

Fluencja czasownikowa i rzeczownikowa: mechanizmy neuronalne – badania z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego

Verb and noun verbal fluency: neural mechanisms – functional magnetic resonance imaging study

Ewa Małgorzata Szepietowska¹, Barbara Gawda²

¹Zakład Psychologii Klinicznej i Neuropsychologii, Instytut Psychologii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

²Zakład Psychologii Emocji i Poznania, Instytut Psychologii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2014; 9, 3–4: 81–87

Adres do korespondencji:

dr hab. Ewa Małgorzata Szepietowska, prof. UMCS
Zakład Psychologii Klinicznej i Neuropsychologii
Instytut Psychologii
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
Plac Litewski 5, 20-080 Lublin
e-mail: goszepiet@poczta.onet.pl

Streszczenie

Wstęp: Klasyczne modele neuropsychologiczne i poznawcze zakładają odrębność neuronalną czasowników i rzeczowników.

Cel pracy: W badaniach własnych zweryfikowano tezę o odrębności mechanizmów neuronalnych dla fluencji słownej – czasownikowej i rzeczownikowej. Obserwowano aktywację mózgową (funkcjonalny rezonans magnetyczny; *functional magnetic resonance imaging* – fMRI) podczas podawania (cichego) pojęć z obu kategorii. Badania zrealizowano w schemacie blokowym z zastosowaniem fMRI. Uczestnikami były osoby zdrowe ($n = 35$).

Wyniki: Odnotowano różnice w lokalizacji i poziomie aktywności mózgowej. Przypominanie czasowników istotnie bardziej niż rzeczowników angażuje okolice skroniowo-potyliczne obu półkul.

Wnioski: Wyniki są zgodne z aktualnymi danymi. Czasowniki w większym stopniu niż rzeczowniki bazują na procesach percepcyjno-semantycznych.

Słowa kluczowe: fluencja słowna, kategorie gramatyczne, rzeczowniki, czasowniki, neuroobrazowanie.

Abstract

Introduction: Classical neuropsychological and cognitive models suggest distinct neural networks for verbs and nouns.

Aim of the study: Two verbal fluency tasks were used in our study to test the hypothesis of different neural mechanisms of verb and noun fluency. Brain activation (functional magnetic resonance – fMRI) was analyzed during task performances of both categories. Brain activation was measured with fMRI during a block schema of tasks in 35 healthy individuals.

Results: There were differences in localization and level of brain activation. Verbs involved more activation in the temporo-occipital areas in both hemispheres than nouns.

Conclusions: The results are consistent with current data. Verbs are more based on perceptual-semantic processes than nouns.

Key words: verbal fluency, grammatical categories, nouns, verbs, neuroimaging.

Wstęp

Oprócz klasycznych, tj. semantycznych i fonemicznych, zadań fluencji obecnie w badaniach klinicznych stosowana jest fluencja czasownikowa (*verb fluency*). W odróżnieniu od wymienionych wcześniej i narzucających konieczność aktualizacji rzeczowników w tym wypadku od osoby badanej wymaga się podawania czasowników (na hasło: co robi człowiek?). Dane pochodzące z klinicznych studiów przypadków i badań różnych grup klinicznych sugerowały istnienie

odrębnych sieci neuronalnych uczestniczących w generowaniu czasowników i rzeczowników. Ogniskowe uszkodzenie płatów czołowych i/lub ciemieniowych prowadzi do zakłóceń w generowaniu czasowników, a płata skroniowego – rzeczowników (Cappa i Perani 2002). Ilustrują to m.in. deficyty językowe ujawniane przez osoby z afazją: pacjenci z afazją Broca wywołaną przez patologię płata czołowego prezentują tzw. styl telegraficzny z charakterystyczną dominacją rzeczowników i brakiem lub ograniczeniem cza-

sowników, z kolei uszkodzenia tylnego obszaru powodują afazję, w których typ deficytów jest odwrotny (np. w wypowiedziach osób z afazją Wernickego dominują czasowniki). Badania z udziałem pacjentów z chorobą Parkinsona, Huntingtona czy osób z patologią płatów czołowych bez afazji ujawniły ich wyraźne trudności w generowaniu czasowników w porównaniu z rzeczownikami (Azambuja i wsp. 2007; Damasio i Tranel 1993; Piatt i wsp. 2004). Deficyty w aktualizacji czasowników wykazano także u osób z otępieniem czołowo-skroniowym (*frontotemporal dementia* – FTD), tj. z wariantem czołowym i niepłynną afazją postępującą (Cappa i wsp. 1998). Odwrotny wzorzec wykonania, tj. lepszą aktualizację czasowników niż rzeczowników, odnotowano u osób z uszkodzeniem tylnego obszaru mózgowia, także u pacjentów z otępieniem semantycznym w przebiegu FTD (Vigliocco i wsp. 2011). Dane te wskazują, że okolica czołowa lewej półkuli odgrywa kluczową rolę w generowaniu czasowników, i zadanie to uznano za bardziej czułe niż zadania wymagające aktualizacji rzeczowników w wykrywaniu patologii czołowo-prążkowiowej. Dane o odrębności czasowników i rzeczowników jako klas gramatycznych dokumentowały także analizy psycholingwistyczne i z zakresu psychologii rozwoju człowieka (Pulvermüller i wsp. 1999).

Zdaniem Goldberga (2014), jeśli rzeczowniki odzwierciedlają wiedzę deskryptywną (*co?*), to czasowniki prezentują preskryptywną (proceduralną), która powiązana jest z pytaniami: *jak zrobić? co robi? jak robił?* Dotyczy ona działań, jakie należy podjąć, oraz wspomnień o przebiegu działań. Stanowisko Goldberga odnosi się do omówionych powyżej tez, że te dwie klasy gramatyczne, czyli dwa typy wiedzy, mają częściowo odmienne mechanizmy neuronalne: deskryptywna jest regulowana przez tylne części kory mózgu, preskryptywna – przez korę przedczołową. Oznacza to, że w warunkach klinicznych niewłaściwe wykonanie zadań może mieć wartość różnicową.

Dane elektrofizjologiczne czy neuroobrazowanie czynnościowe nie zawsze potwierdzały odrębność neuronalnych mechanizmów generowania czasowników i rzeczowników, a wręcz wskazywały na ich podobieństwo (Martin i wsp. 1995; Warburton i wsp. 1996, Pulvermüller i wsp. 1999). Shapiro i wsp. (2005) potwierdzają, że podawanie czasowników koreluje z większą aktywnością płatów czołowych lewej półkuli, a rzeczowników – z obustronną aktywnością obszarów skroniowych, ale różnice są zbyt małe, by można było mówić o odrębności sieci neu-

ronalnych. Ardila i wsp. (2006) odnotowali, że obszary, które są aktywowane podczas generowania czasowników, obejmują okolice związane zwykle z przetwarzaniem rzeczowników, m.in. okolicę Wernicke’ego. Przetwarzanie czasowników aktywuje także wiele innych obszarów, np. w lewej półkuli – grzbietowoboczną korę czołową, górny zakręt ciemieniowy, środkowy zakręt skroniowy, czy okolice potyliczne (Bushell i Martin 1997). Tak rozległą aktywację Pinker (1989) tłumaczy faktem, że czasowniki są złożoną i niejednorodną kategorią gramatyczną. Te powiązane z akcją, czynnością mogą aktywować obszary mózgu zaangażowane m.in. w funkcje motoryczne (płaty czołowe), inne zaś mogą mieć także charakter abstrakcyjny powiązany z różnymi funkcjami psychologicznymi, realizowanymi z udziałem różnych pętli neuronalnych (Bushell i Martin 1997).

Materiał i metody

W badaniach własnych podjęto się analizy i porównania wzorców aktywacji mózgowej podczas generowania słów z dwóch kategorii gramatycznych: rzeczowników i czasowników. Celem jest weryfikacja tezy o odrębności mechanizmów neuronalnych fluencji czasownikowej i rzeczownikowej. W badaniach uczestniczyło 35 zdrowych osób w wieku 20–35 lat ($M_{\text{wiek}} = 25,8$, $SD = 4,3$). Warunkiem uczestnictwa w badaniach było wyrażenie pisemnej zgody oraz deklarowany brak obciążeń neurologicznych i psychiatrycznych (na podstawie wywiadu z osobami badanymi). Grupa była zrównoważona pod względem kompetencji językowych ocenianych podtestem Słownik WAIS-R. W fazie treningu badani mieli za zadanie podawać rzeczowniki (nazwy zwierząt), a następnie – czasowniki na hasło: *co robi człowiek?* – każde zadanie trwało 1 minutę (por. Szepietowska i Gawda 2011, 2013). Liczba czasowników ($M = 19,43$, $SD = 1,12$) była istotnie mniejsza niż rzeczowników ($M = 23,0$, $SD = 1,00$, $t = 3,26$, $df = 34$, $p = 0,003$).

Badania przeprowadzono w laboratorium rezonansu magnetycznego w Europejskim Centrum Zdrowia w Otwocku.

Akwizycja obrazów

Podczas sekwencji funkcjonalnej w schemacie blokowym badani ponownie wykonywali te same zadania (w formie cichej – w myślach) po wyświetleniu instrukcji prezentowanej na ekranie LCD (NordicNeuroLab InroomViewingDevice), znajdującym się z przodu, przed skanerem. Do cewki głowowej podłączony był system lu-

sterek, dzięki któremu ekran był widoczny dla osoby badanej leżącej w skanerze. Osobę badaną poinstruowano, aby podczas zadania fluencji wypowiadała w myślach słowa z danej kategorii, natomiast podczas wizualizacji „krzyżka” (warunek kontrolny) – nie wypowiadała w myślach słów. Badanie zaprojektowano przy użyciu programu PsychoPy. Sekwencje echa planarnego uzyskano za pomocą skanera 3T Achieva Philips Medical Systems, stosując 8-elementową cewkę SENSE do badań głowy (SENSE Head 8 Channel Coil). Standardowe T1- i T2-zależne obrazy anatomiczne oceniano w celu wykluczenia osób z uszkodzeniami mózgowia. Z grupy ochotników na tej podstawie wykluczono jedną osobę, do dalszych analiz wykorzystano dane pochodzące od 35 osób. Parametry sekwencji: T1 TFE o dużej rozdzielczości: TR = 7,51 ms, TE = 3,69 ms, FA = 8, FOV = 25, 6 × 25,6 cm, matryca = 256 × 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, echo planar*, FFE-EPI, TE = 30 ms, TR = 3000 ms, TA = 2:30 min, grubość warstwy = 3 mm, odstęp między warstwami = 0 mm, matryca = 96 × 96, FOV = 192 × 192 mm, liczba warstw = 45, SENSE factor 1.8, dynamics = 66). Zastosowano 7 identycznych sekwencji funkcjonalnych z różnymi stymulacjami (7 zadań płynności słownej). Do niniejszych analiz wybrano dwa zadania: zwierzęta i czasowniki. Każdy blok trwał 6 wolumenów, a każda seria – 66 wolumenów.

Przetwarzanie wstępne obrazów

Po transformacji z DICOM na format kompatybilny z Analityką, dane fMRI zostały przeanalizowane za pomocą pakietu SPM12b (*Statistical Parametric Mapping*). Przetwarzanie wstępne danych składało się z czterech kroków: 1) korekcja czasu akwizycji warstw, 2) korekcja ruchów w celu eliminacji artefaktów ruchowych – wszystkie obrazy zostały przestrzennie dopasowane do pierwszego obrazu z serii, badania z ruchem wynoszącym ponad 2 mm odrzucono (2/245 serii), wszystkie parametry przestrzennego dopasowania (*realignment*) zostały zapisane i następnie wykorzystane jako regresory w analizie za pomocą ogólnego modelu liniowego (*generalized linear model* – 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* (Van Dijk 2012), 3) normalizacja obrazów mózgu (anatomiczne obrazy T1-zależne korejestrowane z obrazami EPI) do przestrzeni MNI (standardowa przestrzeń zaproponowana przez *Montreal Neurological Institute*, rozmiar woksela 2 × 2 × 2 mm) w celu umożliwienia grupowych porównań między osobami badanymi, 4) zastosowanie filtrów wygładzających (maska gaussowska FWHM = 6 mm) w celu zmniejszenia morfologicznych różnic między osobami badanymi.

Analiza statystyczna obrazów

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

Wyniki

W tabeli 1. zamieszczono główne aktywacje (> warunek kontrolny) odnotowane podczas cichej aktualizacji czasowników i rzeczowników.

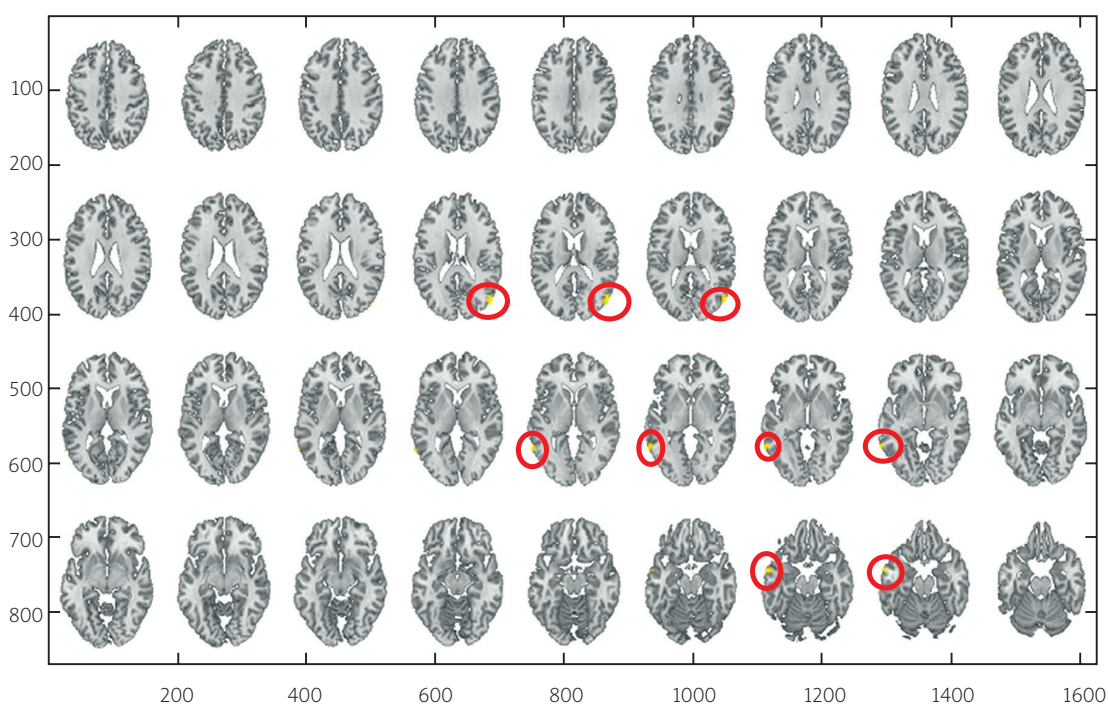
W tabeli 2. opisano obszary anatomiczne istotnie różniące się aktywacją w dwóch sytuacjach badania (istotne jedynie dla porównań czasowniki – rzeczowniki) (ryc. 1.).

Tabela 1. Główne aktywacje (> warunek kontrolny) dla rzeczowników i czasowników (FWE < 0,05)

Obszary anatomiczne/półkula	Liczba wokseli	Koordynaty x, y, z	Wartość t
Rzeczowniki vs warunek kontrolny			
dodatkowe pole ruchowe L	5512	-4, 12, 46	12,22
środkowa część zakrętu obręczy L (mACC/MCC)	1592	-4, 12, 44	11,87
dolny zakręt potyliczny L	2304	-28, -90, -10	11,07
wyspa L	2752	-30, 20, 4	10,78
dodatkowe pole ruchowe P	3072	8, 8, 54	10,43
środkowy zakręt potyliczny L	3568	-26, -96, 8	10,9
dolny zakręt czołowy (część oczodołowa L)	1208	-40, 20, -8	9,85
dolny zakręt potyliczny P	2408	38, -86, -12	9,85
dolny zakręt czołowy (część wieczkowa L)	1296	-44, 6, 30	9,22
zakręt przedśrodkowy L	17 740	-42, 4, 30	9,22
dolny zakręt czołowy (część trójkątna L)	2728	-46, 24, 22	8, 29
biegun płata skroniowego/górny zakręt skroniowy L	952	-54, 16, -8	11,00
dolny zakręt skroniowy L	1168	-54, -54, -20	8,27
skorupa L	1024	-22, 0, 6	9,06
zakręt językowy L	1312	-28, -90, -12	11,32
zakręt językowy P	944	36, -86, -16	8,03
mózdzek płacik VI P	3264	32, -68, -26	12,89
mózdzek płacik VIII P	2432	36, -66, -56	12,15
mózdzek płacik VIIb P	1488	38, -68, -54	10,72
Czasowniki vs warunek kontrolny			
dodatkowe pole ruchowe L	13 992	-6, 10, 50	12,24
środkowa część zakrętu obręczy L (mACC/MCC)	2384	-4, 16, 44	9,79
dolny zakręt potyliczny L	2424	-28, -96, -6	13,01
wyspa L	3896	-30, 20, 0	8,54
dodatkowe pole ruchowe P	7336	2, 6, 64	11,12
środkowy zakręt potyliczny L	3888	-28, -96, -6	12,79
dolny zakręt potyliczny P	2424	38, -90, -12	10,93
dolny zakręt czołowy (część oczodołowa L)	5312	-52, 20, -8	10,67
dolny zakręt czołowy (część wieczkowa L)	1968	-40, 4, 28	9,90
dolny zakręt czołowy (część trójkątna L)	11 296	-56, 22, 24	11,72
zakręt przedśrodkowy L	13 032	-48, 0, 50	10,09
środkowy zakręt czołowy L	8896	-46, 6, 54	10,63
górny zakręt czołowy L	6536	-12, 14, 48	10,42
górny zakręt skroniowy L	2168	-56, 16, -8	14,82
dolny zakręt skroniowy L	3392	-50, -52, -26	8,05
środkowy zakręt skroniowy L	9400	-52, -38, -4	9,78
skorupa L	1624	-18, 2, 12	10,83
skorupa R	1864	22, 16, 10	8,53
gałka błada L	1064	-18, 2, 6	10,01
jądro ogoniaste R	2280	20, 14, 12	8,83
zakręt językowy L	3552	-28, -94, -12	10,93
zakręt językowy P	2064	30, -96, -14	9,47
zakręt wrzecionowaty L	2376	-32, -92, -12	9,97
mózdzek płacik VI P	2344	34, -70, -24	9,96
mózdzek płacik VIII P	3016	30, -68, -58	11,64
mózdzek płacik VIIb P	1800	-30, -72, -54	10,47
konar mózdzku 1 L	11 984	-42, -68, -30	10,76
konar mózdzku 1 P	15 104	36, -66, 28	14,22
konar mózdzku 2 P	10 368	8, -80, 24	13,03
wzgórze L	3752	-6, 6, 6	9,54
bruzda ostrogowa L	2496	-4, -54, 4	7,64
bruzda ostrogowa R	2336	22, -98, -6	7,03

Tabela 2. Porównania aktywacji czasowniki – rzeczowniki (próg $t = 4,85$, FWE $< 0,05$)

Obszar anatomiczny/półkula	Liczba aktywnych wokseli	Koordynaty x, y, z	Wartość t
środkowy zakręt potyliczny P	64	52, -74, 18	5,3
środkowy zakręt skroniowy L	376	-60, 0, -18	5,4
środkowy zakręt skroniowy P	288	54, -70, 18	5,4
dolny zakręt skroniowy L	40	-59, -1, -15	5,4

Ryc. 1. Obszary bardziej aktywne podczas fluencji czasownikowej niż rzeczownikowej (zaznaczone kółkami) (próg $t = 4,85$, FWE $< 0,05$)

Omówienie

Podawaniu czasowników i rzeczowników towarzyszy aktywacja wielu okolic, głównie lewej półkuli mózgu, ale także prawej półkuli mózdzku. Biorąc pod uwagę te rezultaty, na podkreślenie zasługuje kilka kwestii. Jedną z nich jest udział mózdzku w procesach semantycznych, w tym w generowaniu czasowników, mocno akcentowany w badaniach klinicznych i osób zdrowych (Frings i wsp. 2006). Zaangażowanie prawej półkuli mózdzku jest przejawem tzw. skrzyżowanej lateralizacji oznaczającej dominację lewej półkuli mózgu i prawej półkuli mózdzku w przetwarzaniu bodźców językowych (Hu i wsp. 2008).

Pomimo podobieństwa polegającego na udziale licznych okolic w generowaniu czasowników i rzeczowników, wymienianiu czasowników towarzyszy istotnie wyższa aktywacja środkowego zakrętu skroniowego obu półkul, dolnego zakrętu skroniowego lewej półkuli oraz środkowego

zakrętu potylicznego półkuli prawej (obejmująca pola BA 18/19, 21, 37 i 39). Oznacza to, że – po pierwsze – czasowniki i rzeczowniki mają częściowo odrębne podstawy neuronalne (Shapiro i wsp. 2005). Po drugie, w porównaniu z rzeczownikami przypominanie czasowników powiązane jest z istotnie większym zaangażowaniem okolic skroniowych (skroniowo-potylicznych) obu półkul. Jest to zgodne z aktualnymi sugestiami. Wyodrębnia się kilka obszarów (głównie lewej półkuli) o istotnie większej aktywacji podczas generowania czasowników niż rzeczowników: korę przedczołową (dolny zakręt czołowy, *inferior frontal gyrus* – IFG), płacik ciemieniowy górny (lub w innych badaniach – okolice potyliczne) oraz górny (lub środkowy, *middle temporal gyrus* – MTG) zakręt skroniowy (Mestres-Misse i wsp. 2010; Perani i wsp. 1999; Kable i wsp. 2002; Peelen i wsp. 2012; Shapiro i wsp. 2006).

Dane uzyskane przez autorki także wskazują na wyraźny udział IFG i MTG w procesach

aktualizacji czasowników. Rolę IFG oraz środkowej części zakrętu obręczy (*medial anterior cingulate cortex* – mACC/MCC) autorzy wiążą z wysiłkiem poznawczym odzwierciedlającym większą złożoność morfologiczną czasowników niż rzeczowników wymagającą selekcji/kontroli podczas ich aktualizacji czy przełączania się pomiędzy podkategoriami czasowników.

Aktywność MTG może być powiązana z różnymi procesami odnoszonymi do ruchu odzwierciedlonego w czasownikach (opisujących stany psychiczne, ciała, zmiany itd.) (Hirshorn i Thompson-Schill 2006; Grossman i wsp. 2002; Martin i Chao 2001). Istnieje też inny pogląd, zgodnie z którym aktywacja MTG podczas przypominania zarówno rzeczowników, jak i czasowników jest przejawem ich wspólnego mechanizmu neuronalnego, gdyż i czasowniki (dotyczące ekspresji, percepcji czy sposobu ruchu), i niektóre rzeczowniki służą do opisu zdarzeń. Rzeczowniki mogą pełnić funkcję czasowników w tym znaczeniu, że są nośnikami informacji o czynnościach przy braku odpowiednika w postaci czasownika (np. nie ma odpowiednika w postaci czasownika dla rzeczownika *buragan*) (Bedny i wsp. 2014; Crescentini i wsp. 2010). Środkowy zakręt skroniowy w lewej półkuli może stanowić zatem pole konwergencji czasowników i rzeczowników, regulując czasową sekwencję opisu wydarzenia oraz relację obiekt – czynność – zdarzenie, albo przechowuje typowe wzorce zachowań motorycznych (Bedny i wsp. 2014; Vigliocco i wsp. 2011).

Autorki wykazały także, że oprócz okolic skroniowych w skład pętli zaangażowanej w przetwarzanie czasowników wchodzi okolice potyliczne, których udział w procesach semantycznych jest udokumentowany, z różnie rozumianą rolą (np. udział w uruchomieniu wzrokowo-wyobrażeniowych aspektów nazywanych obiektów, w uruchomieniu wyobrażenia ruchu) (Martin i Chao 2001). W metaanalizie badań Price i wsp. (2005) zauważają, że aktywacja okolic potylicznych może odzwierciedlać decyzje semantyczne, a nie tylko procesy wzrokowo-wyobrażeniowe (dane takie otrzymano z badań wykorzystujących bodźce fonologiczne, percepcyjne i po uwzględnieniu w badaniach neuroobrazowych warunków kontrolnych lub spoczynkowych).

Rozległa aktywacja odnotowana przez autorki przy generowaniu czasowników wyjaśniana jest ich cechami (Kemmerer i wsp. 2008; Bedny i wsp. 2013): te opisujące aktywność ruchową są regulowane przez korę przedruchową i pierwszorzędną korę ruchową, odzwierciedlające kontakt (z przedmiotem, osobą) są powiązane z aktywnością dolnego płacika ciemieniowego,

zmiany stanu aktywności – z przyśrodkową częścią płatów skroniowych, związane z analizą obiektu pod kątem ruchu – z bocznią częścią płatów skroniowych, zaś czasowniki opisujące użycie narzędzi angażują rozległą sieć skroniowo-czołowo-ciemieniową.

Sytuując wyniki powyższych badań wśród omówionych danych, należy podkreślić, że wykazano różnicę w aktywności pętli skroniowo-potylicznej – jest ona wyższa dla czasowników mimo podobieństwa cech pojęć z kategorii czasownikowej i kategorii zwierzęta (ruch). Odnosząc to do procesów psychologicznych, można przypuszczać, że czasowniki w większym stopniu niż rzeczowniki wymagają przetwarzania informacji o percepcyjnych i semantycznych aspektach czynności i że czasowniki są połączone *implicite* z rzeczownikami, co prowadzi do zaangażowania różnych części bocznej kory skroniowo-potylicznej (Kable i wsp. 2002). Kora ta, uznawana we wcześniejszych analizach za pośredniczącą w opracowywaniu rzeczowników, a obecnie wiązana z opracowywaniem czasowników, stanowi podstawę tworzenia relacji pomiędzy pojęciami na wielu różnych poziomach (w wymiarach konkretność – abstrakcyjność, aktywność – stan itd.), niezależnie od ich cech gramatycznych (Perani i wsp. 1999).

Wyniki uzyskane przez autorki, zgodne z innymi, wskazują na udział obu półkul mózgu w generowaniu rzeczowników i czasowników. Rola prawej półkuli może odzwierciedlać procesy wyobrażeniowe, uwagowe czy przetwarzania czasowników o abstrakcyjnym znaczeniu (Bird i wsp. 2000), a także procesy powiązane z nietypowością zadania, tj. wydobywanie czasowników (Goldberg 2014).

Ograniczenia opisywanych badań wiążą się m.in. z niewielką liczbą uczestników, dodatkowo reprezentujących jednolitą fazę rozwoju, tj. wczesną dorosłość, z brakiem kontroli cech przywoływanych pojęć, szczególnie w odniesieniu do czasowników (abstrakcyjne – konkretne, aktywne – bierne itd.) czy wreszcie z nieuwzględnieniem różnych wskaźników charakteryzujących wykonywanie zadań fluencji (np. przełączania się). Mimo tych ograniczeń są to pierwsze polskie badania skoncentrowane na analizie mechanizmów przypominania pojęć z odrębnych klas gramatycznych w zadaniach fluencji słownej. Ich wyniki mogą służyć w dyskusji czy wręcz reinterpretacji klinicznej wartości diagnostycznej fluencji rzeczownikowej i czasownikowej, szczególnie w akceptowanej dotychczas kwestii różnicowania dysfunkcji czołowo-prążkowiowej *versus* patologii tylnego obszaru mózgu.

Wnioski

Nie potwierdzono odrębności neuronalnej dla fluencji czasownikowej i rzeczownikowej – za obie odpowiadają częściowo podobne struktury mózgu i mózdzku. Jednak potwierdzono istnienie różnic w nasileniu aktywacji tychże struktur w czasie przetwarzania czasowników i rzeczowników. Fluencja czasownikowa wiąże się z rozleglejszą siecią aktywacji neuronalnej niż rzeczownikowa.

W porównaniu z rzeczownikami przypomnienie czasowników powiązane jest z istotnie większym zaangażowaniem pętli skroniowo-potylicznej obu półkul.

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

Piśmiennictwo

- Ardila A, Ostrosky-Soils F, Bernd B. Cognitive testing toward the future: the example of semantic verbal fluency (Animals). *Int J Psychol* 2006; 41: 324-332.
- Azambuja M, Haddad M, Radenowic M, Barbosa E, Mansur L. Semantic, phonological, and verb fluency in Huntington's disease. *Dement Neuropsychol* 2007; 1: 381-385.
- Bedny M, Dravida S, Saxe R. Shindings, brunches, and rodeos: the neural basis of event words. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2014; 14: 891-901.
- Bird H, Howard D, Franklin S. Why is a verb like an inanimate object? Grammatical category and semantic category deficits. *Brain Lang* 2000; 72: 246-309.
- Bushell CM, Martin A. Automatic semantic priming of nouns and verbs in patients with AD. *Neuropsychologia* 1997; 35: 1059-1067.
- Cappa SF, Binetti G, Pezzini A, et al. Object and action naming in Alzheimer's disease and fronto-temporal dementia. *Neurology* 1998; 50: 351-355.
- Cappa S, Perrani D. Nouns and verbs: neurological correlates of linguistic processing. *Riv Ling* 2002; 14: 73-83.
- Crescentini C, Shallice T, Macaluso E. Item retrieval and competition in noun and verb generation: an fMRI study. *J Cogn Neurosci* 2010; 22: 1140-1157.
- Damasio AR, Tranel D. Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proc Natl Acad Sci* 1993; 90: 4957-4960.
- Frings M, Dimitrova A, Schorn CF, et al. Cerebellar involvement of verb generation: an fMRI study. *Neurosci Lett* 2006; 409: 19-23.
- Goldberg E. Jak umysł rośnie w siłę, gdy mózg się starzeje. PWN, Warszawa 2014.
- Grossman M, Koenig P, DeVita C, et al. Neural representation of verb meaning: an fMRI study. *Hum Brain Mapp* 2002; 15: 124-134.
- Hirshorn EA, Thompson-Schill SL. Role of left frontal gyrus in covert word retrieval: neural correlates of switching during verbal fluency. *Neuropsychologia* 2006; 44: 2547-2557.
- Hu D, Shen H, Zhou Z. Functional asymmetry in the cerebellum: a brief review. *Cerebellum* 2008; 7: 303-313.
- Kable JW, Lease-Spellmeyer J, Chatterjee A. Neural substrates of action event knowledge. *J Cogn Neurosci* 2002; 15: 795-805.
- Kemmerer D, Castillo JG, Talavage T, et al. Neuroanatomical distribution of five semantic components of verbs: evidence from fMRI. *Brain Lang* 2008; 107: 16-43.
- Martin A, Chao LL. Semantic memory and the brain: structure and processes. *Curr Opin Neurobiol* 2001; 11: 194-201.
- Martin A, Haxby JV, Lalonde FM, et al. Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science* 1995; 270: 102-105.
- Mestres-Missé A, Rodriguez-Fornells A, Münte TF. Neural differences in the mapping of verb and noun concepts onto novel words. *NeuroImage* 2010; 49: 2826-2835.
- Peelen MV, Romagno D, Caramazza A. Independent representations of verbs and actions in left lateral temporal cortex. *J Cogn Neurosci* 2012; 24: 2096-2107.
- Perani D, Cappa SF, Schnur T, et al. The neural correlates of verbs and noun processing. A PET study. *Brain* 1999; 122: 2337-2344.
- Piatt AL, Fields JA, Paolo AM, Tröster AI. Action verbal fluency normative data for the elderly. *Brain Lang* 2004; 89: 580-583.
- Pinker S. *Learnability and cognition.*, Mass. MIT Press, Cambridge 1989.
- Price CJ, Devlin JT, Moore CJ, et al. Meta-analyses of object naming effect of baseline. *Hum Brain Mapp* 2005; 25: 70-82.
- Pulvermüller F, Lutzenberger W, Preissl H. Nouns and verbs in the intact brain: evidence from event-related potentials and high-frequency cortical responses. *Cereb Cortex* 1999; 9: 497-506.
- Shapiro KA, Moo LR, Caramazza A. Cortical signatures of noun and verb productions. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2006; 103: 1644-1649.
- Shapiro KA, Mottaghy FM, Schiller NO, et al. Dissociating neural correlates for nouns and verbs. *Neuroimage* 2005; 24: 1058-1067.
- Szepietowska EM, Gawda B. Ścieżkami fluencji słownej. Wydawnictwo UMCS, Lublin 2011.
- Szepietowska EM, Gawda B. Gramatyczne, semantyczne i afektywne cechy fluencji słownej: jakie czynniki determinują ich wykonanie? *Badania 302-osobowej grupy Polaków. Psychologia-Etologia-Genetyka* 2013; 28: 47-66.
- Tzourio-Mazoyer N, Landeau B, Papathanassiou D, et al. Automated anatomical labeling of activation in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage* 2002; 15: 273-289.
- Van Dijk KR, Sabuncu MR, Buckner RL. The influence of head motion on intrinsic functional connectivity MRI. *Neuroimage* 2012; 59: 431-438.
- Vigliocco G, Vinson DP, Druks J, et al. Nouns and verbs in the brain: a review of behavioural, electrophysiological, neuropsychological and imaging study. *Neurosci Biobehav Rev* 2011; 35: 407-426.
- Warburton E, Wise RJ, Price CJ, et al. Noun and verb retrieval by normal subjects. Studies with PET. *Brain* 1996; 119: 159-179.