

MECHANIZMY NEURONALNE FLUENCJI SEMANTYCZNEJ I LITEROWEJ: BADANIA Z UŻYCIEM fMRI. IMPLIKACJE KLINICZNE*

Ewa Małgorzata Szepietowska¹, Barbara Gawda²

¹ Zakład Psychologii Klinicznej i Neuropsychologii, Instytut Psychologii UMCS w Lublinie

² Zakład Psychologii Emocji i Poznania, Instytut Psychologii UMCS w Lublinie
Institute of Psychology, University of Maria Curie-Skłodowska in Lublin

NEURAL MECHANISMS OF SEMANTIC AND PHONEMIC FLUENCY:
fMRI STUDIES. CLINICAL IMPLICATIONS

Summary. Verbal fluency tasks as semantic fluency (FS) and phonemic fluency (FF) are often used in clinical practice. On the basis of neuroimaging studies and clinical trials, FS and FF are thought to have the different neural bases and different diagnostic value. FS indicates the efficiency of semantic memory while FF is related to executive functions. In our study, brain activation associated with the performance (silent) of two tasks of verbal fluency (semantic fluency: *animals, vehicles* and phonemic: letters *k* and *f*) was examined. Brain activation was measured with functional magnetic resonance 3T during a block schema tasks in 35 healthy individuals. The results show discrete differences in brain activation between FS and FF. FS involved large activation, especially in the lateral and medial structures of temporal lobe and inferior frontal gyrus (triangular part), whereas FF involved activity in the frontal areas, i.e. IFG (opercular part), basal ganglia and cerebellum. These data are discussed in relation to the clinical practice.

Key words: neural mechanisms, semantic fluency, phonemic fluency, fMRI

Wprowadzenie

Płynność słowna/fluencja słowna, czyli umiejętność wymieniania słów zgodnie z kryterium (np. zwierząt, pojazdów, słów rozpoczynających się określoną głoską) i limitem czasu (zwykle 1 minuta), uznawana jest powszechnie za wskaźnik

* Badania wykonano w ramach grantu NCN Opus 2011/03/B/HS6/01709. Autorki dziękują dr. Tomaszowi Wolakowi z Naukowego Centrum Obrazowania Biomedycznego IFIPS, mgr. Pawłowi Soluchowi oraz Mai Jastrzębowskiej z NeuroDevice Group za przygotowanie opisu procedury fMRI.

sprawności językowej i artykulacyjnej. Podejście psycholingwistyczne zakłada, że zadania takie stwarzają unikalną możliwość analizy struktury języka, głównie poziomu semantycznego, tworzącego słownik umysłowy, oraz sposobu (strategii) docierania człowieka do treści i znaczenia słowa (Kurcz, 2005). Najczęściej uwzględnianym (także w praktyce klinicznej) wskaźnikiem zasobów językowych i pamięci semantycznej jest liczba słów zgodnych z postawionym w instrukcji kryterium oraz liczba subkategorii (klasterów, *clusters*) semantycznych i/lub fonemicznych tworzonych przez wymieniane słowa, natomiast liczbę przełączeń (*switching*, czyli przejść pomiędzy tymi subkategoriami uznaje się za wskaźniki sprawności funkcji wykonawczych (Troyer, Moscovitch, Winocur, 1997).

Aktualne badania traktują sposób realizacji fluencji słownej jako źródło danych o psychologicznej organizacji wiedzy semantycznej (Goni i in., 2011) i o mechanizmach jej zakłóceń w przypadku patologii mózgu i różnorodnych zespołów neuropsychologicznych (np. afazji, demencji itd.). Część danych wskazuje, że wiedza semantyczna jest współtworzona przez odrębne kategorie (pojęcia zaliczane do różnych klas, np. *ożywione – nieożywione; zwierzęta – narzędzia*; por. Ralph, 2014). Inne sugerują organizację pojęć według percepcyjnych i funkcjonalnych cech obiektów (*pojęcia naturalne – sztuczne*) (Marques i in., 2008) czy też według cech gramatycznych (*rzeczowniki – czasowniki*) (Hillis, Caramazza, 1995). W kontekście dyskusji na temat organizacji wiedzy semantycznej ewoluują tezy dotyczące udziału różnych obszarów mózgowia i ich połączeń w jej konstruowaniu – od założeń o niezależności systemów neuronalnych stanowiących podstawę organizacji klas semantycznych lub cech obiektów zaliczanych do tych klas (Ralph, 2014) po współczesne modele akcentujące dynamiczny, rozproszony charakter aktywacji mózgowej z zaznaczeniem roli obszarów wyspecjalizowanych w przetwarzaniu podstawowych cech obiektów oraz struktur/obszarów integrujących dane (np. Pulvermüller, 2013).

Pomimo tak rozległych badań wykorzystujących fluencję słowną, niewiele miejsca poświęcono porównaniom mechanizmów generowania słów rozpoczynających się określoną głoską (fluencja fonemowa; FF) i należących do klas semantycznych (fluencja semantyczna; FS) (Lezak, 1995). Oba typy zadań należą do kanonu psychologicznych metod diagnostycznych, szczególnie w obszarze neuropsychologii klinicznej.

Wczesne doniesienia wykazywały pogorszenie możliwości przypominania słów w ramach obu zadań u osób z patologią płatów czołowych (Milner, 1964); kolejne dane potwierdzały niski poziom wykonań przy takiej lokalizacji dysfunkcji w zestawieniu z rezultatami pacjentów z uszkodzeniem tylnego obszaru mózgu (Pendleton i in., 1982; Troyer i in., 1998; Baldo i in., 2001). Współcześnie, podobne rezultaty uzyskał Robinson z zespołem (2012), wykorzystując różne typy fluencji (werbalnej i niewerbalnej) w badaniach osób z patologią płatów czołowych (prawej i lewej półkuli), patologią pozaczolową (każdej półkuli) i osób zdrowych: pacjenci z naczyniowym uszkodzeniem płata czołowego, szczególnie lewej półkuli, uzyskali najniższe wyniki spośród badanych we wszystkich zadaniach, szczególnie w FF. Co więcej, osoby z uszkodzeniem sytuującym się w obrębie dolnego zakrętu czołowego (*inferior frontal gyrus; IFG*) gorzej realizowały FF niż osoby z patologią

nieobejmującą IFG. Zdaniem autorów, IFG pełni kluczową rolę w realizacji FF ze względu na wymagania stawiane przez to zadanie, tj. selekcję pojęć ze względu na aspekt fonologiczny.

Kolejne doniesienia potwierdzały odmiennosć mechanizmów neuronalnych dla FF i FS: wyraźnie gorsza realizacja FS niż FF cechowała osoby z patologią płata skroniowego, natomiast niższe wyniki w FF niż w FS – pacjentów z patologią płata czołowego i dysfunkcjami czołowo-prążkowiowymi (Stuss i in., 1998; Henry, Crawford, 2004; Baldo i in., 2006). Uznano zatem, iż FS jest zadaniem czułym na deficyty pamięci semantycznej (i patologię okolic skroniowych), FF jest związana z procesami wykonawczymi i czuła na dysfunkcje okolic czołowych. Jednak u osób z dysfunkcjami czołowymi/czołowo-prążkowiowymi (np. w przebiegu choroby Parkinsona) odnotowano nie tylko trudności w wykonaniu FF, ale też FS (Donovan i in., 1999), podobnie u pacjentów z rozległą patologią obejmującą okolice skroniowe i bez/z otępieniem (np. w chorobie Alzheimera) wykazywano deficyty w realizacji obu typów zadań, z przewagą w FS (Salvatierra i in., 2007). Tak więc, mimo iż wykonanie FF i FS wydawało się dobrze różnicować patologię przedniego i tylnego obszaru, wyniki badań stawały pod znakiem zapytania różnicową wartością diagnostyczną zadań.

Z perspektywy poznawczej sytuacji zadaniowe tylko w pewnym stopniu różnią się pod względem procesów zaangażowanych w ich wykonanie. FS bazuje głównie na pamięci semantycznej; podawanie pojęć, ze względu na ich liczne powiązania semantyczne może mieć charakter automatyczny, ale przeszukiwanie wielu egzemplarzy wymaga udziału dodatkowych procesów, tj. selekcji pożądanych pozycji spośród konkurencyjnych, generowania subkategorii, przełączania się (Katzev i in., 2013). FF także wymaga systematycznego przeszukiwania zasobów pamięci, tym razem ze względu na podaną literę, hamowania skojarzeń semantycznych i utrzymywania strategii fonetycznych. Obydwa zadania wykonywane są zatem na podstawie częściowo podobnych mechanizmów poznawczych, tj. semantycznych i wykonawczych. Vonberg z zespołem (2014) wskazują, że strategie semantyczne są domyślnym czy dominującym trybem przetwarzania danych, także podczas FF; po wyczerpaniu dostępnych nazw rozpoczynających się daną głoską następuje uruchomienie strategii semantycznej, dotarcie do klastera semantycznego (np. *warzywa*), w ramach którego uruchamiana jest strategia fonologiczna (nazwy warzyw rozpoczynające się daną głoską), a po jej wyczerpaniu – ponownie semantyczna (por. też Szepietowska, Gawda, 2011).

Odnosząc te dane do mechanizmów mózgowych FS i FF, nie dziwi fakt, iż obserwuje się częściowo podobny wzorzec aktywności mózgowej, czyli zaangażowanie wielu różnych obszarów mózgowych, w tym także IFG. Występuje jednak specyficzny dla typu zadania obszar aktywacji: dla FF jest to tylny obszar IFG (BA44), dla FS natomiast przednio-brzuszny IGF (BA45). Częściowe podobieństwo aktywacji mózgowej podczas FS i FF potwierdzają metaanalizy (Wagner i in., 2014). W realizacji obu zadań uczestniczy, oprócz IFG, także środkowy zakręt czołowy lewej półkuli, wyspa, przednia część zakrętu obręczy (obu półkul), wzgórze, przedklinek, skorupa, jądro ogoniaste i inne. Niezależnie od typu zadania, dominuje za-

tem aktywacja okolic przedczołowych oraz przedniej części zakrętu obręczy. Tylno-grzbietowa część IFG (BA44/*pars opercularis*) jest wyraźnie bardziej zaangażowana w FF niż w FS i wniosek ten jest zgodny z innymi rezultatami (Mummery i in., 1996). Jego rola polega na tworzeniu planu mowy wewnętrznej w postaci programu artykulacyjnego (i ewentualnej artykulacji). Aktywacja przednio-brzuszej części IFG (BA45/*pars triangularis*), wyższa w FS, jest uznawana za główny element sieci semantycznej. Dla obydwu zadań typowa jest aktywacja obu półkul. Udział prawej potwierdzają także rezultaty uzyskiwane przez osoby z jej uszkodzeniem (Jodzio, 2006).

Do czynników modyfikujących wykonanie i wzorce aktywacji mózgowej zalicza się sposób wykonania zadania (dotyczy to badań z użyciem sekwencji funkcjonalnych fMRI): głośny (*overt*) lub cichy (*covert*) (Gutierrez-Sigut, Payne, Macsweeney, 2015). Ciche (tzn. w myślach) wymienianie słów koreluje z większą aktywacją różnych okolic mózgowych w porównaniu do głośnego wypowiedzianego (Birn i in., 2010), ale sposób wykonania jest trudny do kontroli. Głośne wypowiedzianie nie wymaga dodatkowych procesów, jakie muszą być zaangażowane w cichą reakcję, jednak mogą towarzyszyć temu różne (wymagające kontroli) artefakty, np. ruchowe (Schlösser i in., 1998; Allen, Fong, 2008; Rosselli i in., 2009). Ponadto, typ kategorii semantycznej/wyznaczona w instrukcji głoska powiązane z frekwencją słów w danym języku kształtują zarówno poziom wykonania (np. wyższy poziom FS niż FF, por. Katzev i in., 2013), jak i udział procesów neuronalnych w wykonaniu fluencji. W badaniach klinicznych wykazywano deficyty w przypominaniu nazw obiektów z jednej kategorii semantycznej (np. *ożywione*), przy braku trudności/mniejszych z aktualizacją nazw z kategorii *nieożywione*. Tego typu dysocjacja wskazywałaby na odrębność sieci neuronalnych dla słów z tych kategorii, co potwierdzają także czynnościowe badania aktywności mózgowej u osób zdrowych (Szepietowska, Gawda, 2014a). Podobne zjawisko może dotyczyć realizacji zadań typu FF, chociaż zagadnienie to nie było dotychczas bezpośrednim przedmiotem analiz. Różnice w mechanizmach psychologicznych i neuronalnych mogą mieć związek ze stosowanymi przez badanego strategiami (np. semantycznymi lub grupowania słów ze względu na pierwszą sylabę), frekwencją słów w danym języku itd. Wykazano, że aktywacja mózgowa zależy od frekwencji słów, tzn. słowa o niższej frekwencji występowania wiążą się z wyższą aktywnością okolic m.in. IFG, wyspy, wzgórza oraz jądra ogoniastego, odzwierciedlającą większy wysiłek poznawczy (Fiebach i in., 2002)

Cel badań i hipotezy

Wychodząc od powyższych danych, za cel badań własnych przyjęto: 1) opis mózgowych mechanizmów przypominania słów (rzeczowników) w dwóch sytuacjach zadaniowych, tj. zgodnie z wyznaczonymi kategoriami semantycznymi (*zwierzęta, pojazdy*) i zgodnie z wyznaczoną głoską (słowa rozpoczynające się głoskami *f* i *k*) oraz 2) opis psychologicznych mechanizmów przypominania słów z obydwu kategorii zadaniowych.

Na bazie piśmiennictwa sformułowano tezę o częściowym zróżnicowaniu wzorców aktywności mózgowej FS i FF. Założono, że w generowaniu słów zarówno z kategorii semantycznych, jak i fonemowych uczestniczy IFG; dodatkowo, w realizacji zadań semantycznych zaangażowane są boczne i przyśrodkowe części płatów skroniowych obu półkul, natomiast wykonaniu zadań fonemowych towarzyszy aktywacja obejmująca, poza IFG, inne elementy pętli czołowo-podkorowej. Sformułowano następnie hipotezę, iż te częściowo odmienne wzorce aktywacji ilustrują zróżnicowany udział psychologicznych mechanizmów przypominania słów z kategorii semantycznych i fonemowych.

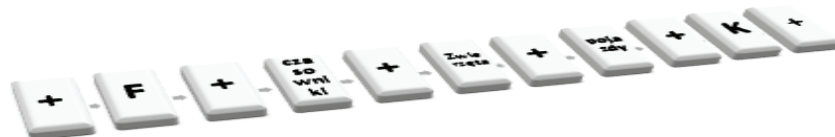
Osoby badane i metoda

W badaniach uczestniczyło 35 osób zdrowych w wieku od 20 do 35 r.ż. (M wiek = 25,8 SD = 4,3), w tym 18 mężczyzn i 17 kobiet będących studentami (N = 15), pracownikami umysłowymi (N = 11), fizycznymi (N = 4) i bezrobotnymi (N = 5). Większość uzyskała wykształcenie średnie (N = 21), pozostali wyższe (N = 14). Grupa była zatem jednolita pod względem wykształcenia i wieku. Warunkiem uczestnictwa było wyrażenie pisemnej zgody oraz brak obciążeń neurologicznych i psychiatrycznych.

Badania były dwuetapowe. Etap pierwszy (treningowy) odbywał się poza skanerem fMRI. Zadaniem badanych było głośne podawanie słów z różnych kategorii, w tym między innymi z 2 semantycznych (*zwierzęta, pojazdy*) i 2 fonemowych (litera *f* i *k*). Uczestników proszono, by wymieniali jak najszybciej i jak najwięcej: pojazdów, zwierząt itd. Każde zadanie trwało 1 minutę, a następne poprzedzano nową instrukcją. Wypowiedzi były rejestrowane, a następnie poddano je deskrypcji. W opisie wyników uwzględniono liczbę poprawnie podanych słów (za błędne uznano powtórzenia i słowa niezgodne z kryterium zadania) (por. Szepietowska, Gawda, 2011).

Drugi etap badań był prowadzony w laboratorium rezonansu magnetycznego w Europejskim Centrum Zdrowia w Otwocku w warunkach sekwencji funkcjonalnych według następującego schematu:

Akwizycja obrazów. Podczas sekwencji funkcjonalnej w schemacie blokowym zadaniem badanych było wypowiadanie w formie cichej (w myślach) słów należących do wyznaczonych kategorii. Zastosowano 7 identycznych sekwencji funkcjonalnych z różnymi stymulacjami (siedem zadań płynności słownej). Do niniejszych analiz wybrano dane, uzyskane podczas realizacji identycznych z sytuacją treningu, zadań, tj. dwóch semantycznych (*zwierzęta i pojazdy*) i dwóch fonemowych (słowa z początkową głoską *k* i *f*), w warunkach sekwencji funkcjonalnych. Instrukcja była prezentowana na ekranie LCD (*NordicNeuroLab InroomViewingDevice*), znajdującym się przed skanerem. Do cewki głowowej podczepiony był system lusterek, ustawionych pod takim kątem, by ekran był widoczny dla osoby badanej leżącej w skanerze. Badanych instruowano, żeby podczas sekwencji funkcjonalnej wypowiadali w myślach słowa z danej kategorii, natomiast podczas wizualizacji „krzyżka” (warunek kontrolny) – nie wypowiadali w myślach słów (por. rycina 1).



Rycina 1. Przykład sekwencji funkcjonalnej w schemacie modelu blokowego wykorzystanego w badaniach

Badanie zostało zaprojektowane przy użyciu programu PsychoPy, z którego skorzystano także przy wyświetlaniu instrukcji podczas badania. Sekwencje echa planarnego uzyskano przy pomocy skanera 3T *Achieva Philips Medical Systems*, stosując 8-elementową cewkę SENSE do badań głowy. W celu wykluczenia osób z nieprawidłową morfologią mózgu, poddano ocenie sekwencje strukturalne (T1, T2), a następnie T1 o dużej rozdzielczości oraz single-shot EPI. Poniżej podane są parametry sekwencji. T1 TFE o dużej rozdzielczości: TR = 7,51[ms], TE = 3,69 [ms], FA = 8, FOV = 25,6 x 25,6 [cm], matryca = 256 x 256, grubość warstwy = 2 [mm], odstęp między warstwami = -1 [mm], szerokość pasma piksela = 191 Hz/pix, liczba warstw = 181, TA = 3 min. Do akwizycji fMRI wykorzystano sekwencję gradientową pojedynczego echa planarnego (*single-shot gradient echo*, FFE-EPI, TE = 30 [ms], TR = 3000 [ms], TA = 2:30 [min], grubość warstwy = 3 [mm], odstęp między warstwami = 0 [mm], matryca = 96 x 96, FOV = 192 x 192 [mm], liczba warstw = 45, SENSE factor 1.8, dynamics = 66). Każdy blok trwał 6 wolumenów. Każda seria trwała 66 wolumenów¹.

Przetwarzanie wstępne obrazów. Po transformacji z DICOM na format kompatybilny z Analezy, dane fMRI zostały przeanalizowane za pomocą pakietu SPM12b (*Statistical Parametric Mapping*). Przetwarzanie wstępne danych składało się z następujących czterech kroków: 1) korekcji czasu akwizycji warstw, 2) korekcji ruchów w celu eliminacji artefaktów ruchowych – wszystkie obrazy zostały przestrzennie dopasowane do pierwszego obrazu z serii, badania z ruchem wynoszącym ponad 2 mm zostały odrzucone (2/245 serii), wszystkie parametry przestrzennego dopasowania (*realignment*) zostały zapisane i następnie wykorzystane jako regresory w analizie za pomocą ogólnego modelu liniowego (GLM), średnia ruchu dla wszystkich sekwencji wyniosła 0,47 mm, nie było znaczącej różnicy w średniej ruchu między seriami (średnia ruchu dla każdej z 7 serii: 0,52 mm, 0,42 mm, 0,41 mm, 0,50 mm, 0,44 mm, 0,52 mm, 0,45 mm), 7/245 sekwencji wymagało zastosowania procedury *scrubbing*, 3) normalizacji obrazów mózgu (anatomiczne obrazy T1 – zależne korektrowane z obrazami EPI) do przestrzeni MNI (standardowa przestrzeń zaproponowana przez *Montreal Neurological Institute*, rozmiar woksela 2 x 2 x 2 mm) w celu umożliwienia grupowych porównań między osobami bada-

¹ Wolumen – obraz EPI (obrazowanie echoplanarne) pobierany w ciągu mniej niż 3 sekund. W badaniu każdy blok trwał 6 wolumenów, czyli około 18 sekund. Seria trwała 3 minuty 18 sekund.

nymi, 4) zastosowania filtrów wygładzających (maska gaussowska FWHM = 6 mm) w celu zmniejszenia morfologicznych różnic między osobami badanymi.

Analizę statystyczną obrazów podzielono na dwa etapy: poziom pierwszy – analiza w obrębie pojedynczego badanego (SSA) oraz poziom drugi – analiza polegająca na porównaniu ze sobą wszystkich badanych (MSA). Każda seria EPI miała ten sam schemat blokowy. Ogólny model liniowy (GLM) oraz standardowa funkcja odpowiedzi hemodynamicznej zostały dopasowane do danych. Szeregi czasowe dla każdego woksela zostały poddane filtracji górnoprzepustowej (1/128 Hz próg), aby usunąć szumy o niskiej częstotliwości oraz zniwelować efekt zmienności sygnału w czasie. Na wstępie przeprowadzona została analiza *hot spot* dla pojedynczych osób. Celem tej analizy było pokazanie, które regiony mózgu są zaangażowane w wykonywanie testu, czyli pokazanie efektu grupowego wykonywanego testu. Podczas analizy na pierwszym poziomie, stosowany był jeden kontrast („zadanie fluencji a warunek kontrolny „krzyżyk”). Ten kontrast był następnie wykorzystany do analizy na poziomie drugim. Zastosowano test *t*-Studenta dla jednej próby, jak i analizę *Anova One Sample* w celu porównania średnich i wariancji aktywacji. Wszystkie wyniki zostały wyliczone z zastosowaniem korekty FWE ($p < 0,05$). W analizie neuroobrazowych danych wykorzystano *Automated Anatomical Labeling Atlas* (AAL) (Tzourio-Mazoyer i in., 2002).

Wyniki

W analizie danych otrzymanych w fazie treningu uwzględniono sumy liczby poprawnych odpowiedzi z 2 zadań semantycznych i 2 zadań fonemowych. Zgodnie z oczekiwaniami, liczba rzeczowników podanych w FS ($M = 38,54$; $SD = 10,29$) istotnie przewyższała liczbę rzeczowników podanych w FF ($M = 30,48$; $SD = 7,30$; $t = 5,24$, $df = 34$, $p \leq 0,001$).

Następnie przeanalizowano dane otrzymane w sekwencjach funkcjonalnych. Tabele 1 i 2 zawierają dane o aktywacji towarzyszącej wymienianiu słów zgodnie z instrukcją w porównaniu do warunków kontrolnych. Ryciny 2 i 3 ilustrują główne obszary aktywacji obecne w zadaniach.

Tabela 1. Aktywacje odnotowane podczas realizacji fluencji semantycznej (> warunek kontrolny)

Okolica/półkula	Liczba voxeli	% aktywacji	Koordynaty			Wartość <i>t</i>
			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Z</i>	
Płat czołowy						
Dodatkowe pole ruchowe L	15096	87,35	-4	10	50	25,72
Dodatkowe pole ruchowe P	10880	57,61	2	10	56	19,69
Zakręt czołowy przyśrodkowy L	2320	9,73	-4	18	44	20,48
Dolny zakręt czołowy – część wieczkowa L	6416	77,57	-40	6	28	17,10

cd. tabeli 1

Dolny zakręt czołowy – część trójkątna L	18008	89,57	-44	24	22	16,53
Dolny zakręt czołowy – część orbitalna L	7768	57,16	-40	22	-6	15,23
Górny zakręt czołowy L	10552	36,49	-12	14	48	15,07
Środkowy zakręt czołowy L	16352	42,23	-30	10	58	12,69
Środkowy zakręt czołowy P	1688	4,18	42	50	28	7,09
Zakręt przedśrodkowy L	17176	60,96	-42	4	28	16,03
Płacik okołosrodkowy L	3968	36,65	-6	-10	70	11,13
Płat ciemieniowy						
Dolny płacik ciemieniowy L	2296	11,81	-34	-72	44	12,79
Zakręt zaśrodkowy L	3776	12,16	-56	-4	44	11,84
Zakręt zaśrodkowy P	1272	4,70	60	0	44	7,80
Zakręt kątowy L	1320	14,17	-36	-70	44	11,13
Przedklinek L	1496	5,28	-20	-48	4	9,40
Płat skroniowy						
Biegun górnego zakrętu skroniowego L	5176	50,61	-54	16	-8	17,82
Dolny zakręt skroniowy L	9848	38,40	-42	-42	-26	13,60
Środkowy zakręt skroniowy L	6000	15,25	-52	-42	2	8,72
Środkowy zakręt skroniowy P	1080	3,04	56	-28	-6	7,18
Hipokamp L	4872	65,23	-30	-30	-6	10,61
Zakręt przyhipokampalny L	2768	35,08	-16	-20	-14	9,91
Wyspa L	6320	42,06	-30	20	4	18,27
Wyspa P	1792	12,68	36	24	0	11,06
Płat potyliczny						
Dolny zakręt potyliczny P	6088	76,78	38	-86	-12	14,99
Dolny zakręt potyliczny L	5944	78,87	-36	-86	-12	14,62
Środkowy zakręt potyliczny P	2328	14,10	28	-94	4	13,99
Górny zakręt potyliczny P	1032	9,26	18	-102	6	13,24
Górny zakręt potyliczny L	2176	20,17	-26	-74	42	10,96
Bruzda ostrogowa L	9248	50,93	-12	-102	-6	14,35
Bruzda ostrogowa P	5920	39,77	18	-102	4	13,62

cd. tabeli 1

Zakręt językowy L	9912	58,54	-36	-86	-12	14,05
Zakręt językowy P	6320	34,25	38	-84	-16	12,70
Zakręt wrzecionowaty L	6472	35,30	-40	-44	-24	14,12
Zakręt wrzecionowaty P	1936	9,57	46	-76	-16	12,04
Móździek						
Móździek płacik VI P	9144	63,67	32	-68	-26	20,45
Móździek konar2 P	12120	71,14	8	-80	-24	19,47
Móździek płacik VIIb P	3056	72,25	34	-70	-54	19,38
Robak móźdźku 7	1560	99,74	6	-78	-24	17,27
Móździek konar1 L	15632	75,64	-50	-60	-34	14,44
Móździek konar2 L	2936	19,30	2	-82	-26	14,07
Robak móźdźku 6	2952	99,86	6	-80	-18	15,55
Robak móźdźku 4-5	3928	73,78	0	-52	-18	10,98
Móździek płacik IX L	1280	18,49	-22	-40	-44	7,12
Móździek płacik VI L	12272	89,76	-40	-44	-26	13,67
Móździek płacik IV-V L	6008	66,50	-6	-56	-14	10,85
Móździek płacik VIII L	5264	34,88	-4	-70	-40	9,34
Robak móźdźku 8	1832	94,43	0	-68	-38	9,33
Móździek płacik VIIb L	1128	24,32	-2	-72	-38	8,87
Móździek płacik IV-V P	1608	23,78	10	-56	-16	9,63
Inne						
Skorupa L	4632	58,32	-20	6	6	14,47
Skorupa P	2264	26,60	22	22	4	11,85
Gałka błada L	2072	90,68	-18	8	6	13,96
Jądro ogoniaste L	4328	56,34	-16	-6	20	13,30
Jądro ogoniaste P	5232	65,89	22	20	8	13,22
Wzgórze L	5016	57,66	-14	-8	12	10,81
Zakręt obręczy – część środkowa L	3136	20,22	-4	14	44	23,11
Zakręt obręczy – część przednia L	2032	18,00	-6	24	32	15,11
Zakręt obręczy – część środkowa P	4512	25,87	4	16	44	18,74
Zakręt obręczy – część przednia P	1672	16,01	12	20	30	13,42

P – prawa półkula, L – lewa półkula

Tabela 2. Aktywacje odnotowane podczas realizacji fluencji fonemowej (> warunek kontrolny)

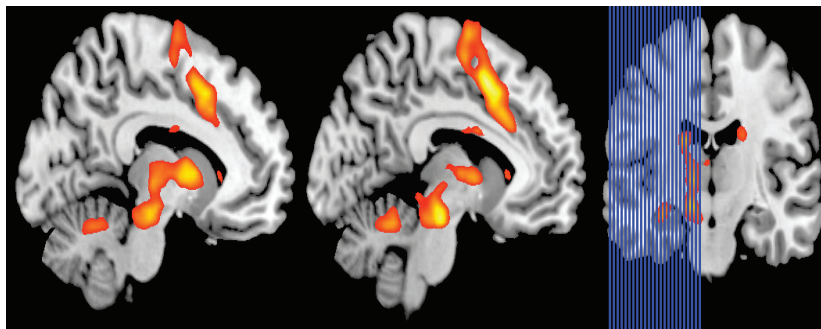
Okolica/półkula	Liczba aktywnych voxeli	% aktywacji	Koordynaty			Wartość <i>t</i>
			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Z</i>	
Płat czołowy						
Dodatkowe pole ruchowe L	12968	75,04	-4	10	50	29,20
Środkowy zakręt czołowy P	1760	4,36	40	54	24	7,42
Dolny zakręt czołowy – część wieczkowa L	7216	87,24	-42	6	28	23,47
Zakręt czołowy przyśrodkowy L	1256	5,27	-4	18	44	21,76
Zakręt przedśrodkowy L	17216	61,11	-42	4	28	22,69
Dodatkowe pole ruchowe P	7384	39,10	2	8	56	21,33
Dolny zakręt czołowy – część trójkątna L	17216	85,63	-46	24	22	20,18
Dolny zakręt czołowy – część orbitalna L	4632	34,08	-42	20	-4	18,32
Górny zakręt czołowy L	5448	18,84	-12	16	46	15,39
Środkowy zakręt czołowy L	7664	19,79	-24	-8	50	14,22
Dolny zakręt czołowy – część orbitalna P	1136	8,26	36	24	-6	13,61
Zakręt przedśrodkowy P	1112	4,11	62	0	42	10,63
Płacik okołosrodkowy L	1432	13,23	-6	-10	70	11,76
Bruzda Rolanda – część wieczkowa L	1976	24,89	-54	6	16	14,74
Płat ciemieniowy						
Zakręt zaśrodkowy L	7216	23,24	-56	-2	42	16,89
Dolny płacik ciemieniowy L	10520	54,10	-32	-72	44	14,43
Górny płacik ciemieniowy L	2840	17,19	-26	-76	46	11,27
Zakręt zaśrodkowy P	1592	5,19	62	-2	40	10,73
Zakręt kątowy L	2112	22,68	-34	-68	46	12,45
Płat skroniowy						
Biegun górnego zakrętu skroniowego L	2984	29,17	-54	16	-8	19,25
Dolny zakręt skroniowy L	9920	38,68	-54	-50	-20	17,87
Górny zakręt skroniowy L	1464	8,00	-54	8	-2	12,90
Środkowy zakręt skroniowy L	4488	11,40	-52	-42	2	10,36
Dolny zakręt skroniowy P	3184	11,18	52	-72	-10	10,67
Hipokamp L	2936	39,31	-32	-18	-10	11,42

cd. tabeli 2

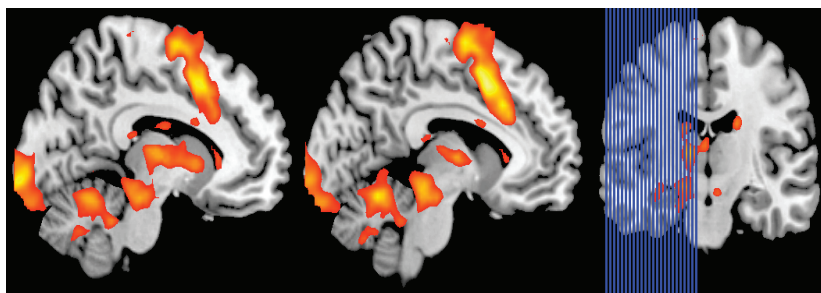
Wyspa						
Wyspa L	6136	40,84	-32	20	2	22,45
Wyspa P	3576	25,31	36	24	0	16,62
Zakręt wrzecionowaty L	2704	14,75	-46	-54	-20	15,23
Płat potyliczny						
Dolny zakręt potyliczny L	3864	51,27	-48	-68	-12	16,56
Środkowy zakręt potyliczny L	6664	25,64	-30	-74	40	14,30
Dolny zakręt potyliczny P	5248	66,19	44	-86	-10	13,50
Środkowy zakręt potyliczny P	1768	10,71	40	-90	2	12,68
Bruzda ostrogowa L	2344	12,91	-4	-88	6	7,44
Móźdzek						
Móźdzek płacik VIII P	9384	51,15	26	-70	-56	27,19
Móźdzek konar2 P	9288	54,51	26	-80	-50	18,37
Móźdzek płacik VIIb P	2720	64,30	22	-76	-52	24,14
Móźdzek płacik VI P	7520	52,36	30	-66	-26	24,00
Móźdzek konar 1P	15384	73,20	30	-68	-26	23,90
Móźdzek płacik IV-V L	3024	33,47	-4	-36	-4	10,22
Móźdzek płacik VIII L	4072	26,98	-28	-66	-56	9,41
Móźdzek płacik IX L	1544	22,30	-20	-38	-48	8,80
Robak móźdzku 8	1432	73,81	0	-66	-32	8,22
Robak móźdzku 7	1544	98,72	6	-78	-24	16,43
Móźdzek płacik VI L	8904	65,13	-22	-62	-24	15,71
Móźdzek konar1 L	11248	54,42	-54	-54	-24	14,73
Robak 6	2872	97,16	6	-80	-18	13,75
Móźdzek konar 2 L	2312	15,19	2	-82	-26	12,50
Robak móźdzku 4-5	3184	59,80	0	-48	-6	10,91
Inne						
Skorupa L	5136	64,67	-20	8	4	21,70
Skorupa P	2160	94,53	-20	6	4	21,23
Jądro ogoniaste L	2816	36,66	-10	4	10	15,59
Jądro ogoniaste P	4456	56,11	20	8	18	13,03
Zakręt obręczy						
- część środkowa P	4120	23,62	4	16	44	20,24
Zakręt obręczy - część przednia P	1568	15,02	10	24	30	13,72
Zakręt obręczy - część przednia L	1576	13,96	-6	20	32	13,69
Zakręt obręczy - część środkowa L	3296	21,25	-4	14	44	25,24
Wzgórze L	4584	52,69	-4	-8	8	11,93

P – prawa półkula, L – lewa półkula

Ryciny ilustrują aktywacje obecne przy realizacji fluencji fonemowej (rycina 2) i semantycznej (rycina 3).



Rycina 2. Aktywacje w zadaniach fluencji fonemowej



Rycina 3. Aktywacje w zadaniach fluencji semantycznej

Dyskusja

Wyniki uzyskane z pierwszych tego typu badań w polskiej populacji nieklinicznej, wpisują się w aktualne światowe doniesienia wskazujące zarówno na podobieństwa, jak i różnice w zakresie aktywacji mózgowej obecnej przy realizacji zadań FF i FS. Aktywacja ta ma charakter rozległy/rozproszony, obejmujący obie półkule (z przewagą lewej), ich przednią i tylną część, w tym okolice korowe i podkorowe oraz mózdzek. Jest to zgodne z omówionymi wcześniej badaniami, wskazując, iż tak rozległa aktywacja ilustruje zaangażowanie, niezależnie od sytuacji zadaniowej, licznych procesów psychologicznych (Ralph, 2014). Udział prawej półkuli można interpretować jako przejaw uruchamiania niezrutynizowanych strategii podwyższających poziom wykonania, procesów uwagowych czy analizy szczegółowych cech obiektów (Szatkowska, Grabowska, Szymańska, 2000; Garoff, Slotnick, Schacter, 2005). Za kluczowe dla procesów semantycznych uznaje się, odnotowane i w naszych badaniach, zaangażowanie obszarów skroniowych (Birn i in., 2010). Potwierdzają to dane kliniczne wykazujące rozpad wiedzy semantycznej u pacjentów z taką lokalizacją patologii mózgowej oraz wyniki badań neuroobrazowych osób zdrowych (por. Rogers i in., 2006). Współcześnie wskazuje się gradientowy charak-

ter funkcjonalny tych obszarów (*posterior to anterior gradient in the specificity of semantic processing*) wiążący się z odmienną rolą w regulacji procesów semantycznych. Tylne części płatów skroniowych (zakręt wrzecionowaty – tylne jego części/BA37) uczestniczy w przetwarzaniu podstawowych (wzrokowych) aspektów wiedzy semantycznej (Ardila, Ostrosky-Solis, Bernal, 2006; Bonner, Price, 2013), przednia uznawana jest za pole konwergencji, reprezentujące relacje pomiędzy obiektami/pojęciami (Noppeney, 2008; Pulvermüller, 2013; Ralph, 2014). Następnie, nasze dane i inne wskazują na udział mózgdzku w procesach poznawczych, w tym również w procesach przypominania słów (Leggio i in., 2000; Schmahmann, 2009). Wyniki osób z dysfunkcją mózgdzku, wskazujące na większe trudności w realizacji FF niż FS i polegające na podawaniu mniejszej liczby słów, tworzeniu mniejszej liczby klastrów i przełączeń fonetycznych, potwierdzają rolę mózgdzku w procesach planowania oraz uczenia się niezrutynizowanych (a za takie uznawane jest zadanie FF) czynności (Leggio i in., 2000). Zgodna z rezultatami innych badań jest także obserwacja, iż dolny zakręt czołowy (IFG) jest zaangażowany podczas realizacji obu zadań. Aktywacja zakrętu obręczy, jego przedniej i środkowej części, jest systematycznie wykazywana w badaniach mózgowych mechanizmów fluencji werbalnej; pełni on funkcję w procesach selekcji uwagi, tzn. ułatwiania lub hamowania odpowiedzi, monitorowania reakcji, w tym błędnych (Wagner i in., 2014).

W badaniach własnych odnotowano także różnice pod względem aktywacji dla FF i FS. Wykazano wyższy poziom aktywacji zakrętu wrzecionowatego (w prawej i lewej półkuli), także hipokampa i bocznej powierzchni płatów skroniowych oraz okolic potylicznych w zadaniu FS, mogących odzwierciedlać niezbędne dla wykonania zadań semantycznych procesy przypominania, wyobrażeniowo-wzrokowe, w tym dotyczące analizy cech ruchu (*motion*) powiązanego z pojęciami z kategorii *zwierzęta i pojazdy* (Marques i in., 2008). W zadaniu FF aktywacja zakrętu wrzecionowatego (jedynie w lewej półkuli) może mieć związek ze stosowaniem strategii semantycznych. Następnie, zaobserwowano inny poziom aktywacji IFG zależnie od typu zadania (Fiebach i in., 2002; Amunts i in., 2004). W porównaniu do FF, realizacji FS towarzyszy wyższy poziom aktywacji części trójkątnej IFG (BA45), realizacji FF z kolei wyższy części wieczkowej (BA44). Podobne wyniki omawia Price (2012); aktywacja BA44 jest typowa dla różnorodnych zadań językowych, szczególnie tych realizowanych w formie cichej, wymagających planowania motorycznego (w myślach). Z kolei część trójkątna (BA45) odzwierciedla procesy selekcji spośród wielu alternatyw i procesy przełączania się wynikające ze stosowanych strategii – stąd w obu typach zadań aktywacja ta jest większa niż części wieczkowej (Hirshorn, Thompson-Schill, 2006). Poprzez połączenia z korą przedczołową, jądra podstawy (głównie skorupa i jądro ogoniaste) pełnią funkcję kontrolną i udział w inicjowaniu przypominania (Thames i in., 2012). Aktywacja jąder ogoniastych w prawej i lewej półkuli była wyższa w przypadku FS niż FF. Podsumowując, wymienianie słów z kategorii semantycznych jest realizowane ze szczególnym udziałem bocznych i przyśrodkowych części płatów skroniowych, okolic potylicznych, wyspy oraz IFG (części trójkątnej), natomiast wykonaniu FF towarzyszy aktywacja obejmująca głównie przedni obszar, tj. IFG część wieczkową, następnie jądra podstawy i mózdzek.

Rezultaty te w pełni wpisują się w trwającą obecnie dyskusję. Część autorów różnice w neuronalnych mechanizmach FF i FS określa jako dyskretne (Gourovitch i in., 2000), tłumacząc to faktem, iż oba zadania wymagały generowania rzeczowników (Szepietowska, Gawda, 2014b). Dlatego też obniżenie wyników w obydwu tych zadaniach, w porównaniu do grup kontrolnych, cechuje osoby z różnych grup klinicznych: depresją w przebiegu dysfunkcji OUN (Talarowska, Zboralski, Gałęcki, 2011; Piskunowicz i in., 2013), zlateralizowaną i obupółkulową patologią, chorobą Parkinsona (Szepietowska, Hasiec, Mikoś-Jańczyk, 2012), chorobą Huntingtona (Sitek i in., 2014), także z różnymi typami afazji związanymi ze zróżnicowaną lokalizacją/lateralizacją patologii, choć niekiedy wykonania tych chorych nie były obniżone (Devido-Santos, Gagliardi, Mac-Kay, 2012).

Nasze dane, i jest to najistotniejszy wniosek z badań własnych, nawiązują do klasycznych i najnowszych doniesień wskazujących na (częściową) odrębność sieci neuronalnych i procesów poznawczych zaangażowanych w wykonanie FF i FS, mimo że w obu przypadkach wymagały one podawania rzeczowników (Biesbroek i in., 2015). FF bazuje głównie na procesach wykonawczych w postaci planowania motorycznego, selekcji pojęć i hamowania strategii semantycznych, kontroli wykonania, a także pętli fonologicznej pamięci roboczej (Rende, Ramsberger, Miyake, 2002), FS angażuje natomiast notes wzrokowo-przestrzenny pamięci roboczej (Rende, Ramsberger, Miyake, 2002), procesy wyobraźniowo-wzrokowe (Mion i in., 2010) oraz pamięć semantyczną. Ze względu na liczne asocjacje nazw obiektów zaliczanych do kategorii semantycznych z ich cechami percepcyjnymi i funkcjonalnymi, wydobywanie słów podczas FS jest łatwiejsze, czego wskaźnikiem jest wyższa, niż w FF, liczba poprawnych odpowiedzi. Odnosząc dane do kontekstu klinicznego, można sugerować, że uznanie wykonań FF jako wskaźnika funkcji wykonawczych, zaś FF – pamięci semantycznej, jest w pełni uzasadnione.

Przedstawione wyniki zachęcają do kontynuacji badań ze względu na ograniczenia możliwości generalizacji wniosków wynikające m.in. z małej próby.

Literatura cytowana

- Allen, M., Fong, A. (2008). Clinical application of standardized cognitive assessment using fMRI. II. Verbal fluency. *Behavioural Neurology*, 20, 141-152.
- Amunts, K., Weiss, P., Mohlberg, H., Pieperhoff, P., Eickhoff, P., Gurd, J., Marshall, J., Shah, N., Fink, G., Zilles, K. (2004). Analysis of neural mechanisms underlying verbal fluency in cytoarchitectonically defined stereotaxic space – the roles of Brodmann areas 44 and 45. *NeuroImage*, 22, 42-56.
- Ardila, A., Bernal, B., Roselli, M. (2004). Participation of the insula in language revisited: a meta-analytic connectivity study. *Journal of Neurolinguistics*, 29, 31-41.
- Ardila, A., Ostrosky-Solis, F., Bernal, B. (2006). Cognitive testing toward the future: the example of semantic verbal fluency (Animals). *International Journal of Psychology*, 41 (5), 324-332.
- Baldo, J., Schwartz, S., Wilkins, D., Dronkers, N. (2006). Role of frontal versus temporal cortex in verbal fluency as revealed by voxel-based lesion symptom mapping. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12, 896-900.

- Baldo, J.V., Shimamura, A.P., Delis, D.C., Kramer, J., Kaplan, E. (2001). Verbal and design fluency in patients with frontal lobe lesions. *Journal of International Neuropsychological Society*, 7, 586-596.
- Biesbroek, J., van Zandvoort, M., Kappelle, L., Velthuis, B., Biessels, G., Postma, A. (2015). Shared and distinct anatomical correlates of semantic and phonemic fluency revealed by lesion-symptom mapping in patients with ischemic stroke. *Brain Structure and Functions*, doi: 10.1007/s00429-015-1033-8
- Birn, R., Kenworthy, L., Case, L., Caravella, R., Jones, T., Bandettini, P., Martin, A. (2010). Neural systems supporting lexical search guided by letter and semantic category cues: a self-paced overt response fMRI study of verbal fluency. *Neuroimage*, 49, 1099-1107.
- Bonner, M., Price, A. (2013). Where is the anterior temporal pole and what does it do? *Journal of Neuroscience*, 33 (10), 4213-4215.
- Devido-Santos, M., Gagliardi, R., Mac-Kay, A. (2012). Language disorders and brain lesion topography in aphasics after stroke. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 70 (2), 129-133.
- Donovan, K., Siegert, R., McDowall, J., Abernethy, D. (1999). Clustering and switching in verbal fluency in PD. *New Zealand Journal of Psychology*, 28, 1, 61-66.
- Fiebach, Ch., Friederici, A., Müller, K., von Cramon, Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1, 11-23.
- Garoff, R., Slotnick, S., Schacter, D. (2005). The neural origins of specific and general memory: the role of the fusiform cortex. *Neuropsychologia*, 43, 848-859.
- Goni, J., Arrondo, G., Sepulcre, J., Martimcorena, I., de Mendizabal, N., Corominas-Murtra, B., Bejarano, B., Ardanza-Trevijano, S., Peraita, H., Wall, D., Villoslada, P. (2011). The semantic organization of the animal category: evidence from semantic verbal fluency and network theory. *Cognitive Processing*, 12, 2, 183-196.
- Gourovitch, M., Kirkby, B., Goldberg, T., Weinberger, D., Gold, J., Esposito, G., van Horn, J. (2000). A comparison of rCBF patterns during letter and semantic fluency. *Neuropsychology*, 14 (3), 353-360.
- Gutierrez-Sigut, E., Payne, H., Macsweeney, M. (2015). Investigating language lateralization during phonological and semantic fluency tasks using functional transcranial Doppler sonography. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 20, 1, 49-68.
- Henry, J., Crawford, R. (2004). A meta-analytic review of verbal fluency performance following focal cortical lesions. *Neuropsychology*, 18, 2, 284-295.
- Hillis, A., Caramazza, A. (1995). Representation of grammatical categories of words in the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 3, 396-406.
- Hirshorn, E., Thompson-Schill, S. (2006). Role of the left inferior frontal gyrus in covert word retrieval: Neural correlates of switching during verbal fluency. *Neuropsychologia*, 44, 2547-2557.
- Jodzio, K. (2006). Neuropoznawcze korelaty spadku fluencji słownej po udarze prawej półkuli mózgu. *Studia Psychologiczne*, 44, 25-42.

- Katzev, M., Tuscher, O., Hennig, J., Weiller, C., Kaller, Ch. (2013). Revisiting the functional specialization of IFG in phonological and semantic fluency: the crucial role of task demands and individual ability. *The Journal of Neuroscience*, 33 (18), 7837-7845.
- Kurcz, I. (2005). *Psychologia języka i komunikacji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Scholar.
- Leggio, M.G., Silveri, M., Petrosini, L., Molinari, M. (2000). Phonological grouping is specifically affected in cerebellar patients: a verbal fluency study. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 69, 102-106.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment* (wyd. III). Oxford: Oxford University Press.
- Marques, J., Canessa, N., Siri, S., Catricala, E., Cappa, S. (2008). Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Research*, 1194, 90-99.
- Meinzer, M., Wilser, L., Flaisch, T., Eulitz, C., Rockstroh, B., Conway, T., Rothi, L., Crosson, B. (2009). Neural signatures of semantic and phonemic fluency in young and old adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21 (10), 2007-2018.
- Milner, B. (1964). Some effects of frontal lobectomy in man. W: J.M. Warren, K. Akert (red.), *The frontal granular cortex and behaviour* (s. 313-334). New York: McGraw-Hill.
- Mion, M., Patterson, K., Acosta-Cabronero, J., Pengas, G., Izquierdo, D., Honh, Y., Fryer, T., Williams, G., Hodges, J., Nestor, P. (2010). What the left and right anterior fusiform gyri tell us about semantic memory. *Brain*, 133, 3256-3268.
- Mummery, C., Patterson, K., Hodges, J., Wise, R. (1996). Generating „tiger“ as an animal name of word beginning with T: differences in brain activation. *Proceedings of the Royal Society of London, B: Biological Sciences*, 263, 989-995.
- Noppeney, U. (2008). The neural systems of tool and action semantics: a perspective from functional imaging. *Journal of Physiology – Paris*, 102, 40-49.
- Pendleton, M., Heaton, R., Lehman, R., Hilihan, D. (1982). Diagnostic utility of the Thurstone word fluency test in neuropsychological evaluation. *Journal of Clinical Neuropsychology*, 4, 4, 307-317.
- Piskunowicz, M., Bieliński, M., Zgliński, A., Borkowska, A. (2013). Testy fluencji słownej – zastosowanie w diagnostyce neuropsychologicznej. *Psychiatria Polska*, XLVII, 3, 475-485.
- Price, C. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62 (2), 816-847.
- Pulvermüller, F. (2013). How neurons make meaning: brain mechanisms for embodied and abstract – symbolic semantics. *Trends in Cognitive Science*, 17, 9, 458-470.
- Ralph, M. (2014). Neurocognitive insights on conceptual knowledge and its breakdown. *Philosophical Transactions of Royal Society, B* 369: 20120392.
- Rende, B., Ramsberger, G., Miyake, A. (2002). Commonalities and differences in the working memory components underlying letter and category fluency tasks: a dual-task investigation. *Neuropsychologia*, 16 (3), 309-321.

- Robinson, G., Shallice, T., Bozzali, M., Cipolotti, C. (2012). The differing roles of the frontal cortex in fluency tests. *Brain*, 135, 2202-2214.
- Rogers, T., Hocking, J., Noppeney, U., Mechelli, A., Gorno-Tempini, M., Price, C. (2006). Anterior temporal cortex and semantic memory: reconciling findings from neuropsychology and functional imaging. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 6 (3), 201-213.
- Rosselli, M., Tappen, R., Williams, Ch., Salvatierra, J., Zoller, Y. (2009). Level of education and category fluency task among Spanish speaking elders: number of words, clustering, and switching strategies. *Aging, Neuropsychology, & Cognition*, 16, 721-744.
- Salvatierra, J., Rosselli, M., Acevedo, A., Duora, R. (2007). Verbal fluency in bilingual Spanish/English AD patients. *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias*, 2 (3), 190-201.
- Schlösser, R., Hutchinson, M., Joseffer, S., Rusinek, H., Saarimaki, A., Stevenson, J., Dewey, S., Brodie, J. (1998). Functional magnetic resonance imaging of human brain activity in a verbal fluency task. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 64, 492-498.
- Schmahmann, J. (2009). *Rola mózdzku w powstawaniu afektu i niektórych psychoz* (tłum. M. Harciarek). W: K. Jodzio (red.), *Neuropsychologia. Współczesne kierunki badań* (s. 135-163). Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Sitek, E., Konkel, A., Międzobrodzka, E., Sołtan, W., Barczak, A., Sławek, J. (2014). Kliniczne zastosowanie prób fluencji słownej w chorobie Huntingtona. *Hygeia Public Health*, 49 (2), 215-221.
- Stuss, D., Alexander, M., Hamer, L., Palumbo, C., Dempster, R., Binns, M., Levine, B., Izukawa, D. (1998). The effects of focal anterior and posterior brain lesions on verbal fluency. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, 265-278.
- Szatkowska, I., Grabowska, A., Szymańska, O. (2000). Phonological and semantic fluencies are mediated by different regions of the prefrontal cortex. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 60, 503-508.
- Szepietowska, E.M., Gawda, B. (2011). *Ścieżkami fluencji werbalnej*. Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Szepietowska, E.M., Gawda, B. (2014a). Mechanizmy neuronalne fluencji semantycznej na przykładzie kategorii *ożywione* i *niożywione*: badania z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego. *Psychologia – Etologia – Genetyka*, 30, 7-24.
- Szepietowska, E.M., Gawda, B. (2014b). Fluencja czasownikowa i rzeczownikowa: mechanizmy neuronalne – badania z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego. *Neuropsychiatria i Neuropsychologia*, 9, 3-4, 81-87.
- Szepietowska, E.M., Hasięc, T., Mikoś-Jańczyk, A. (2012). Fluencja słowna i niewerbalna w różnych stadiach i formach choroby Parkinsona. *Psychogeriatrya Polska*, 9 (4), 137-148.
- Talarowska, M., Zboralski, K., Gałęcki, Z. (2011). Wykonanie testu fluencji słownej przez chorych z depresją i organicznymi zaburzeniami depresyjnymi. *Current Problems of Psychiatry*, 12 (4), 397-403.

- Thames, A., Foley, J., Wright, M., Panos, S., Ettenhofer, M., Zamezani, A., Streiff, V., El-Saden, S., Goodwin, S., Bookheimer, S., Hinkin, Ch. (2012). Basal ganglia structures differentially contribute to verbal fluency: evidence from HIV-infected adults. *Neuropsychologia*, 50, 390-395.
- Troyer, A., Moscovitch, M., Winocur, G. (1997). Clustering and switching as two components of verbal fluency: evidence from younger and older healthy adults. *Neuropsychology*, 11, 138-146.
- Troyer, A., Moscovitch, M., Winocur, G., Alexander, M., Stuss, D. (1998). Clustering and switching on verbal fluency: the effects of focal frontal – and temporal-lobe lesions. *Neuropsychologia*, 36, 6, 499-504.
- Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., Mazoyer, B., Joliot, M. (2002). Automated Anatomical Labeling of activation in SPM using a Macroscopic Anatomical Parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *NeuroImage*, 15 (1), 273-289.
- Vonberg, I., Ehlen, F., Fromm, O., Klostermann, F. (2014). The absoluteness of semantic processing: lessons from the analysis of temporal clusters in phonemic verbal fluency. *PlosOne*, doi: 10.1371/journal.pone.0115846
- Wagner, S., Sebastian, A., Lieb, K., Tüscher, O., Tadić, A. (2014). A coordinate-based ALE functional MRI meta-analysis of brain activation during verbal fluency tasks in healthy control subjects. *BMC Neuroscience*, 15, 19, doi: 10.1186/1471-2202-15-19

Streszczenie. Zadania wymagające wymieniania słów z kategorii semantycznych (FS) i rozpoczynające się określoną głoską (FF) są często wykorzystywane w praktyce klinicznej. Na bazie badań neuroobrazowych i klinicznych przyjmuje się, że mają one inne podstawy neuronalne a w konsekwencji – różną wartość diagnostyczną. Wykonanie FS wskazuje na sprawność pamięci semantycznej, FF – funkcji wykonawczych. W badaniach własnych opisano i porównano aktywacje mózgowe towarzyszące wykonaniu 2 typów zadań (semantycznych: *zwierzęta*, *pojazdy* oraz fonetycznych: słowa z początkową głoską *k* i *f*). Badania zrealizowano w schemacie blokowym z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI). Uczestnikami były osoby zdrowe ($N = 35$). Wyniki wskazują na dyskretne różnice aktywacji mózgowej pomiędzy FS i FF. W realizacji FS jest zaangażowanych wiele okolic obu półkul, szczególnie bocznych i przyśrodkowych części płatów skroniowych oraz dolny zakręt czołowy (IFG – część trójkątna), natomiast w wykonaniu FF uczestniczy głównie część wieczkowa IFG, jądra podstawy oraz mózdzek. Dane te będą omawiane w odniesieniu do praktyki klinicznej.

Słowa kluczowe: mechanizmy neuronalne, fluencja semantyczna, fluencja fonemowa, fMRI

Data wpłynięcia: 2.02.2015

Data wpłynięcia po poprawkach: 20.01.2016

Data zatwierdzenia do druku: 21.01.2016