Przypomnę na koniec, że przeprowadzone ostatnio badania sugerują, że słowa treściowe gromadzą się wokół tych partii kory mózgowej, które odpowiadają za reprezentację trzech adaptacyjnie ważkich wymiarów: ‘manipulowanie’, ‘schronienie’, ‘jedzenie’.

Przetwarzanie gramatyczne

Przetwarzanie jednostek/procesów fonologicznych (dystynktywnych) i leksykologicznych (konceptualnych) nie ogranicza się wyłącznie do ich identyfikacji i klasyfikacji. Jednostki na kolejnych poziomach wykazują silną tendencję do integracji w konstrukcje wyższego rzędu. Procesy unifikacyjne dokonują się równolegle na wielu etapach przetwarzania (zob. poziomy: fonologiczny, gramatyczny i semantyczny). Permanentna integracja napływających jednostek oraz przyrastającego kontekstu siłą rzeczy absorbuje zasoby pamięciowe, w zakresie pamięci zarówno deklaratywnej, jak i operacyjnej; por. słowa reprezentowane w słowniku i sprzęgane w kontekście. Potrzeba stałej kontroli kompatybilności informacji pochodzących z rozmaitych płaszczyzn włącza kolejno podsieci skroniowe (jednostki) i czołowe (procesy), odpowiednio: fonologiczne (BA: 44/6), gramatyczne (BA: 44/45) i semantyczne (BA: 45/47), co umożliwia budowę konturów intonacyjnych, fraz syntaktycznych i struktur propozycjonalnych, a także, na ostatnim, pragmatycznym etapie przetwarzania – integrację wiedzy o języku i świecie.

Przetwarzanie gramatyczne dokonuje się w trzech etapach: derywacyjnym, ewaluacyjnym i integracyjnym. Innymi słowy, mózg przeprowadza rozbiór – gramatyczny i logiczny – zdań w trzech fazach: po pierwsze, derywuje jednostki syntaktyczne, po drugie, ewaluuje stosunki syntaktyczne, oraz, po trzecie, integruje derywowane jednostki i ewaluowane stosunki, stając, kolejno, przed trzema różnymi, acz stopniowo opierającymi się na sobie problemami (mam na myśli organizację struktury frazowej, pamięci syntaktycznej i interpretacji propozycjonalnej).

Derywacja jednostek syntaktycznych odbywa się w dwóch etapach: najpierw mózg ludzki identyfikuje klasę gramatyczną (nominalną lub werbalną) słowa, które pełni funkcję podstawy frazy, a następnie – na podstawie zebranych informacji – konstruuje lokalną frazę. Struktury, które angażują się w analizę syntaktyczną, na jej wczesnym etapie reagują silniej na związki gramatyczne między słowami aniżeli na prezentację niepowiązanych z sobą słów w postaci list (aSTG: BA 22/38), a także – bez czego nie sposób wyobrazić sobie procesu derywacji – aktywują się podczas

lektury składników kolidujących ze strukturą aktualnie budowanej frazy (FOP: BA 44v). Ewaluacja stosunków syntaktycznych, pomiędzy konstruowanymi wstępnie jednostkami składniowymi, dokonuje się szczególnie w sytuacjach, gdy przetwarzane zdania zostają zidentyfikowane jako długie i/lub złożone, a w każdym razie – jako takie, które wymagają uruchomienia (dodatkowych) zasobów pamięci syntaktycznej, wspomagającej proces analizy sekwencyjnej i strukturalnej (pIFG: BA 44), dzięki czemu staje się możliwe przechowywanie w pamięci bieżącej elementów tworzących strukturę składniową zdania. Integracja jednostek i stosunków syntaktycznych silnie wiąże się z procesami reanalizy i ewentualnej naprawy zdań pod kątem ich ostatecznej interpretacji. Synteza syntaktycznych i semantycznych właściwości zdań dokonuje się w części tylnej zakrętu skroniowego górnego (pSTG: BA 22).

Przetwarzanie semantyczne odbywa się w dwóch podsięciach, skroniowej i czołowej. Sieć skroniowa aktywuje się w sytuacji, gdy mózg przetwarza słowa i zdania, zarówno sensowne, jak i nonsensowne, przy czym – co znamienne – o ile słowa obdarzone znaczeniem mieszczą się w słowniku umysłowym, o tyle dostęp do nich – szczególnie w toku analizy semantycznej zdań – zapewniają struktury monitorujące procesy wyszukiwania, umiejscowione w zakręcie skroniowym górnym (aSTG: BA 38, BA 22). Sieć czołowa, (re)aktywna głównie w procesach pamięciowych oraz integracyjnych, reaguje intensywnie w trakcie oceniania zdań pod kątem zachodzących między nimi relacji, np. synonimii, co wymaga uruchomienia i zaangażowania dodatkowych zasobów pamięci operacyjnej (w celu podtrzymywania w pamięci zestawianych zdań). Integracja i interpretacja składników zdań pod względem cech znaczeniowych angażuje, o czym już wspominałem, obszar sytuowany w części przedniej zakrętu czołowego dolnego (aIFG: BA 45/47).

Przetwarzanie pragmatyczne

Przetwarzanie pragmatyczne dokonuje się w żywole mowy związanej, w domnach tekstu i dyskursu, w formach monologu i dialogu, w sytuacjach nadawczo-odbiorczych narracji lub interakcji. Jakkolwiek mówienie i/lub słuchanie nie nastęrcza użytkownikom mowy trudności, badania w zakresie komunikacji naturalnej przysparzają uczonym nie lada kłopotów. Głównej przyczyny tego stanu rzeczy można dopatrywać się w strukturze tekstu/dyskursu, która wykracza daleko poza sumę wchodzących w jego skład zdań; por. zjawiska koherencji lub inferencji. Co istotne, przetwarzanie pragmatyczne angażuje przede wszystkim struktury umiejscowione w prawej półkuli. Eksperymenty wykazują, że w sytuacji, gdy badający prezentuje badanemu narrację (dłuższą historię) – odtwarzając ją w przód lub wstak, w języku rodzimym lub obcym – co wymaga od odbiorcy m.in. przejścia od integracji do interpretacji, aktywują się obszary zlokalizowane w rejonie przedniej części górnej bruzdy skroniowej (aSTS: aSTG/aMTG), np. im przetwarzana wypowiedź wydaje się odbiorcy bardziej pośrednia, przenośna i domyslna, tym silniej reaguje prawy biegun skroniowy (TP: BA 38).

Przetwarzanie języka/mowy w trybie syntetycznym (procesy mówienia)

Procesy syntezy i analizy są kontrolowane przez częściowo różne mechanizmy mózgowe. Studia prowadzone nad operacją mówienia (syntezą języka), czy ogólniej mówiąc, badania w zakresie procesów związanych z nadawaniem mowy, sytuują się wciąż na stosunkowo słabo zaawansowanym etapie. Metody eksperymentalne łatwiej pozwalają wnikać w anatomię mowy z perspektywy odbiorczej ze względu na możliwość manipulacji warunkami kontrolowanych obserwacji. Badania prowadzone pod kątem produkcji wypowiedzeniowej dotyczą zachowań mownych – spontanicznych i sprowokowanych, tj. wypowiedzi od siebie, np. monologów, i odpowiedzi na pytanie, np. dialogów. Eksperymenty, jakie podejmuje się w celu eksplikacji procesów i operacji nadawczych, mają charakter – mniej lub bardziej – zarówno sztuczny, jak i naturalny.

Eksperymenty sztuczne sprowadzają się do pomiaru umiejętności fluencji i generacji: badający prosi badanego, aby ten albo podał słowo na podstawie pewnej porcji formy i/lub treści, por. dobór leksykalny i semantyczny, albo dokończył słowo na podstawie jakiejś części jego formy. I w jednym, i w drugim przypadku badany poszukuje – posiłkując się udzielanymi mu wskazówkami – jednostek w słowniku, co upodabnia kontekst eksperymentalny do sytuacji przypominającej nieco codzienną komunikację. Okazuje się przy tym, że obydwie umiejętności (fluencja i generacja) aktywują – oprócz podsięci skroniowych i czołowych, które obsługują leksykon mentalny – sieć artykulacyjną, wspomagającą procesy fonacyjne, związane z kodowaniem i kontrolowaniem mowy. Sieć artykulacyjna mieści się w kognitywnych i motorycznych strukturach płata czołowego (SMA & pIFG; FOP & aINS). Jej najbardziej typowe dysfunkcje przejawiają znamiona apraksji i mutyzmu.

Eksperymenty naturalne polegają na tym, że badający prosi badanego o wykonanie dwóch kontrastowanych operacji, pierwszej – narracyjnej oraz drugiej – recytacyjnej: badany np. opowiada swoje wczesne dzieciństwo lub ostatnie przeżyte wakacje, a następnie liczy do przodu lub odtwarza rymowanąkę. Wzrost reaktywności mózgu swoisty dla naturalnej narracyjnej czynności mownej obejmuje przede wszystkim aktywację przednich partii płata czołowego (dSFG: SMA) i skroniowego (aSTG: TG), nie licząc regionów zaangażowanych w przetwarzanie jednostek leksykalnych. Naturalnie, nie można w tym miejscu nie wspomnieć o tym, że procesy syntaktyczne, zaangażowane w produkcję wypowiedzi obejmującej poprawne gramatycznie zdania, kontrolują elementy sieci czołowej, połączone pęczkiem haczykowatym (aSTG & pIFG & dSFG). Co więcej, procesy komunikacyjne uruchamiane w trakcie dyskursu monitorują cybernetycznie aktywne struktury kory przedczołowej (DL PFC: BA 9/46 & aCG: BA 24/32).

Podsumowanie

Przegląd wyników obserwacji i eksperymentów w dziedzinie neurolingwistyki pozwala na sformułowanie kilku najogólniejszych twierdzeń na temat mózgowej organizacji reprezentacji narzędzi języka i czynności mowy, co może stanowić poważny argument w przyszłej dyskusji nad cerebralnym substratem zdolności językowo-mownych człowieka. Lektura prawie dwustu publikacji z dziedziny neurolingwistyki utwierdza mnie w przekonaniu, że należy postulować istnienie przynajmniej kilku obwodów neuronalnych (korelacji strukturalno-funkcjonalnych), specjalizujących się w przetwarzaniu określonych partii procesów językowych, zob. obwód pragmatyczny i semantyczny oraz gramatyczny i fonologiczny, w funkcji (mniej lub bardziej) wyspecjalizowanych w realizacji stosownych zadań analizatorów, zob. analizator gnostyczny (percepcja dystynktywna) i propozycjonalny (integracja syntaktyczna), jak również ogólnych, niespecyficznych zadaniowo procesorów, zob. procesor konceptualny (dostęp leksykalny) i dyskursywny (interpretacja pragmatyczna). Obfitość (mniej lub bardziej, bezpośrednio lub pośrednio) związanych z językiem/mową funkcji/struktur można sortować na parę sposobów, wpisując je na podstawie kryterium tematyczno-dziedzinowego w granice czterech dyscyplin: fonologii i gramatyki, semantyki/leksykologii i pragmatyki.

Aneks

1. Funkcje i struktury związane z językiem bezpośrednio

Przetwarzanie fonologiczne

Mówienie i słuchanie

Integracja prozodyczna (RH: BA 21)

Język mówiony (LH/RH: BA 43)

Neurony lustrzane w percepcji mowy (BA 1, 2, 3)

Obrazowanie słuchowe (BA 8 SMA)

Pamięć robocza (słuchowa, werbalna) (BA 5, 7)

Pamięć robocza (związana ze słuchem) (BA 40)

Pamięć robocza słuchowa (BA 41, 42)

Percypowanie i wyrażanie informacji prozodycznych i emocjonalnych (BA 44)

Percypowanie informacji prozodycznych (intonacji) w mowie (RH: BA 44)

Percypowanie mowy (BA 6)

Percypowanie mowy wizualnej (neurony lustrzane?) (BA 41, 42)

Percypowanie tonów harmoniczych (RH > LH: BA 41, 42)

Podtrzymywanie produkcji wolicjonalnej mowy (BA 6)

Powtarzanie efektu torowania (BA 41, 42)
Powtarzanie mnemoniczne (BA 6)
Powtarzanie słów (BA 22)
Programowanie ruchów mowy (BA 44)
Programowanie ruchów mowy (LH: BA 6, 8)
Prozodia afektywna (RH: BA 47)
Prymowanie słuchowe (BA 41, 42)
Przetwarzanie dźwięków intensywnych (BA 41, 42)
Przetwarzanie dźwięków niewerbalnych (RH: BA 22)
Przetwarzanie fonologiczne (LH: BA 6, 13, 14, 15, 16; BA 45, 46 LH, 47)
Przetwarzanie fonologiczne lub syntaktyczne (BA 44)
Przetwarzanie fonologicznych właściwości (form) słów (BA 19)
Przetwarzanie języka (BA 5, 7, 6 SMA, 8 SMA)
Przetwarzanie kompleksów dźwięków i dźwięków złożonych (LH/RH: BA 21, 22)
Przetwarzanie podstawowe bodźców słuchowych (mowa i nie-mowa) (BA 41, 42)
Przetwarzanie sekwencji dźwięków (LH: BA 6)
Przetwarzanie sekwencyjne dźwięków (BA 44)
Przetwarzanie selektywne tekstu i mowy (LH: BA 21)
Przetwarzanie słuchowe języka (LH: BA 22)
Przetwarzanie słuchowe kompleksowe (BA 38)
Przetwarzanie słuchowe nieprzestrzenne (BA 47)
Przetwarzanie wzorców akustycznych dyskretnych (BA 42)
Reagowanie na bodźce słuchowe awersyjne (BA 38)
Reagowanie na dźwięki stymulujące (BA 38)
Reagowanie na niezrozumiałą mowę (BA 44)
Rozpoznawanie znajomych głosów (RH: BA 38)
Rozumienie mowy (LH: BA 38)
Rozumienie prozodii afektywnej (RH: BA 22, 44)
Ruch i czucie języka (kontralateralne) (BA 1, 2, 3)
Ruchy kontralateralne warg, języka, twarzy i ust (BA 4)
Ruchy połykania i krtaniowe (BA 4)
Segregowanie dźwięków (samogłosek) (BA 41, 42)
Sekwencjonowanie motoryczne i ekspresywne elementów (BA 44)
Uczenie się dźwięków podstawowych drugiego języka (LH: BA 22)
Umiejętność koordynowania ruchów twarzoczaszki (gwizdanie) (BA 1, 2, 3)
Uwaga (skierowana) na głosy ludzkie (BA 6, 9)
Uwaga (skierowana) na przetwarzanie mowy (BA 44)
Uwaga (skierowana) na relacje fonologiczne (BA 7, 40)
Uwaga selektywna (skierowana) na mowę (LH: BA 20, 22, 30, 38, 45, 47)
Uwaga selektywna (skierowana) na rytm (LH: BA 6)
Uwaga słuchowa (BA 24, 32, 33)
Wejście leksykalno-semantyczne do reprezentacji melodii (BA 22a, 47)
Wrażliwość na dźwięki wysokie (BA 41, 42)
Wykrywanie częstych dewiacji (BA 6, 22, 41, 42)
Wykrywanie dźwięków szybkich (LH/RH: BA 41, 42)
Wykrywanie rymu (BA 5, 7)
Wyrażanie informacji emocjonalnych (RH: BA 44)
Zadania mowy jawnej (LH: BA 13, 14, 15, 16)

Pisanie i czytanie

Czytanie (BA 39)

Czytanie nowych słów (głośno i cicho) (LH: BA 6)

Czytanie pojedynczych słów (BA 47)

Czytanie z ust (BA 6 SMA, 8 SMA)

Konwertowanie grafemu na fonem (BA 44)

Łącze ortograficzno-fonologiczne (LH: BA 37)

Pisanie pojedynczych liter (BA 40)

Prymowanie nadprogowe podczas czytania ciągów liter (LH: BA 13, 14, 15, 16)

Przetwarzanie pojedynczych liter (LH: BA 37)

Reagowanie na wizualną formę słów (LH: BA 18)

Reagowanie na wizualną prezentację liter i pseudoliter (LH: BA 6)

Przetwarzanie gramatyczne

Fleksja leksykalna (BA 44 LH, 45 LH, 47)

Generowanie czasownika (LH: BA 10)

Generowanie słów wewnątrznie specyficznych (BA 22 LH, 44, 45)

Generowanie zdań (BA 8, 9 LH)

Generowanie zdań (LH: BA 21, 22, 39)

Generowanie i wyodrębnianie akcji znaczeniowych (BA 44)

Kompletowanie tematu i rdzenia słowa (LH: BA 9, 10)

Konstruowanie wyższych pięter drzew syntaktycznych w produkcji mowy (BA 44)

Manipulowanie obiektem (BA 44 bilateralnie)

Mechanizm kontroli poznawczej dla przetwarzania syntaktycznego zdań (BA 44)

Mowa wewnętrzna (język generowany wewnątrznie) (BA 44)

Odbieranie i przetwarzanie języka (BA 22)

Odbieranie języka (BA 22)

Pamięć robocza syntaktyczna (BA 44)

Przetwarzanie fonologiczne lub syntaktyczne (BA 44)

Przetwarzanie gramatyczne (BA 44, 45)

Przetwarzanie syntaktyczne (BA 6?)

Przetwarzanie syntaktyczne (LH: BA 9, 10)

Reagowanie na niezrozumiałą mowę (BA 44)

Rozumienie dosłownych zdań (BA 7)

Rozumienie zdań (BA 44)

Selekcjonowanie informacji z konkurujących źródeł (BA 44)

Słuchanie bierne różnych zdań (LH: BA 30)

Werbalizowanie wewnętrzne (BA 44)

Wiązanie elementów języka (BA 44)

Przetwarzanie leksykalne

Aktualizowanie pamięci werbalnej (BA 6m)

Decyzje leksykalne na temat słów i pseudosłów (BA 6)

Generowanie słów (LH: BA 21, 37)

Kategoryzowanie semantyczne (LH: BA 9, 37)

Kodowanie pamięciowe, werbalno-semantyczne i słuchowe (BA 27, 28, 34, 35, 36, 48)

Kodowanie semantyczne (BA 47)

Kodowanie słów i twarzy (BA 17?, 18?, 19?, 30 RH, 44, 45)

Kodowanie werbalne w procesach niesemantycznych (RH: BA 4)
Kojarzenie słów z percepcjami wizualnymi (BA 37)
Kojarzenie twarz-imię (BA 11 LH, 18 LH, 19 RH, 37 LH)
Nazywanie obiektu (LH: BA 24, 32, 33)
Nazywanie obiektu (LH: BA 6)
Nazywanie przedmiotów poznanych we wczesnym okresie życia (LH: BA 38)
Ocenianie emocjonalnych słów (LH: BA 25)
Pamięć robocza (słuchowa, werbalna) (BA 5, 7)
Pamięć robocza i werbalno-semantyczna (BA 27, 28, 34, 35, 36, 48)
Pamięć robocza werbalna (BA 44)
Pamięć werbalna (epizodyczna, robocza, pobieranie/odświeżanie) (BA 13, 14, 15, 16)
Pamiętanie fałszu (BA 23, 26, 29, 30, 31)
Parafrazowanie semantyczne (BA 37)
Płynność i fluencja semantyczna i fonologiczna (BA 44)
Płynność i fluencja słowna (LH: BA 9, 45, 46)
Płynność i fluencja werbalna semantyczna i fonologiczna (LH: BA 24, 32, 33)
Pobieranie i odświeżanie pamięci semantycznej (BA 45)
Pobieranie i odświeżanie semantyczne aktywne (BA 47)
Pobieranie i odświeżanie słów (BA 6, 37 LH)
Pobieranie i odświeżanie słów dla przedmiotów specyficznych (LH: BA 38)
Porównywanie nazw (BA 18, 19)
Poziom wyższy funkcji werbalnych (BA 38)
Przetwarzanie leksykalno-semantyczne (BA 20 LH, 23, 26, 29, 30, 31, 38)
Przetwarzanie metafor (BA 45)
Przetwarzanie sekwencji akcji (LH: BA 39)
Przetwarzanie semantyczne (bardziej szczegółowe i kompletne) (BA 40)
Przetwarzanie semantyczne (LH/RH: BA 13, 14, 15, 16; LH: BA 21, 22, 46, 47)
Przetwarzanie semantyczne i fonologiczne (BA 45)
Przetwarzanie semantyczne informacji emocjonalnych (LH: BA 23, 26, 29, 30, 31)
Przetwarzanie wieloznaczności leksykalno-semantycznej (LH: BA 38)
Rozpoznawanie pamięciowe prawdy i fałszu (BA 37)
Rozpoznawanie twarzy (BA 37)
Rozpoznawanie i znajdowanie słów (LH: BA 37)
Rozumienie i produkowanie języka (LH: BA 20)
Rozumienie metafor (LH: BA 9, 10, 20, 37)
Rozumienie mowy (LH: BA 38)
Rozumienie słów (obrazowych) (BA 5, 7)
Rozumienie wieloznaczności semantycznej (RH: BA 20)
Skojarzenia leksykalno-semantyczne (BA 37)
Uwaga (skierowana) na relacje semantyczne (LH: BA 37)
Wejście leksykalno-semantyczne do reprezentacji melodii (BA 22a, 47)
Wyszukiwanie leksykalne (BA 45)
Zadania kategoryzacji semantycznej (BA 5, 7)

Przetwarzanie pragmatyczne

Akty woli (BA 46)
Inicjatywa werbalna (BA 46)
Inicjowanie i hamowanie werbalne (RH: BA 24, 32, 33)
Inicjowanie mowy (BA 6)

Język migowy (BA 19, 37, 45)
Kreatywność werbalna (BA 40)
Naśladowanie gestów (BA 40)
Natężenie humoru (BA 13, 14, 15, 16)
Percypowanie przestrzeni osobistej (BA 5, 7)
Podtrzymywanie produkcji wolicjonalnej mowy (BA 6)
Pragmatyka języka (BA 46)
Przełączanie języka (BA 6)
Przetwarzanie gestów jako używanych narzędzi (LH: BA 5, 7)
Przetwarzanie ironii (RH: BA 38)
Przetwarzanie języka (BA 5, 7, 6 SMA, 8 SMA)
Rozpoznawanie kontekstu czasowego (BA 6)
Rozumienie humoru (BA 38)
Rozumienie mowy (LH: BA 38)
Rozumienie narracji (LH: BA 38)
Spójność czasowa (język i muzyka) (BA 47)
Tłumaczenie języka (BA 8)
Uczenie się mowy gestów (LH: BA 13, 14, 15, 16)
Wykonywanie językowe zadań kreatywnych (LH: BA 39)
Wykonywanie zadań kreatywnych (LH: BA 40)

2. Funkcje i struktury związane z językiem pośrednio

Planowanie

Planowanie (RH: BA 8, 9)
Planowanie i rozwiązywanie nowych problemów (BA 6)

Kontrolowanie

Kontrolowanie wykonawcze zachowania (BA 6, 8, 9, 39, 40, 46)
Organizowanie i kontrolowanie pamięci (BA 46)
Pamięć robocza (BA 46)

Emocjonowanie

Analizowanie komponentów emocjonalnych zachowania (BA 11)
Doświadczenie stanów emocjonalnych (BA 38)
Emocje kontra autorefleksja w podejmowaniu decyzji (RH: BA 40)
Emocje przyjemne i nieprzyjemne (BA 9, 10)
Formułowanie osądów emocjonalnych (RH: BA 13, 14, 15, 16)
Integralność osobowości (BA 11)
Modulowanie reakcji emocjonalnej (BA 45)
Osądy moralne (BA 38)
Osądy oceniające (BA 23, 31)
Osądy strukturalne obiektów znanych (BA 37)
Osobowość (styl zachowania) (BA 11)
Pamięć epizodyczna i autobiograficzna (BA 27, 28, 34, 35, 36, 48)
Percypowanie przejawów obrzydzenia (BA 13, 14, 15, 16)
Pobieranie i odświeżanie przykrych doświadczeń (BA 40)
Przetwarzanie bodźców emocjonalnych (BA 9, 10)

Przetwarzanie emocji i autorefleksja podczas podejmowania decyzji (BA 7)
Przetwarzanie emocji i autorefleksja w podejmowaniu decyzji (LH: BA 6, 10, 46)
Styl emocjonalny idiosynkratyczny (BA 11)
Styl reagowania indywidualny (BA 11)
Wspominanie świadome wcześniej doświadczonych zdarzeń (BA 40)

Decydowanie

Podejmowanie decyzji (zawierających konflikt i nagrodę) (RH: BA 10, 47)
Podejmowanie decyzji świadomych (BA 27, 28, 34, 35, 36, 48)
Podejmowanie decyzji zawierających nagrodę (BA 11)
Podejmowanie ryzyka w przetwarzaniu decyzji (BA 13, 14, 15, 16)
Przetwarzanie emocji i autorefleksja podczas podejmowania decyzji (BA 7)
Przetwarzanie emocji i autorefleksja w podejmowaniu decyzji (LH: BA 6, 10, 46)

Zachowanie

Hamowanie behawioralne i motoryczne (RH: BA 47)
Hamowanie kognitywne i motoryczne (BA 24, 32, 33)
Hamowanie niekorzystnych emocji (BA 47)
Hamowanie reakcji (BA 45)
Hamowanie w obrębie kontekstu emocjonalnego (BA 13, 14, 15, 16)
Przetwarzanie wykonawcze (BA 13, 14, 15, 16)

Reagowanie

Przetwarzanie i wykrywanie błędów (BA 9)
Reagowanie na bodźce awersyjne (BA 38)
Reagowanie na sprzężenie informacji (przetwarzanie motywacji i nagrody) (BA 13, 14, 15, 16)
Reakcja na zmianę nagrody w podejmowaniu decyzji (BA 13, 14, 15, 16)
Wykrywanie bodźców dewiacyjnych (BA 27, 28, 34, 35, 36, 48)
Wykrywanie konfliktu między intencją a sprzężeniem sensorycznym (BA 9, 40, 46)
Zmiana strategii odpowiedzi (BA 13, 14, 15, 16, 46)

Współodczuwanie

Neurony lustrzane (BA 46)
Neurony lustrzane w ruchach ekspresywnych (BA 45)
Obserwacja akcji (neurony lustrzane) (BA 6)
Odróżnianie siebie i innych (BA 23, 26, 29, 30, 31, 38 LH)
Percepcja i empatia społeczna (BA 40)
Przypisywanie intencji innym (BA 20, 21, 22, 37)
Przypisywanie intencji innym (BA 9, 47)
Przypisywanie intencji i stanów mentalnych innym (BA 38)
Teoria umysłu (BA 39)
Utożsamianie siebie-innych w percepcji socjalnej (neurony lustrzane) (BA 24, 32, 33)

Muzykowanie

Generowanie fraz melodycznych (BA 6)
Generowanie fraz melodycznych (LH: BA 45)
Generowanie melodii (RH: BA 44)
Odtwarzanie melodii nielirycznych (BA 13, 14, 15, 16)
Przetwarzanie bodźców o strukturze ziarnistej (muzyka) (BA 47 LH)

Przetwarzanie wykonywanej muzyki (BA 40)

Reagowanie przyjemne na muzykę (BA 38)

Słuchanie muzyki (BA 44, 45, 46)

Rozumowanie

Procesy rozumowania (BA 45)

Rozumowanie indukcyjne (BA 8 LH, 24, 32, 33)

Rozumowanie moralne niejawne (BA 25)

Rozumowanie zapobiegawcze (BA 29, 31)

Używanie obrazów przestrzennych w rozumowaniach dedukcyjnych (BA 5, 7)

Wgląd w rozwiązywanie problemów (BA 27, 28, 34, 35, 36, 48)

Rozumowanie wnioskujące (BA 9, 19 LH, 38 LH)

Rozumowanie uzasadniające (BA 13, 14, 15, 16)

Rozumowanie dedukcyjne (BA 6 LH, 21 LH, 22, 24, 32, 33, 37 LH, 40, 47)

Liczenie

Kodowanie abstrakcyjne wielkości numerycznych (LH: BA 39)

Liczenie (obliczenia końcowe) (LH: BA 40)

Liczenie wewnętrzne mentalne (BA 46)

Rozwiązywanie zadań arytmetycznych (BA 44)

Uczenie się arytmetyki (LH: BA 39)

Liczenie i procesy numeryczne (BA 9, 10)

Liczenie (BA 6, 8, 13, 14, 15, 16, 39 LH)

Bibliografia

- ABRAHAMS S. et al.: *Functional magnetic resonance imaging of verbal fluency and confrontation naming using compressed image acquisition to permit overt responses*. "Human Brain Mapping" 2003, Vol. 20 (1), p. 2–40. [PMID: 12953304]
- ACKERMANN H., RIECKER A.: *The contribution of the insula to motor aspects of speech production: a review and a hypothesis*. "Brain and Language" 2004, Vol. 89 (2), p. 320–328. [PMID: 15068914]
- AHMAD Z. et al.: *Auditory comprehension of language in young children: neural networks identified with fMRI*. "Neurology" 2003, Vol. 60 (10), p. 1598–1605. [PMID: 12771248]
- ALAIN C. et al.: *Left thalamo-cortical network implicated in successful speech separation and identification*. "NeuroImage" 2005, Vol. 26 (2), p. 592–599. [PMID: 15907316]
- ALBOUY G. et al.: *Both the hippocampus and striatum are involved in consolidation of motor sequence memory*. "Neuron" 2008, Vol. 58 (2), p. 261–272. [PMID: 18439410]
- AMUNTS K. et al.: *Analysis of neural mechanisms underlying verbal fluency in cytoarchitectonically defined stereotaxic space – the roles of Brodmann areas 44 and 45*. "NeuroImage" 2004, Vol. 22 (1), p. 42–56. [PMID: 15109996]
- AZIM E. et al.: *Sex differences in brain activation elicited by humor*. "Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America" 2005, Vol. 102 (45), p. 16496–16501. [PMID: 16275931]

- BACIU M.V. et al.: *fMRI assessment of hemispheric language dominance using a simple inner speech paradigm*. "NMR Biomed" 1999, Vol. 12 (5), p. 293–298. [PMID: 10484818]
- BAILEY L. et al.: *Customised cytoarchitectonic probability maps using deformable registration: primary auditory cortex*. "Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention" 2007, Vol. 10 (2), p. 760–768. [PMID: 18044637]
- BANICH M.T. et al.: *Attentional selection and the processing of task-irrelevant information: insights from fMRI examinations of the Stroop task*. "Progress in Brain Research" 2001, Vol. 134, p. 459–470. [PMID: 11702561]
- BARTOLO A. et al.: *Humor comprehension and appreciation: an fMRI study*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2006, Vol. 18 (11), p. 1789–1798. [PMID: 17069470]
- BASHO S. et al.: *Effects of generation mode in fMRI adaptations of semantic fluency: paced production and overt speech*. "Neuropsychologia" 2007, Vol. 45 (8), p. 1697–1706 [PMID: 17292926]
- BECHTEREVA N.P. et al.: *PET study of brain maintenance of verbal creative activity*. "International Journal of Psychophysiology" 2004, Vol. 53 (1), p. 11–20. [PMID: 15172131]
- BEDNY M., THOMPSON-SCHILL S.L.: *Neuroanatomically separable effects of imageability and grammatical class during single-word comprehension*. "Brain and Language" 2006, Vol. 98 (2), p. 127–139. [PMID: 16716387]
- BEDWELL J.S. et al.: *Functional neuroanatomy of subcomponent cognitive processes involved in verbal working memory*. "International Journal of Neuroscience" 2005, Vol. 115 (7), p. 1017–1732. [PMID: 16051547]
- BERNAL B., ALTMAN N.R., MEDINA L.S.: *Dissecting nonverbal auditory cortex asymmetry: an fMRI study*. "International Journal of Neuroscience" 2004, Vol. 114 (5), p. 661–680. [PMID: 15204072]
- BINKOFSKI F. et al.: *A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: evidence from an fMRI study*. "European Journal of Neuroscience" 1999, Vol. 11 (9), p. 3276–3286. [PMID: 10510191]
- BOROWSKY R. et al.: *fMRI of ventral and dorsal processing streams in basic reading processes: insular sensitivity to phonology*. "Brain Topography" 2006, Vol. 18 (4), p. 233–239. [PMID: 16845597]
- BOTTINI G. et al.: *The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study*. "Brain" 1994, Vol. 117, p. 1241–1253. [PMID: 7820563]
- BRANNEN J.H. et al.: *Reliability of functional MR imaging with word-generation tasks for mapping Broca's area*. "AJNR American Journal Neuroradiology" 2001, Vol. 22 (9), p. 1711–1718. [PMID: 11673166]
- BRASSEN S. et al.: *Hippocampal-prefrontal encoding activation predicts whether words can be successfully recalled or only recognized*. "Behavioural Brain Research" 2006, Vol. 171 (2), p. 271–278. [PMID: 16725214]
- BROWN S., MARTINEZ M.J., PARSONS L.M.: *Music and language side by side in the brain: a PET study of the generation of melodies and sentences*. "European Journal of Neuroscience" 2006, Vol. 23 (10), p. 2791–2803. [PMID: 16817882]
- BUCKNER R.L., RAICHEL M.E., PETERSEN S.E.: *Dissociation of human prefrontal cortical areas across different speech production tasks and gender groups*. "Journal of Neurophysiology" 1995, Vol. 74 (5), p. 2163–2173. [PMID: 8592204]
- CALVERT G.A., CAMPBELL R.: *Reading speech from still and moving faces: the neural substrates of visible speech*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2003, Vol. 15 (1), p. 57–70. [PMID: 12590843]
- CHOU T.L. et al.: *Developmental and skill effects on the neural correlates of semantic processing to visually presented words*. "Human Brain Mapping" 2006, Vol. 27 (11), p. 91–24. [PMID: 16575838]
- CUTTING L.E. et al.: *Differential components of sentence comprehension: beyond single word reading and memory*. "NeuroImage" 2006, Vol. 29 (2), p. 429–438. [PMID: 16253527]
- DASELAAR S.M. et al.: *Parahippocampal activation during successful recognition of words: a self-paced event-related fMRI study*. "NeuroImage" 2001, Vol. 13 (1), p. 1113–1120. [PMID: 11352616]

- DE CARLI D. et al.: *Identification of activated regions during a language task*. "Magnetic Resonance Imaging" 2007, Vol. 25 (6), p. 933–938. [PMID: 17524589]
- DEMB J.B. et al.: *Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: a functional MRI study of task difficulty and process specificity*. "Journal of Neuroscience" 1995, Vol. 15 (9), p. 5870–5878. [PMID: 7666172]
- DESMOND J.E., GABRIELI J.D., GLOVER G.H.: *Dissociation of frontal and cerebellar activity in a cognitive task: evidence for a distinction between selection and search*. "NeuroImage" 1998, Vol. 7 (1), p. 368–376. [PMID: 9626676]
- DESMOND J.E. et al.: *Functional MRI measurement of language lateralization in Wada-tested patients*. "Brain" 1995, Vol. 118 (6), p. 1411–1419. [PMID: 8595473]
- DIETZ N.A. et al.: *Phonological decoding involves left posterior fusiform gyrus*. "Human Brain Mapping" 2005, Vol. 26 (2), p. 81–93. [PMID: 15934062]
- DÜZEL E. et al.: *Comparative electrophysiological and hemodynamic measures of neural activation during memory-retrieval*. "Human Brain Mapping" 2001, Vol. 13 (2), p. 104–123. [PMID: 11346889]
- ELLIS A.W. et al.: *Traces of vocabulary acquisition in the brain: Evidence from covert object naming*. "NeuroImage" 2006, Vol. 33 (3), p. 958–968. [PMID: 16987673]
- ETHOFER T. et al.: *Cerebral pathways in processing of affective prosody: a dynamic causal modeling study*. "NeuroImage" 2006, Vol. 30 (2), p. 580–587. [PMID: 16275138]
- FIEBACH C.J. et al.: *fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2002, Vol. 14 (1), p. 11–23. [PMID: 11798383]
- FIEBACH C.J. et al.: *Revisiting the role of Broca's area in sentence processing: syntactic integration versus syntactic working memory*. "Human Brain Mapping" 2005, Vol. 24 (2), p. 79–91. [PMID: 15455462]
- FLOWERS D.L. et al.: *Attention to single letters activates left extrastriate cortex*. "NeuroImage" 2004, Vol. 21 (3), p. 829–839. [PMID: 15006649]
- FOX P.T. et al.: *Brain correlates of stuttering and syllable production. A PET performance-correlation analysis*. "Brain" 2000, Vol. 123 (10), p. 1985–2004. [PMID: 11004117]
- FRIEDERICI A.D.: *The brain basis of language processing: From structure to function*. "Physiological Reviews" 2011, Vol. 91 (4), p. 1357–1392.
- FRIEDERICI A.D. et al.: *The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes*. "Cerebral Cortex" 2003, Vol. 13 (2), p. 170–177. [PMID: 12507948]
- FRIEDMAN L. et al.: *Brain activation during silent word generation evaluated with functional MRI*. "Brain and Language" 1998, Vol. 64 (2), p. 231–256. [PMID: 9710491]
- FRITH C.D. et al.: *Willed action and the prefrontal cortex in man: a study with PET*. "Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences" 1991, Vol. 244 (1311), p. 241–246. [PMID: 1679944]
- GARN C.L., ALLEN M.D., LARSEN J.D.: *An fMRI study of sex differences in brain activation during object naming*. "Cortex" 2009, Vol. 45 (5), p. 610–618. [PMID: 18639870]
- GERLACH C. et al.: *Categorization and category effects in normal object recognition: a PET study*. "Neuropsychologia" 2000, Vol. 38 (13), p. 1693–1703. [PMID: 11099727]
- GIRAUD A.L. et al.: *Contributions of sensory input, auditory search and verbal comprehension to cortical activity during speech processing*. "Cerebral Cortex" 2004, Vol. 14 (3), p. 247–255. [PMID: 14754865]
- GOEL V. et al.: *Neuroanatomical correlates of human reasoning*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 1998, Vol. 10 (3), p. 293–302. [PMID: 9869705]
- GOEL V. et al.: *The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning*. "Neuroreport" 1997, Vol. 8 (5), p. 1305–1310. [PMID: 9175134]

- GOLD B.T. et al.: *Common and dissociable activation patterns associated with controlled semantic and phonological processing: evidence from fMRI adaptation*. "Cerebral Cortex" 2005, Vol. 15 (9), p. 1438–1450. [PMID: 15647526]
- GRABOWSKA A.: *Mózgowe mechanizmy komunikacji językowej z perspektywy metod neuroobrazowania*. W: *Język jako przedmiot badań psychologicznych. Psycholingwistyka ogólna i neurolingwistyka*. Red. I. KURCZ, H. OKUNIEWSKA. Warszawa, Wydaw. SWPS „Academica” 2011, s. 308–347.
- GRABOWSKI T.J. et al.: *A role for left temporal pole in the retrieval of words for unique entities*. "Human Brain Mapping" 2001, Vol. 13 (4), p. 199–212. [PMID: 11410949]
- GROSSMAN M. et al.: *Sentence processing strategies in healthy seniors with poor comprehension: an fMRI study*. "Brain and Language" 2002, Vol. 80 (3), p. 296–313. [PMID: 11896643]
- HAGOORT P.: *On Broca, brain, and binding: a new framework*. "Trends in Cognitive Sciences" 2005, Vol. 9, s. 416–423.
- HAIST F. et al.: *Linking sight and sound: fMRI evidence of primary auditory cortex activation during visual word recognition*. "Brain and Language" 2001, Vol. 76 (3), p. 340–350. [PMID: 11247649]
- HALL D.A. et al.: *Spectral and temporal processing in human auditory cortex*. "Cerebral Cortex" 2002, Vol. 12 (2), p. 140–149. [PMID: 11739262]
- HART H.C., HALL D.A., PALMER A.R.: *The sound-level-dependent growth in the extent of fMRI activation in Heschl's gyrus is different for low- and high-frequency tones*. "Hearing Research" 2003, Vol. 179 (1–2), p. 104–112. [PMID: 12742243]
- HASHIMOTO R., SAKAI K.L.: *Learning letters in adulthood: direct visualization of cortical plasticity for forming a new link between orthography and phonology*. "Neuron" 2004, Vol. 42 (2), p. 311–322. [PMID: 15091345]
- HEIM S., EICKHOFF S.B., AMUNTS K.: *Specialisation in Broca's region for semantic, phonological, and syntactic fluency?* "NeuroImage" 2008, Vol. 40 (3), p. 1362–1368. [PMID: 18296070]
- HEIM S. et al.: *Phonological processing during language production: fMRI evidence for a shared production-comprehension network*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 2003, Vol. 16 (2), p. 285–296. [PMID: 12668238]
- HEIM S. et al.: *The role of the left Brodmann's areas 44 and 45 in reading words and pseudowords*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 2005, Vol. 25 (3), p. 982–993. [PMID: 16310346]
- HERHOLZ K. et al.: *Individual metabolic anatomy of repeating words demonstrated by MRI-guided positron emission tomography*. "Neuroscience Letters" 1994, Vol. 182 (1), p. 47–50. [PMID: 7891885]
- HESLING I. et al.: *Cerebral mechanisms of prosodic integration: evidence from connected speech*. "NeuroImage" 2005, Vol. 24 (4), p. 937–947. [PMID: 15670670]
- HEUN R. et al.: *Response-related fMRI of veridical and false recognition of words*. "European Psychiatry" 2004, Vol. 19 (1), p. 42–52. [PMID: 14969780]
- HICKOK G., POEPEL D.: *The cortical organization of speech perception*. "Nature Reviews Neuroscience" 2007, Vol. 8 (5), p. 393–402.
- HIRSCH J., MORENO D.R., KIM K.H.: *Interconnected large-scale systems for three fundamental cognitive tasks revealed by functional MRI*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2001, Vol. 13 (3), p. 389–405. [PMID: 11371315]
- HOENIG K., SCHEEF L.: *Mediotemporal contributions to semantic processing: fMRI evidence from ambiguity processing during semantic context verification*. "Hippocampus" 2005, Vol. 15 (5), p. 597–609. [PMID: 15884095]
- HOLECKOVA I. et al.: *Subject's own name as a novel in a MMN design: a combined ERP and PET study*. "Brain Research" 2008, Vol. 1189, p. 152–165. [PMID: 18053971]
- HORWITZ B. et al.: *Activation of Broca's area during the production of spoken and signed language: a combined cytoarchitectonic mapping and PET analysis*. "Neuropsychologia" 2003, Vol. 41 (14), p. 1868–1876.

- HUGDAHL K. et al.: *Left frontal activation during a semantic categorization task: an fMRI-study*. "International Journal of Neuroscience" 1999, Vol. 99 (1–4), p. 49–58. [PMID: 10495195]
- HYDER F. et al.: „*Willed action*”: *a functional MRI study of the human prefrontal cortex during a sensorimotor task*. "Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America" 1997, Vol. 94 (13), p. 6989–6994. [PMID: 9192679]
- INUI T. et al.: *A functional MRI analysis of comprehension processes of Japanese sentences*. "Neuroreport" 1998, Vol. 9 (14), p. 3325–3328. [PMID: 9831471]
- ISCHEBECK A. et al.: *Reading in a regular orthography: an FMRI study investigating the role of visual familiarity*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2004, Vol. 16 (5), p. 727–741. [PMID: 15200701]
- JÄNCKE L. et al.: *Asymmetric hemodynamic responses of the human auditory cortex to monaural and binaural stimulation*. "Hearing Research" 2002, Vol. 170 (1–2), p. 166–178. [PMID: 12208550]
- JESSEN F. et al.: *Activation of human language processing brain regions after the presentation of random letter strings demonstrated with event-related functional magnetic resonance imaging*. "Neuroscience Letters" 1999, Vol. 270 (1), p. 13–16. [PMID: 10454134]
- KANG A.M. et al.: *An event-related fMRI study of implicit phrase-level syntactic and semantic processing*. "NeuroImage" 1999, Vol. 10 (5), p. 555–561. [PMID: 10547332]
- KAPUR S. et al.: *The neural correlates of intentional learning of verbal materials: a PET study in humans*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 1996, Vol. 4 (4), p. 243–249. [PMID: 8957565]
- KĄDZIELOWA D.: *Mowa i język na podstawie dysfunkcji ośrodkowego układu nerwowego*. W: *Język jako przedmiot badań psychologicznych*. Psycholingwistyka ogólna i neurolingwistyka. Red. I. KURCZ, H. OKUNIEWSKA. Warszawa, Wydaw. SWPS „Academica” 2011, s. 295–397.
- KIYOSAWA M. et al.: *Functional neuroanatomy of visual object naming: a PET study*. "Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology" 1996, Vol. 234 (2), p. 110–115. [PMID: 8720681]
- KOUIDER S. et al.: *Cerebral bases of subliminal and supraliminal priming during reading*. "Cerebral Cortex" 2007, Vol. 17 (9), s. 2019–2029. [PMID: 17101688]
- KUCHINKE L. et al.: *Incidental effects of emotional valence in single word processing: an fMRI study*. "NeuroImage" 2005, Vol. 28 (4), p. 1022–1032. [PMID: 16084739]
- LASOTA K.J. et al.: *Intensity-dependent activation of the primary auditory cortex in functional magnetic resonance imaging*. "Journal of Computer Assisted Tomography" 2003, Vol. 27 (2), p. 213–218. [PMID: 12703014]
- LEHMANN C. et al.: *Dissociated lateralization of transient and sustained blood oxygen level-dependent signal components in human primary auditory cortex*. "NeuroImage" 2007, Vol. 34 (4), p. 1637–1642. [PMID: 17175176]
- LEHTONEN M.H. et al.: *Brain correlates of sentence translation in Finnish-Norwegian bilinguals*. "Neuroreport" 2005, Vol. 16 (6), p. 607–610. [PMID: 15812317]
- LI P.C. et al.: *Left prefrontal cortex activation during semantic encoding accessed with functional near infrared imaging*. "Hang tian yi xue yu yi xue gong Cheng – Space medicine & medical engineering" 2000, Vol. 13 (2), p. 79–83. [PMID: 11543056]
- LIEBENTHAL E. et al.: *Simultaneous ERP and fMRI of the auditory cortex in a passive oddball paradigm*. "NeuroImage" 2003, Vol. 19 (4), p. 1395–1404. [PMID: 12948697]
- MADDOCK R.J., BUONOCORE M.H.: *Activation of left posterior cingulate gyrus by the auditory presentation of threat-related words: an fMRI study*. "Psychiatry Research" 1997, Vol. 75 (1), p. 1–14. [PMID: 9287369]
- MAGUIRE E.A., FRITH C.D., MORRIS R.G.: *The functional neuroanatomy of comprehension and memory: the importance of prior knowledge*. "Brain" 1999, Vol. 122 (10), p. 1839–1850. [PMID: 10506087]
- MARR D.: *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. New York, Freeman 1982.

- MAZURKIEWICZ-SOKOŁOWSKA J.: *Transformacja i strategie wiązania w lingwistycznych badaniach eksperymentalnych*. Kraków, Universitas 2006.
- MCDERMOTT K.B. et al.: *Direct comparison of episodic encoding and retrieval of words: an event-related fMRI study*. "Memory" 1999, Vol. 7 (5–6), p. 661–678. [PMID: 10659091]
- MCDERMOTT K.B. et al.: *A procedure for identifying regions preferentially activated by attention to semantic and phonological relations using functional magnetic resonance imaging*. "Neuropsychologia" 2003, Vol. 41 (3), p. 293–303. [PMID: 12457755]
- MCGUIRE P.K. et al.: *Functional anatomy of inner speech and auditory verbal imagery*. "Psychological Medicine" 1996, Vol. 26 (1), p. 29–38. [PMID: 8643761]
- MENCL W.E. et al.: *Network analysis of brain activations in working memory: behavior and age relationships*. "Microscopy Research and Technique" 2000, Vol. 51 (1), p. 64–74. [PMID: 11002354]
- MENÉNDEZ-COLINO L.M. et al.: *Activation patterns of the primary auditory cortex in normal-hearing subjects: a functional magnetic resonance imaging study*. "Acta Oto-Laryngologica" 2007, Vol. 127 (12), p. 1283–1291. [PMID: 17851933]
- MIRZ F. et al.: *Stimulus-dependent central processing of auditory stimuli: a PET study*. "Scandinavian Audiology" 1999, Vol. 28 (3), p. 161–169. [PMID: 10489865]
- MORAN J.M. et al.: *Neural correlates of humor detection and appreciation*. "NeuroImage" 2004, Vol. 21 (3), p. 1055–1060. [PMID: 15006673]
- MÜHLAU M. et al.: *Left inferior parietal dominance in gesture imitation: an fMRI study*. "Neuropsychologia" 2005, Vol. 43 (7), p. 1086–1098. [PMID: 15769494]
- NAKAI T., KATO C., MATSUO K.: *An fMRI study to investigate auditory attention: a model of the cocktail party phenomenon*. "Magnetic Resonance in Medical Sciences" 2005, Vol. 4 (2), p. 75–82. [PMID: 16340161]
- NAKAMURA K. et al.: *Neural substrates for recognition of familiar voices: a PET study*. "Neuropsychologia" 2001, Vol. 39 (10), p. 1047–1054. [PMID: 11440757]
- NATHANIEL-JAMES D.A., FLETCHER P., FRITH C.D.: *The functional anatomy of verbal initiation and suppression using the Hayling Test*. "Neuropsychologia" 1997, Vol. 35 (4), p. 559–566. [PMID: 9106283]
- NOPPENY U., PRICE C.J.: *A PET study of stimulus- and task-induced semantic processing*. "NeuroImage" 2002, Vol. 15 (4), p. 927–935. [PMID: 11906233]
- NOPPENY U., PRICE C.J.: *Retrieval of visual, auditory, and abstract semantics*. "NeuroImage" 2002, Vol. 15 (4), p. 917–926. [PMID: 11906232]
- OHGAMI Y. et al.: *An fMRI study of tool-use gestures: body part as object and pantomime*. "Neuroreport" 2004, Vol. 15 (12), p. 1903–1906. [PMID: 15305134]
- OKUNIEWSKA H.: *Nowe propozycje rozumienia funkcjonalnej neuroanatomii mowy i języka*. W: *Język jako przedmiot badań psychologicznych. Psycholingwistyka ogólna i neurolingwistyka*. Red. I. KURCZ, H. OKUNIEWSKA. Warszawa, Wydaw. SWPS „Academica” 2011, s. 348–376.
- OWEN W.J., BOROWSKY R., SARTY G.E.: *fMRI of two measures of phonological processing in visual word recognition: ecological validity matters*. "Brain and Language" 2004, Vol. 90 (1–3), p. 40–46. [PMID: 15172523]
- PAPATHANASSIOU D. et al.: *A common language network for comprehension and production: a contribution to the definition of language epicenters with PET*. "NeuroImage" 2000, Vol. 11 (4), p. 347–357. [PMID: 10725191]
- PARSONS M.W. et al.: *Anterior medial temporal lobe activation during encoding of words: FMRI methods to optimize sensitivity*. "Brain and Cognition" 2006, Vol. 60 (3), p. 253–261. [PMID: 16472901]
- PATEL R.S., BOWMAN F.D., RILLING J.K.: *Determining hierarchical functional networks from auditory stimuli fMRI*. "Human Brain Mapping" 2006, Vol. 27 (5), p. 462–470. [PMID: 16568419]

- PATTERSON R.D. et al.: *The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex*. "Neuron" 2002, Vol. 36 (4), p. 767–776. [PMID: 12441063]
- PAULESU E. et al.: *A functional-anatomical model for lipreading*. "Journal of Neurophysiology" 2003, Vol. 90 (3), p. 2005–2013. [PMID: 12750414]
- PEKKOLA J. et al.: *Primary auditory cortex activation by visual speech: an fMRI study at 3 T*. "Neuroreport" 2005, Vol. 16 (2), p. 125–128. [PMID: 15671860]
- PLATEL H. et al.: *The structural components of music perception: a functional anatomical study*. "Brain" 1997, Vol. 120 (2), p. 229–243. [PMID: 9117371]
- POEPEL D., EMBICK D.: *Defining the relation between linguistics and neuroscience*. In: *Twenty-First Century Psycholinguistics: Four Cornerstones*. Ed. A. CUTLER. Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates 2005, p. 103–118.
- PRICE C.J., GREEN D.W., STUDNITZ R. von: *A functional imaging study of translation and language switching*. "Brain" 1999, Vol. 122 (12), p. 2221–2235. [PMID: 10581218]
- PRICE C.J. et al.: *Brain activity during reading: the effects of exposure duration and task*. "Brain" 1994, Vol. 117 (6), p. 1255–1269. [PMID: 7820564]
- RABOYEAU G. et al.: *Lexical learning of the English language: a PET study in healthy French subjects*. "NeuroImage" 2004, Vol. 22 (4), p. 1808–1818. [PMID: 15275937]
- RAPP A.M. et al.: *Neural correlates of metaphor processing*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 2004, Vol. 20 (3), p. 395–402. [PMID: 15268917]
- REKTOR I. et al.: *An event-related fMRI study of self-paced alphabetically ordered writing of single letters*. "Experimental Brain Research" 2006, Vol. 173 (1), p. 79–85. [PMID: 16506011]
- RÉMY F. et al.: *Acquisition of a new bimanual coordination pattern modulates the cerebral activations elicited by an intrinsic pattern: an fMRI study*. "Cortex" 2008, Vol. 44 (5), p. 482–493. [PMID: 18387582]
- RUDNER M. et al.: *Neural representation of binding lexical signs and words in the episodic buffer of working memory*. "Neuropsychologia" 2007, Vol. 45 (10), p. 2258–2276. [PMID: 17403529]
- RUGG M.D. et al.: *The role of the prefrontal cortex in recognition memory and memory for source: an fMRI study*. "NeuroImage" 1999, Vol. 10 (5), p. 520–529. [PMID: 10547329]
- SAHIN N.T., PINKER S., HALGREN E.: *Abstract grammatical processing of nouns and verbs in Broca's area: evidence from fMRI*. "Cortex" 2006, Vol. 42 (4), p. 540–562. [PMID: 16881266]
- SEDERBERG P.B. et al.: *Hippocampal and neocortical gamma oscillations predict memory formation in humans*. "Cerebral Cortex" 2007, Vol. 17 (5), p. 1190–1196. [PMID: 16831858]
- SEGHER M.L. et al.: *Variability of fMRI activation during a phonological and semantic language task in healthy subjects*. "Human Brain Mapping" 2004, Vol. 23 (3), p. 140–155. [PMID: 15449358]
- SHALOM D.B., POEPEL D.: *Functional Anatomical Models of Language: Assembling the Pieces*. "Neuroscientist" 2008, Vol. 14 (1), p. 119–127.
- SHIBATA M. et al.: *Neural mechanisms involved in the comprehension of metaphoric and literal sentences: an fMRI study*. "Brain Research" 2007, Vol. 1166, p. 92–102. [PMID: 17662699]
- SHUSTER L.I., LEMIEUX S.K.: *An fMRI investigation of covertly and overtly produced mono- and multisyllabic words*. "Brain and Language" 2005, Vol. 93 (1), p. 20–31. [PMID: 15766765]
- SÖDERFELDT B. et al.: *Signed and spoken language perception studied by positron emission tomography*. "Neurology" 1997, Vol. 49 (1), p. 82–87. [PMID: 9222174]
- STEFANATOS G.A. et al.: *Activation of human auditory cortex during speech perception: effects of monaural, binaural, and dichotic presentation*. "Neuropsychologia" 2008, Vol. 46 (1), p. 301–315. [PMID: 18023460]
- TANAKA S., HONDA M., SADATO N.: *Modality-specific cognitive function of medial and lateral human Brodmann area 6*. "Journal of Neuroscience" 2005, Vol. 25 (2), p. 496–501. [PMID: 15647494]
- THIOUX M. et al.: *Task-independent semantic activation for numbers and animals*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 2005, Vol. 24 (2), p. 284–290. [PMID: 15993766]

- TREMBLAY P., GRACCO V.L.: *Contribution of the frontal lobe to externally and internally specified verbal responses: fMRI evidence*. "NeuroImage" 2006, Vol. 33 (3), p. 947–957. [PMID: 16990015]
- TULVING E. et al.: *Neuroanatomical correlates of retrieval in episodic memory: auditory sentence recognition*. "Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America" 1994, Vol. 91 (6), p. 2012–2015. [PMID: 8134341]
- TZOURIO N., NKANGA-NGILA B., MAZOYER B.: *Left planum temporale surface correlates with functional dominance during story listening*. "Neuroreport" 1998, Vol. 9 (5), p. 829–833. [PMID: 9579674]
- UPADHYAY J. et al.: *Effective and structural connectivity in the human auditory cortex*. "Journal of Neuroscience" 2008, Vol. 28 (13), p. 3341–3349. [PMID: 18367601]
- VAN OPSTAL F. et al.: *A hippocampal-parietal network for learning an ordered sequence*. "NeuroImage" 2008, Vol. 40 (1), p. 333–341. [PMID: 18155926]
- VANDENBERGHE R., NOBRE A.C., PRICE C.J.: *The response of left temporal cortex to sentences*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2002, Vol. 14 (4), p. 550–560. [PMID: 12126497]
- VOROBYEV V.A. et al.: *Linguistic processing in visual and modality-nonspecific brain areas: PET recordings during selective attention*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 2004, Vol. 20 (2), p. 309–322. [PMID: 15183402]
- VUUST P. et al.: *It don't mean a thing... Keeping the rhythm during polyrhythmic tension, activates language areas (BA47)*. "NeuroImage" 2006, Vol. 31 (2), p. 832–841. [PMID: 16516496]
- WAKUSAWA K. et al.: *Comprehension of implicit meanings in social situations involving irony: a functional MRI study*. "NeuroImage" 2007, Vol. 37 (4), p. 1417–1426. [PMID: 17689103]
- WANG S. et al.: *Broca's area plays a role in syntactic processing during Chinese reading comprehension*. "Neuropsychologia" 2008, Vol. 46 (5), p. 1371–1378. [PMID: 18255103]
- WANG Y. et al.: *fMRI evidence for cortical modification during learning of Mandarin lexical tone*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2003, Vol. 15 (7), p. 1019–1027. [PMID: 14614812]
- WARBURTON E. et al.: *Noun and verb retrieval by normal subjects. Studies with PET*. "Brain" 1996, Vol. 119 (1), p. 159–179. [PMID: 8624678]
- WHITNEY C. et al.: *Task-dependent modulations of prefrontal and hippocampal activity during intrinsic word production*. "Journal of Cognitive Neuroscience" 2009, Vol. 21 (4), p. 697–712. [PMID: 18578599]
- WILDGRUBER D. et al.: *Identification of emotional intonation evaluated by fMRI*. "NeuroImage" 2005, Vol. 24 (4), p. 1233–1241. [PMID: 15670701]
- WILSON S.M. et al.: *Listening to speech activates motor areas involved in speech production*. "Nature Neuroscience" 2004, Vol. 7 (7), p. 701–702. [PMID: 15184903]
- WONG D. et al.: *PET imaging of differential cortical activation by monaural speech and nonspeech stimuli*. "Hearing Research" 2002, Vol. 166 (1–2), p. 9–23. [PMID: 12062754]
- YOO S.S. et al.: *Functional asymmetry in human primary auditory cortex: identified from longitudinal fMRI study*. "Neuroscience Letters" 2005, Vol. 383 (1–2), p. 1–6. [PMID: 15936503]
- ZALD D.H., PARDO J.V.: *The neural correlates of aversive auditory stimulation*. "NeuroImage" 2002, Vol. 16 (1), p. 746–753. [PMID: 12169258]
- ZEKVELD A.A. et al.: *Top-down and bottom-up processes in speech comprehension*. "NeuroImage" 2006, Vol. 32 (4), p. 1826–1836. [PMID: 16781167]
- ZEMPLINI M.Z. et al.: *Semantic ambiguity processing in sentence context: Evidence from event-related fMRI*. "NeuroImage" 2007, Vol. 34 (3), p. 1270–1279. [PMID: 17142061]
- ZHANG D.R. et al.: *Functional comparison of primacy, middle and recency retrieval in human auditory short-term memory: an event-related fMRI study*. "Brain Research. Cognitive Brain Research" 2003, Vol. 16 (1), p. 91–98. [PMID: 12589893]
- ZHANG J.X. et al.: *Semantic processing of Chinese in left inferior prefrontal cortex studied with reversible words*. "NeuroImage" 2004, Vol. 23 (3), p. 975–982. [PMID: 15528098]