

Wpływ uwagi na parametry potencjałów poznawczych rejestrowanych dla zdań naturalnych prezentowanych w modalności słuchowej

The influence of task demands on neurophysiological responses to spoken sentences

Andrzej Senderski¹, David L. McPherson², Krzysztof Kochanek¹, Henryk Skarżyński¹

¹ Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

² Brigham Young University, Provo, Utah, USA

Streszczenie

W pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie czy potencjał N400 odzwierciedla głównie automatyczne procesy odkodowywania znaczenia słów (dostęp semantyczny), czy jest także wyrazem, zależnych od uwagi procesów weryfikacji znaczenia słów z poprzedzającym je kontekstem (analiza postleksykalna). Potencjały poznawcze rejestrowano w grupie 30 anglojęzycznych dorosłych zdrowych osób z prawidłowym słuchem w warunkach uwagi biernej oraz uwagi czynnej, wymagającej oceny poprawności słyszanych zdań. Materiał słowny stanowiły zdania semantycznie poprawne oraz zdania semantycznie niepoprawne wyselekcjonowane z testu SPIN (ang. *Speech Perception in Noise*). Pomiar czasu reakcji wykazały, że w porównaniu do zdań semantycznie niepoprawnych statystycznie istotnie szybciej rozpoznawane są zdania, w których ostatnie słowo jest słowem pasującym do kontekstu. W obydwu warunkach uwagi zarejestrowano klasyczną falę N400. Stwierdzono, że większa amplituda fali N400 występuje dla zdań semantycznie niepoprawnych niż dla zdań poprawnych). Nie stwierdzono istotnych różnic w zmianach amplitudy potencjału N400 dla uwagi biernej i uwagi czynnej. Tym samym wykazano, że zaangażowanie świadomych procesów analizy znaczenia zdań nie powodowało wzrostu amplitudy potencjału N400. Wyniki niniejszej pracy wskazują, że potencjał N400 odzwierciedla głównie automatyczne procesy dostępu semantycznego i selekcji informacji prowadzące do odkodowania znaczenia słowa krytycznego. Oprócz komponentu N400 również późny komponent dodatni – LPC (ang. *late positive component*) był czuły na zawartość semantyczną prezentowanych zdań. W porównaniu z warunkami uwagi biernej obserwowano istotny wzrost zmian amplitudy potencjału LPC w warunkach uwagi czynnej, Oznacza to, że potencjał LPC może odzwierciedlać procesy postleksykalnej analizy i weryfikacji poprawności zdania pozostające pod kontrolą świadomości.

Słowa kluczowe: potencjał semantyczny N400, LPC, torowanie semantyczne, uwaga.

Summary

It is still a matter of debate, which level of language comprehension is reflected by N400 component of event related potentials: lexical or postlexical processing. The aim of this study was to evaluate the nature of N400 component by analyzing the influence of task demands on the N400 semantic priming effect. Event related potentials were recorded in thirty English speaking subjects in passive condition and active condition when subjects judged the semantic congruity of the sentences and classified them as semantically correct or not. Stimuli consisted of auditorily presented sentences – SPIN test.

In active condition, strong behavioral semantic priming was found for high constraint sentences. A previous finding that the auditory N400 component is sensitive to semantic congruity and cloze probability was replicated. The amplitude of N400 component was significantly larger for low constraint sentences with low cloze probability words comparing to high constraint sentences. In the active condition, when the task required deep semantic processing of the sentences, enhancement of the N400 priming effect, in relation to passive condition was not observed. These findings are consistent with the view that N400 component is dependent mainly on automatic, attention free processes of semantic access.

Second finding of this study was that a late positive component (LPC – late positive component) following N400 was modulated by semantic content of the sentences and also by attention. This suggests that LPC reflects some aspects of semantic processing related to controlled processes of postlexical semantic checking or integration.

Key words: semantic event related potential N400, LPC, semantic priming, attention.

Wprowadzenie i cel badań

Badania nad procesem rozumienia mowy z zastosowaniem potencjałów poznawczych zaczęły się dynamicznie rozwijać od roku 1980 kiedy to Kutas i Hillyard [1984] prezentując badanym osobom zdania na ekranie komputera, jako pierwsi zarejestrowali ujemny potencjał o latencji 400 ms, którego amplituda wahała się w zależności od znaczenia ostatniego słowa tych zdań. Słowa, których znaczenie nie pasowało do wcześniejszego kontekstu, wywoływały ujemną falę o latencji około 400 ms i rozlanej dystrybucji w okolicach centralnych i ciemieniowych. Natomiast słowa, które były logicznym uzupełnieniem wcześniejszego kontekstu, fali tej nie wywoływały. I tak np. po zdaniu „Zamieszaj kawę łyżeczką” nie rejestrowano fali N400, a po zdaniu „Zamieszaj kawę biurkiem” pojawiała się wyraźna fala N400. Potencjał wywołany występujący w przedziale czasu od 300 a 500 ms okazał się wrażliwy na zawartość semantyczną prezentowanego materiału językowego. Kutas i Hillyard interpretowali ten potencjał jako zakłócenie w procesie analizy zdań wywołane przez słowa nieoczekiwane w danym kontekście. Ogólnie przyjmuje się, że potencjał N400 jest elektrofizjologicznym wskaźnikiem procesu torowania semantycznego, który polega na przyspieszeniu rozpoznawania znaczeń słów, jeżeli są one poprzedzone słowami o bliskim znaczeniu [Meyer, Schwaneveldt 1971].

W dalszym ciągu otwartą kwestią pozostaje odpowiedź na pytanie o to, który z procesów zaangażowanych w powstawanie torowania semantycznego odzwierciedla potencjał N400: czy są to głównie automatyczne procesy zachodzące podczas aktywowania znaczenia słów w pamięci semantycznej, czy też świadome procesy integracji znaczenia słów z poprzedzającym je kontekstem, które zachodzą już po odkodowaniu znaczenia ostatniego słowa zdania. Do próby rozwiązania tego wykorzystano metodologię teorii poziomów przetwarzania (ang. *level of processing approach*) opisaną przez Craika i Lockharta [1972], oryginalnie stosowanej do badania pamięci krótkotrwałej. Wyniki badań pamięci krótkotrwałej z zastosowaniem powyższej metodologii wykazały, że lepiej zapamiętujemy słowa, które wcześniej musieliśmy analizować uwzględniając ich cechy semantyczne (tzw. głęboki poziom analizy) w porównaniu do słów, w których analizowane były tylko ich cechy wizualne bądź fonetyczne (tzw. płytki poziom analizy). Stosując to podejście można badać również zjawisko torowania semantycznego. Teoretycznie efekt torowania semantycznego powinien być większy w zadaniach wymagających głębokiej analizy semantycznej, a w zadaniach wymagających tylko płytkiego przetwarzania bodźców, jeżeli jest obecny, to wynika tylko z obligatoryjnie przebiegającego procesu rozprzestrzeniania się aktywacji (ang. *automatic spreading activation* – ASA). Zwiększenie efektu torowania semantycznego w zadaniach wymagających głębokiego przetwarzania bodźców wynika z włączenia się mechanizmu budowania oczekiwań oraz postleksykalnej świadomej weryfikacji znaczenia słów. Wyniki badań psychoakustycznych opartych na pomiarach czasów reakcji w pełni potwierdziły te przypuszczenia [DeGroot 1987, Smith (i in.) 1983].

Teorię poziomów przetwarzania stosowano także do określenia natury potencjału N400. W pracach wykorzystujących tę metodę oceniane są zmiany amplitudy fali N400 w paradygmatach, w których bodźce językowe są analizowa-

ne pod różnym kątem, poczynając od analizy cech fizycznych do głębokiej analizy semantycznej. Poprzez zmianę natężenia uwagi podczas rejestracji potencjału N400 i monitorowanie jej wpływu na amplitudę efektu N400 możemy oceniać, czy i w jakim stopniu procesy, które prowadzą do generowania tego potencjału, są zależne od uwagi. Poniżej przedstawiono przykładowe rodzaje zadań stawianych osobom badanym podczas rejestracji potencjału N400, uszeregowane w zależności od poziomu przetwarzania bodźców językowych, czyli w zależności od stopnia zaangażowania uwagi w analizę semantyczną (dla modalności wzrokowej i słuchowej).

Modalność wzrokowa:

- zadania, które nie wymagają analizy semantycznej (ocena kształtu, koloru lub wielkości słów, wykrzycie obecności w wyrazie krytycznym konkretnej litery, ocena poprawności ortograficznej wyrazu celowego);
- czytanie par słów lub zdań bez sprecyzowania zadania (poziom neutralny);
- zadania wymagające analizy semantycznej (określenie, czy prezentowany ciąg liter jest słowem, czy nie, ocena wyrazu pod względem przynależności do danej kategorii, zapamiętanie znaczenia wyrazów krytycznych, ocena poprawności prezentowanego materiału słownego).

Modalność słuchowa:

- zadania, które nie wymagają analizy semantycznej (ocena pod względem fonetycznym, np. wykrzycie obecności określonego fonemu w słowie krytycznym);
- bierne słuchanie materiału słownego (poziom neutralny);
- zadania wymagające analizy semantycznej (określenie, czy słowo krytyczne ma znaczenie, czy jest pseudosłowem, ocena wyrazu pod względem przynależności do danej kategorii, zapamiętanie znaczenia wyrazów celowych, ocena poprawności prezentowanego materiału słownego).

W dostępnej literaturze niewiele opublikowano do tej prac, w których oceniano wpływ uwagi na parametry potencjału N400 w modalności słuchowej jako materiału słownego używając zdań naturalnych (bez sztucznie wprowadzonej przerwy przed ostatnim słowem). Ponadto wyniki tych prac nie są jednoznaczne. Prace Connolly'ego [Connolly, Stewart 1990; Connolly, Philips 1992] wskazują, że potencjał N400 powstaje automatycznie, z kolei Hahne i Friederici [2002] stosując podobną metodologię, uzyskali wyniki, które dowodzą, że N400 jest zależna od procesów świadomych.

W badaniach stanowiących przedmiot niniejszej pracy podjęto próbę oceny wpływu uwagi na parametry potencjału N400. Rejestrację potencjałów wywołanych przeprowadzono w modalności słuchowej używając jako bodźców zdań naturalnych. Potencjał N400 rejestrowano w warunkach uwagi biernej, która nie wymagała analizy prezentowanych zdań, a także w warunkach uwagi czynnej, kiedy osoby badane podejmowały decyzję o poprawności semantycznej prezentowanych zdań. Projektując eksperyment założono, że w warunkach uwagi biernej działają procesy automatycznego rozprzestrzeniania się aktywacji oraz proces budowania oczekiwań, który przyjmuje się, że zachodzi obligatoryjnie w przypadku słuchania zdań. Natomiast w warunkach uwagi czynnej dodatkowo jest aktywny proces integracji postleksy-

kalnej, czyli weryfikacji stopnia dopasowania ostatniego słowa do poprzedzającego go kontekstu.

Zasadniczym celem pracy było zbadanie, czy zaangażowanie dodatkowych zasobów uwagi w analizę semantyczną słyszanych zdań spowoduje zwiększenie różnicy amplitud fali N400 dla zdań semantycznie poprawnych i niepoprawnych. Jeżeli takiego wzrostu różnicy amplitud fali N400 się nie zaobserwuje, będzie to wskazywało, że na powstawanie potencjału N400 nie wpływa mechanizm integracji postleksykalnej i potencjał ten odzwierciedla procesy dostępu semantycznego i selekcji semantycznej zachodzące podczas odkodowywania znaczenia słowa.

Materiał i metoda

Rejestracje potencjałów korowych przeprowadzono u trzydziestu osób o normalnym słuchu w wieku od 19 do 28 lat (2 mężczyzn i 28 kobiet). Wszystkie osoby badane były praworęczne, miały prawidłowe tympanogramy oraz próg słuchu przy stymulacji drogą powietrzną dla częstotliwości 250, 500, 1000, 2000 i 4000 Hz mniejszy lub równy 20 dB HL. Wszyscy badani byli studentami Brigham Young University w Provo w USA. Każdy z nich zapoznał się z warunkami przeprowadzenia badania i podpisał formularz świadomej zgody pacjenta.

Potencjały wywołane rejestrowano z 32 elektrod umieszczonych na skórze głowy w miejscach zgodnych z międzynarodowym systemem 10–20. Elektrody umieszczano na głowie, używając czepka do prowadzenia rejestracji EEG firmy Electrocap International. W celu monitorowania ruchów oczu i powiek, które są źródłem artefaktów, stosowano rejestrację bipolarną z elektrod umieszczonych nad i pod oczodołem oraz zewnętrznie od kącika lewego oka. Podczas procesu uśredniania próbki sygnału z artefaktami mięśniowymi były usuwane z zapisu. Impedancja elektrod nie przekraczała 5 k Ω . Sygnał EEG, przed zapisem na dysk komputera, wzmacniano 75 000 razy i filtrowano za pomocą analogowego filtra przepustowego (0,1–30 Hz) o nachyleniu zbocza 24 dB/okt. Na zapisie EEG na początku ostatniego słowa każdego zdania były umieszczane specjalne znaczniki pozwalające na późniejsze sortowanie i oddzielne uśrednianie odpowiedzi dla zdań semantycznie poprawnych (SP) i semantycznie niepoprawnych (SN). Czas analizy odpowiedzi wynosił 200 ms przed i 1500 ms po początku ostatniego (krytycznego) słowa prezentowanych zdań. Materiał słowny prezentowano przez słuchawki wewnętrzne typu ER-3A. Cały proces prezentacji materiału słownego, akwizycji i analizy danych prowadzono przy użyciu systemu do rejestracji EEG i potencjałów wywołanych „Neuroscan 32”.

Materiał językowy używany w badaniach pochodził z anglojęzycznego testu SPIN (ang. *Speech Perception in Noise*) z wersji dostępnej na płycie kompaktowej [Bilger (i in.) 1984]. Test SPIN zawiera osiem zestawów zdań. W każdym zestawie znajduje się 25 zdań o ścisłym kontekście, dopuszczającym tylko kilka słów do umieszczenia jako ostatnie słowo, oraz 25 zdań o luźnym kontekście pozwalającym na użycie wielu możliwych słów końcowych. Zdania o ścisłym kontekście zawsze kończą się słowem, które bardzo dobrze pasuje do poprzedzającego go kontekstu (zdania semantycznie poprawne – SP), natomiast zdania o neutralnym kontekście kończyły się słowem nie pasującym do

wcześniejszego kontekstu (zdania semantycznie niepoprawne – SN).

Z testu SPIN wyselekcjonowano 10 zdań semantycznie poprawnych i 10 zdań semantycznie niepoprawnych, które następnie zebrano w dwa zestawy zawierające po 5 zdań SP i 5 zdań SN każdy. Wyselekcjonowane zdania liczyły od 5 do 7 słów (średnio 5,85). Ostatnie słowa wybranych zdań miały od 2 do 4 fonemów (średnio 3) (tab. 1.)

Wyselekcjonowane zdania zostały następnie poddane normalizacji poziomu głośności za pomocą programu Sound Forge®.

Tab. 1. Materiał słowny wyselekcjonowany z testu SPIN używany w niniejszej pracy (SP – zdania semantycznie poprawne; SN – zdania semantycznie niepoprawne)

Nazwa pliku	Czas trwania [ms]		Zdanie	Typ zdania
Zestaw 1				
SA-01	1401	1.	The baby slept in his crib.	SP
SA-02	2037	2.	The ducks swam around the pond.	SP
SA-03	2083	3.	This nozzle sprays a fine mist.	SP
SA-04	1639	4.	The flood took a heavy toll.	SP
SA-05	1514	5.	The policeman captured the crook.	SP
SI-01	1669	6.	Miss Black thought about the lap.	SN
SI-02	1438	7.	She has known about the drug.	SN
SI-03	1906	8.	I want to speak about the crash.	SN
SI-04	1720	9.	The man should discuss the ox.	SN
SI-05	1855	10.	Ruth could have discussed the wits.	SN
Zestaw 2				
SA-06	1453	11.	The farmer baled the hay.	SP
SA-07	1825	12.	Stir your coffee with a spoon.	SP
SA-08	1380	13.	Hold the baby on your lap.	SP
SA-09	1966	14.	The beer drinkers raised their mugs.	SP
SA-10	1762	15.	The rude remark made her blush.	SP
SI-06	1643	16.	We have discussed the steam	SN
SI-07	1763	17.	He has problem with the oath.	SN
SI-08	1725	18.	He would think about the rag.	SN
SI-09	1700	19.	Bill might discuss the foam.	SN
SI-10	1498	20.	He should know about the hut.	SN

Osoba badana siedziała podczas eksperymentu w wygodnym fotelu w kabinie audiometrycznej. Słuchowe potencjały poznawcze rejestrowano, używając zmodyfikowanej procedury „odball”. Podczas trwającej około 90 minut sesji u każdego badanego wykonywano cztery zapisy słuchowych potencjałów korowych, dwie rejestracje w warunkach uwagi czynnej (C1 i C2) oraz dwie rejestracje w warunkach uwagi biernej (B1 i B2). Do prowadzenia rejestracji C1 i B1 używano zestawu zdań nr 1, a do rejestracji C2 i B2 wykorzystywano zestaw zdań nr 2. W czasie każdej rejestracji osoba badana słyszała 80 zdań SP i 20 zdań SN (każde zdanie typu SP było powtarzane średnio 16 razy, a każde zdanie typu SN – 4 razy). Zarówno kolejność poszczególnych rejestracji, jak i kolejność zdań podczas rejestracji były randomizowane. Interwał między początkiem kolejnych zdań (*Stimulus Onset Asynchrony* – SOA) wynosił 4 sekundy. Między poszczególnymi rejestracjami pacjent miał zapewnione 5-minutowe przerwy. W warunkach uwagi czynnej (podczas rejestracji C1 i C2) równoległe z rejestracją EEG mierzono

czas reakcji osób badanych, które następnie skorygowano aby odzwierciedlały pomiar od początku ostatniego słowa zdania.

Warunki uwagi biernej uzyskiwano, czytając badanemu następującą instrukcję: „Będziesz słyszał/a zdania, słuchaj ich uważnie”

Warunki uwagi czynnej uzyskiwano czytając badanemu następującą instrukcję: „Będziesz słyszał/a zdania, słuchaj ich uważnie. Jeżeli ostatnie słowo jest słowem, którego mógłbyś/mogłabyś sam użyć w tym zdaniu, naciśnij przycisk 1 a jeżeli ostatnie słowo jest słowem, którego byś nie użył/a w tym zdaniu, naciśnij przycisk 4”.

Nieprzetworzone dane uzyskane od każdego badanego obejmowały cztery ciągle zapisy EEG (dwa zapisy zarejestrowane w warunkach uwagi czynnej i dwa w warunkach uwagi biernej). W celu oczyszczenia zapisów z artefaktów generowanych przez niewielkie ruchy gałek ocznych obliczono wagi między zapisami EEG w poszczególnych kanałach a zapisem elektrookulogramu (EOG). Następnie od zapisów EEG odjęto ważony zapis EOG. Kolejnym krokiem było wyselekcjonowanie z ciągłego zapisu EEG fragmentów zawierających odpowiedzi wywołane (200 ms przed i 1500 ms po początku ostatniego słowa zdań). Następnie oddzielnie uśredniono fragmenty EEG zarejestrowanych po prezentacji zdań SP i SN. Jako komponent N400 określano falę o polaryzacji ujemnej i latencji od 300 do 600 ms. Jako późny komponent dodatni (LPC) określano falę o polaryzacji dodatniej i latencji od 600 do 1300 ms.

Każda osoba badana w warunkach uwagi czynnej klasyfikowała słyszane zdania zgodnie z instrukcją. Czas reakcji był automatycznie mierzony jako czas od początku zdania do momentu naciśnięcia jednego z dwóch przycisków (1 lub 4). Analiza danych obejmowała pogrupowanie czasu reakcji według zestawu zdań (C1 lub C2), typu zdań (SP lub SN) oraz dodatkowo według poprawności odpowiedzi.

Wyniki

Dane behawioralne (czas reakcji)

Dla odpowiedzi prawidłowych średni czas reakcji dla zdań semantycznie niepoprawnych był dłuższy niż dla zdań semantycznie poprawnych i wynosił odpowiednio 2,23 s i 2,07 s dla pierwszego zestawu zdań oraz 2,19 i 1,97 s dla drugiego zestawu zdań. W pierwszym i drugim zestawie zdań zarejestrowano odpowiednio 12 i 8 % błędnych odpowiedzi. Obserwowano klasyczne zjawisko szybszej analizy znaczenia słowa, jeżeli należy ono do grupy słów oczekiwanych w danym kontekście, czyli torowanie semantyczne (ang. *semantic priming*).

Efekt torowania semantycznego był statystycznie istotny dla odpowiedzi poprawnych dla pierwszego i drugiego zesta-

wu zdań i wynosił odpowiednio: 130 ms ($p=0,000$) oraz 200 ms ($p=0,000$).

Dane elektrofizjologiczne

Z analizy danych elektrofizjologicznych wykluczono zapisy wykonane u pacjentów nr 14, 16, 17 i 18, ponieważ zła jakość zapisów EEG uniemożliwiła ocenę występowania poszczególnych fal w rejestracjach. Rozkład amplitud fal N400 i LPC na powierzchni głowy oceniono wizualnie.

W warunkach uwagi biernej fala N400 dla zdań SN miała największą amplitudę dla elektrody FZ (-2,43 μV). Również różnica amplitud fali N400 między odpowiedziami dla zdań SP i SN była największa dla elektrody FZ (1,42 μV).

W warunkach uwagi czynnej fala N400 dla zdań SN miała największą amplitudę dla elektrody FCZ (-2,10 μV). Natomiast różnica amplitud fali N400 między odpowiedziami dla zdań SP i SN była największa dla elektrody PZ (0,96 μV). Do dalszej analizy statystycznej wybrano rejestracje z elektrody FZ dla warunków uwagi biernej oraz z elektrody PZ dla warunków uwagi czynnej.

W warunkach uwagi biernej fala LPC dla zdań SN miała największą amplitudę dla elektrody PZ (1,35 μV). Również różnica amplitud fali N400 między odpowiedziami dla zdań SP i SN była największa dla elektrody PZ (1,30 μV).

W warunkach uwagi czynnej fala LPC dla zdań SN miała największą amplitudę dla elektrody PZ (2,08 μV). Również różnica amplitud fali N400 między odpowiedziami dla zdań SP i SN była największa dla elektrody PZ (2,15 μV). Do dalszej analizy statystycznej parametrów fali LPC rejestrowanej w warunkach uwagi biernej oraz czynnej wybrano rejestracje z elektrody PZ.

Rysunki 1 i 2 przedstawiają uśrednione przebiegi, dla których przeprowadzono analizę rozkładu amplitud fal N400 i LPC na powierzchni głowy. Na rysunkach przedstawiono zapisy z elektrod FZ, CZ, PZ, T3 i T4.

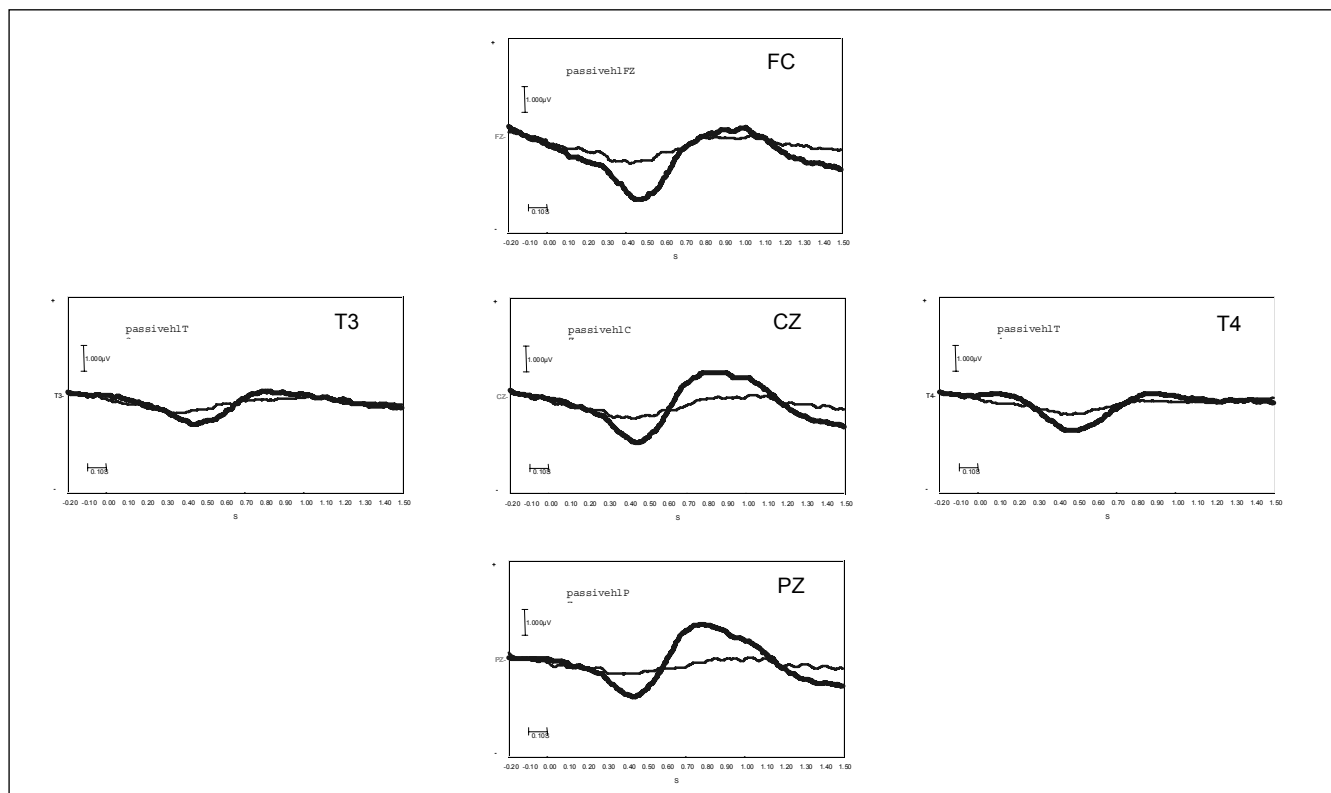
W warunkach uwagi biernej średnia różnica amplitudy fali N400 dla zdań SP i SN wyniosła -2,40 μV ($p=0,000$) dla pierwszego zestawu zdań i -1,89 μV ($p=0,000$) dla drugiego zestawu zdań. W warunkach uwagi czynnej średnia różnica amplitudy fali N400 dla zdań SP i SN wyniosła -1,95 μV ($p=0,000$) dla pierwszego zestawu zdań i -0,80 μV ($p=0,021$) dla drugiego zestawu zdań. (tabela 4)

W warunkach uwagi biernej latencje fali N400 dla zdań SN i SP nie różniły się istotnie statystycznie. W warunkach uwagi czynnej latencja fali N400 była krótsza dla zdań SN niż dla zdań SP. Różnica latencji -51ms dla pierwszego zestawu zdań ($p=0,045$) i -59 ms dla drugiego zestawu zdań ($p=0,002$).

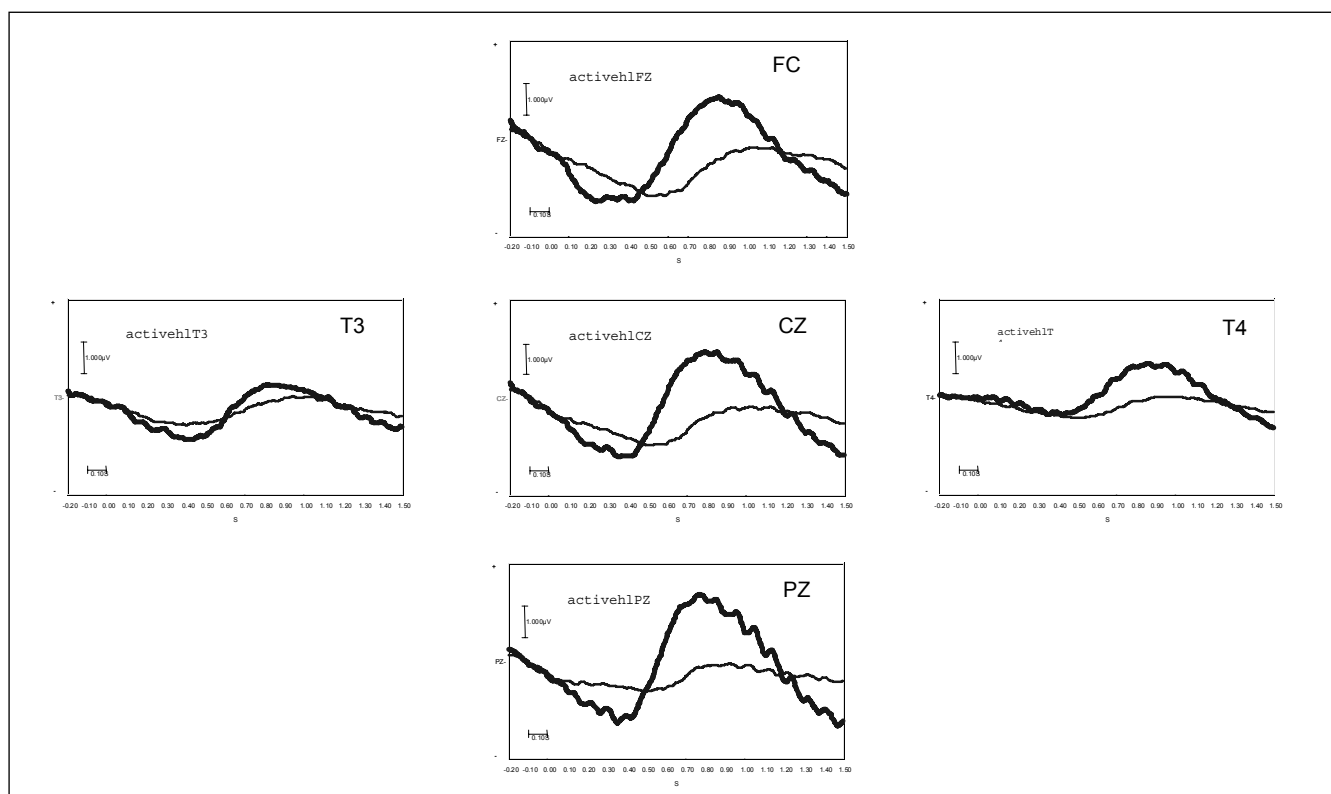
W większości indywidualnych zapisów obserwowano późną falę o polaryzacji dodatniej widoczną po fali N400. Późna fala była widoczna zarówno w zapisach dla zdań SP,

Tab. 2. Amplituda fali N400 (w μV) zarejestrowana w warunkach uwagi biernej i czynnej dla zdań semantycznie poprawnych (SP) i niepoprawnych (SN) w dwóch kolejnych sesjach (dla dwóch zestawów zdań)

Nr sesji	Warunki uwagi	Typ zdania	N	Wartość średnia [μV]	OS	Zakres
Sesja 1 (zestaw zdań nr 1)	Warunki uwagi biernej (FZ)	SP	24	-1,40	1,35	-3,09 do 0,53
		SN	24	-3,80	3,04	-11,2 do -0,19
	Warunki uwagi czynnej (FZ)	SP	22	-1,49	1,24	-4,01 do 0,18
		SN	21	-3,51	3,12	-11,3 do -0,78
Sesja 2 (zestaw zdań nr 2)	Warunki uwagi biernej (FZ)	SP	22	-1,38	1,33	-3,74 do 0,14
		SN	22	-3,27	3,18	-10,72 do 0,05
	Warunki uwagi czynnej (FZ)	SP	24	-1,46	1,24	-3,72 do 0,89
		SN	24	-2,26	2,61	-10,40 do 0,30



Rys. 1. Zapisy uśrednionych rejestracji potencjałów od wybranych 25 badanych osób dla elektrod FZ, CZ, PZ T3 i T4 uzyskanych w warunkach uwagi biernej (B1+B2). Linia pogrubiona oznacza odpowiedź dla zdań SN, linia cienka oznacza odpowiedź uzyskaną dla zdań SP



Rys. 2. Zapisy uśrednionych rejestracji potencjałów od wybranych 25 badanych osób dla elektrod FZ, CZ, PZ T3 i T4 uzyskanych w warunkach uwagi czynnej (C1+C2). Linia pogrubiona oznacza odpowiedź dla zdań SN, linia cienka oznacza odpowiedź uzyskaną dla zdań SP

Tab. 3. Latencja fali N400 (w ms) zarejestrowana w warunkach uwagi biernej i czynnej dla zdań semantycznie poprawnych (SP) i niepoprawnych (SN) w dwóch kolejnych sesjach (dla dwóch zestawów zdań)

Nr sesji	Warunki uwagi	Typ zdania	N	Wartość średnia [ms]	OS	Zakres
Sesja 1 (zestaw zdań nr 1)	Warunki uwagi biernej (FZ)	SP	24	467	77	336 do 585
		SN	24	478	76	307 do 570
	Warunki uwagi czynnej (FZ)	SP	21	480	71	307 do 576
		SN	21	432	72	317 do 549
Sesja 2 (zestaw zdań nr 2)	Warunki uwagi biernej (FZ)	SP	21	437	80	312 do 578
		SN	22	450	54	310 do 539
	Warunki uwagi czynnej (FZ)	SP	22	452	80	345 do 594
		SN	24	397	61	305 do 491

Tab. 4. Testy T-studenta średnich różnic amplitud fali N400 między zapisami dla zdań SN i SP w warunkach uwagi czynnej i uwagi biernej

	Warunki uwagi	N	Różnica amplitud [μ V]	SD	Zakres różnic	T	P
Pierwszy zestaw zdań	Uwaga bierna	24	-2,40	2,32	-8,11 do 0,96	-4,82	0,000
	Uwaga czynna	21	-1,95	2,55	-7,61 do 1,42	-4,12	0,000
Drugi zestaw zdań	Uwaga bierna	22	-1,89	2,51	-6,98 do 0,82	-3,93	0,000
	Uwaga czynna	24	-0,80	2,58	-9,13 do 1,84	-2,16	0,021

Tab. 5. Amplitudy fali LPC (w μ V) zarejestrowane w warunkach uwagi biernej i czynnej dla zdań semantycznie poprawnych (SP) i niepoprawnych (SN) w dwóch kolejnych sesjach (dla dwóch zestawów zdań)

Nr sesji	Uwaga	Typ zdania	N	Wartość średnia [μ V]	SD	Zakres [μ V]
Sesja 1 (zestaw zdań nr 1)	bierna	SP	24	0,38	0,66	-0,96 do 1,57
		SN	24	1,85	1,58	0,03 do 6,78
	czynna	SP	23	0,41	1,12	-1,01 do 3,36
		SN	24	3,17	2,46	-0,66 do 8,86
Sesja 2 (zestaw zdań nr 2)	bierna	SP	25	0,37	0,78	-1,7 do 1,65
		SN	25	2,35	1,71	-1,21 do 5,38
	czynna	SP	26	0,28	1,04	-1,34 do 3,25
		SN	24	2,73	1,66	-1,59 do 5,36

Tab. 6. Latencje fali LPC (w ms.) zarejestrowane w warunkach uwagi biernej i czynnej dla zdań semantycznie poprawnych (SP) i niepoprawnych (SN) w dwóch kolejnych sesjach (dla dwóch zestawów zdań)

Nr sesji	Uwaga	Typ zdania	N	Wartość średnia [ms]	SD	Zakres [ms]
Sesja 1 (zestaw zdań nr 1)	bierna	SP	23	1000	154	731 do 1275
		SN	24	886	129	658 do 1101
	czynna	SP	23	935	145	697 do 1205
		SN	24	898	139	714 do 1174
Sesja 2 (zestaw zdań nr 2)	bierna	SP	25	886	148	568 do 1090
		SN	25	797	114	613 do 1051
	czynna	SP	23	916	137	742 do 1236
		SN	24	827	135	692 do 1213

Tab. 7. Testy T-studenta średnich różnic amplitud fali LPC pomiędzy zapisami dla zdań SN i SP w warunkach uwagi czynnej i uwagi biernej

	Warunki uwagi	N	Różnica amplitud [μ V]	SD	Zakres różnic	T	P
Pierwszy zestaw zdań	bierna	23	1,53	1,81	-1,38 do 6,69	4,043	0,000
	czynna	23	2,63	2,34	-0,51 do 9,54	5,385	0,000
Drugi zestaw zdań	bierna	26	1,98	1,60	-1,42 do 5,48	5,219	0,000
	czynna	21	2,45	1,55	-0,70 do 6,08	6,523	0,000

jak i dla zdań SN w obu warunkach uwagi. Opisywaną falę uznano za tzw. późny komponent dodatni (ang. *Late Positive Component* – LPC). Fala LPC miała największą amplitudę w okolicy ciemieniowej (dla elektrody PZ) w warunkach uwagi biernej i uwagi czynnej. Indywidualne dane z elektrody PZ posłużyły jako materiał do dalszych analiz statystycznych. Statystyka opisowa amplitud i latencji fali LPC rejestrowanej dla zdań SN i SP w warunkach uwagi biernej i czynnej zawarta jest w tabelach 5 i 6.

W warunkach uwagi biernej i uwagi czynnej obserwowano większą amplitudę fali LPC dla zdań SN niż dla zdań SP. W warunkach uwagi biernej średnia różnica amplitudy fali N400 dla zdań SP i SN wyniosła 1,53 μ V ($p=0,000$) dla pierwszego zestawu zdań i 1,98 μ V ($p=0,000$) dla drugiego zestawu zdań. W warunkach uwagi czynnej średnia różnica amplitudy fali N400 dla zdań SP i SN wyniosła 2,63 μ V

($p=0,000$) dla pierwszego zestawu zdań i 2,45 μ V ($p=0,000$) dla drugiego zestawu zdań.

Obserwowana statystycznie istotna różnica amplitud fali LPC dla zdań SP i SN była większa w warunkach uwagi czynnej niż w warunkach uwagi biernej (o 72% dla pierwszego zestawu zdań i o 24% dla drugiego zestawu zdań – tabela 7).

W warunkach uwagi biernej latencja fali LPC była krótsza dla zdań SN niż dla zdań SP. Różnica latencji -109 ms dla pierwszego zestawu zdań ($p=0,006$) i -89 ms dla drugiego zestawu zdań ($p=0,012$). W warunkach uwagi czynnej latencje fali LPC dla zdań SN i SP nie różniły się statystycznie istotnie.

W warunkach uwagi biernej i uwagi czynnej zarejestrowano klasyczny elektrofizjologiczny wskaźnik torowania semantycznego (efekt N400). W warunkach uwagi biernej

efekt N400 miał maksymalną amplitudę w okolicy czołowej (dla elektrody FZ), natomiast w warunkach uwagi czynnej był największy w okolicy potylicznej (dla elektrody PZ).

Nie zaobserwowano spodziewanego wzrostu efektu N400 w warunkach uwagi czynnej, kiedy wymagana była świadoma analiza znaczenia prezentowanych zdań w porównaniu z warunkami uwagi biernej, gdy taka analiza nie była konieczna.

Efekt zmiany potencjału N400 w obydwu warunkach uwagi miał podobne wartości latencji: rozpoczynał się około 100 ms od początku ostatniego słowa (trwającego średnio około 400 ms), osiągał maksymalną amplitudę po około 400–450 ms i trwał do około 500–600 ms. W warunkach uwagi czynnej średnia latencja fali N400 była krótsza dla zdań SN niż dla zdań SP.

Zarówno w warunkach uwagi biernej, jak i uwagi czynnej po fali N400 występował późny komponent o polaryzacji dodatniej (ang. *late positive component* – LPC). Amplituda fali LPC była statystycznie większa dla zdań SN niż dla zdań SP w obydwu warunkach uwagi (LPC efekt). Wielkość efektu LPC, czyli wielkość różnicy amplitud fali LPC dla zdań SN i zdań SP, była większa w warunkach uwagi czynnej w porównaniu z warunkami uwagi biernej (o 72% dla pierwszego zestawu zdań i o 24% dla drugiego zestawu zdań). W warunkach uwagi biernej latencja fali LPC dla zdań SN była istotnie krótsza niż dla zdań SP.

Dyskusja

Badania behawioralne

Wyniki uzyskane w części eksperymentu opierającego się na pomiarze czasu reakcji osób badanych dla zdań semantycznie poprawnych i niepoprawnych potwierdzają występowanie znanego i udokumentowanego w literaturze zjawiska torowania semantycznego [Neely, Keefe 1989]. Znaczenie ostatniego słowa w zdaniu było odkodowywane znacznie szybciej wówczas gdy było to słowo oczekiwane, dobrze pasujące do kontekstu w porównaniu ze słowami, które do kontekstu nie pasowały. Dowodzi to właściwego doboru materiału do eksperymentu. Wielkość obserwowanego w niniejszej pracy efektu uprzedzania semantycznego (130 ms dla pierwszego zestawu zdań i 200 ms dla drugiego zestawu zdań) jest zgodna z wynikami innych badań [Neely 1977; Radeau (i in.) 1998]. Większy odsetek błędnych odpowiedzi uzyskanych w pierwszym zestawie zdań wskazuje, że materiał językowy zawarty w tym zestawie był trudniejszy do klasyfikacji, zgodnie z wymaganiami eksperymentu.

Badania elektrofizjologiczne

Uzyskane wyniki potwierdzają występowanie elektrofizjologicznego odzwierciedlenia efektu torowania semantycznego przy prezentacji zdań w modalności słuchowej [Holcomb, Neville 1990]. Podobnie jak w innych badaniach, w których materiałem były zdania wypowiedziane z naturalną szybkością, w niniejszej pracy nie obserwowano wcześniejszych komponentów potencjałów związanych ze zdarzeniem (fal N100 i P200) [Juottonen i in.) 1996; Hagoort (i in.) 2000]. Wynika to najprawdopodobniej z braku dostatecznie długiej przerwy przed początkiem ostatniego słowa zdań, co powoduje nakładanie się odpowiedzi pochodzących z poprzednich słów zdania na wczesne komponenty odpowiedzi genero-

wanej przez ostatnie słowo zdania. Wydłużenie przerw między słowami pozwala na rejestrację również fal N100 i P200 [McCallum (i in.) 1984]. W niniejszej pracy odchylenie standardowe amplitudy fali N400 było większe niż 50% średniej amplitudy fali N400. Ta stosunkowo duża zmienność międzyosobnicza amplitudy fali N400 jest charakterystyczną cechą fali N400 [McPherson 1996].

Głównym celem pracy było zbadanie, czy rejestracja efektu N400 w warunkach wymagających czynnej oceny poprawności zdań skutkuje wzrostem jego amplitudy. Wyniki wcześniejszych prac, w których rejestrowano N400 w modalności wzrokowej z użyciem par słów, wskazują, że amplituda fali N400 była większa w warunkach uwagi czynnej, gdy badane osoby analizowały znaczenie prezentowanych słów w porównaniu do bardziej „płytkich” zadań [Bentin (i in.) 1993; Chwilla (i in.) 1995]. Wyniki podobnych badań przeprowadzonych w modalności słuchowej z zastosowaniem zdań nie były już tak jednoznaczne. Obserwowano zarówno brak modulowania wielkości efektu N400 poprzez poziom uwagi [Connolly (i in.) 1990, 1992], jak również występowanie zależności amplitudy efektu N400 od rodzaju zadania [Hahne, Friederici 1999].

W badaniach będących przedmiotem niniejszej pracy nie obserwowano wzrostu wielkości efektu N400 w warunkach czynnej oceny zawartości semantycznej zdań w porównaniu do ich biernego słuchania. Wykazano, że dodatkowe świadome procesy analizy znaczenia zdań, które były aktywne w większym stopniu w warunkach uwagi czynnej w porównaniu z warunkami uwagi biernej, nie miały wpływu na amplitudę fali N400. Jeżeli na wielkość efektu N400 nie wpływają świadome mechanizmy integracji postleksykalnej, tym samym fala N400 odzwierciedla głównie procesy prowadzące do odkodowania znaczenia słowa krytycznego: procesy dostępu semantycznego i selekcji. Istnieją jednak modele zakładające, że analiza leksykalna i postleksykalna nie następują po sobie ale zachodzą równocześnie już od najwcześniejszych faz analizy słów [Coulson, Federmeier 2004].

Można również rozpatrywać falę N400 w innym aspekcie, jako odzwierciedlenie efektu torowania semantycznego obserwowanego podczas analizy pojedynczych słów. Rejestrowano bowiem identyczną falę N400 (o takiej samej topografii, amplitudzie i latencji) dla izolowanych par słów oraz dla tych samych słów zawartych w zdaniach [Kutas 1993]. Odnosząc wyniki uzyskane w niniejszej pracy do tego jakie mechanizmy tworzące efekt uprzedzania semantycznego odzwierciedla potencjał N400 można stwierdzić, że N400 jest markerem mechanizmu automatycznego rozprzeźnienia się aktywacji, nie odzwierciedla natomiast świadomego mechanizmu integracji postleksykalnej. Tę hipotezę potwierdzają również inne prace [Deacon (i in.) 2000; Kiefer, Spitzer 2002].

W niniejszej pracy oprócz komponentu N400 również późny komponent dodatni (LPC) był czuły na zawartość semantyczną zdań. Obserwowano również statystycznie istotny wzrost amplitudy potencjału LPC wraz ze wzrostem zaangażowania uwagi, co świadczy o tym, że potencjał ten odzwierciedla głównie procesy świadome. Również inni badacze rejestrujący potencjały wywołane dla anomalii semantycznych obserwowali współwystępowanie fali N400 i pojawiającej się później fali LPC [McCallum (i in.) 1984; O'Halloran (i in.) 1988; Revonsuo, Laine 1996]. Obserwowana w ni-

niejszej pracy oraz przez innych badaczy większa amplituda fali LPC dla zdań semantycznie nieprawidłowych niż dla zdań semantycznie poprawnych (efekt LPC) dowodzi, że potencjał ten jest czuły na zawartość semantyczną i może być związany ze zjawiskiem torowania semantycznego [Munte, Heize 1998]. Fakt, że potencjał LPC pojawia się później niż potencjał N400 – w czasie kiedy znaczenie słowa celowego dotarło już do świadomości – świadczy, że może on być markerem mechanizmu świadomego weryfikowania poprawności zdań, czyli integracji postleksykalnej [Duzel (i in.) 1997].

Również w niniejszej pracy fala LPC pojawiała się już po skończonej prezentacji słowa krytycznego. Średnia długość słowa krytycznego wynosiła 450 ms natomiast fala LPC zaczynała się pojawiać około 500 ms i osiągała swoje maksimum około 800 ms od początku słowa krytycznego. Dane z analizy latencji fali LPC pozwalają na postawienie hipotezy, że fala LPC rejestrowana w niniejszej pracy może być markerem integracji postleksykalnej, czyli procesów interpretacji znaczenia słowa celowego w odniesieniu do poprzedzającego go kontekstu. Kwestią otwartą, której wyniki niniejszej pracy nie wyjaśniają, pozostaje, czy jest ona wyrazem integracji uwzględniającej tylko aspekty semantyczne, tylko aspekty gramatyczne czy też te dwa aspekty. Większość badań wskazuje jednak na to, że fala LPC odzwierciedla całościową weryfikację zdania [Hahne, Friederici 2002; Jerger (i in.) 2000].

Nie jest ustalone czy LPC/P600 jest funkcjonalnie odmienna od klasycznej fali P300, czy też należy do rodziny P300 tyle, że ma dłuższą latencję. Coulson i wsp. [1998] argumentuje, że LPC w rzeczywistości jest falą P3b, komponentem z rodziny P300 wywoływanym przez rzadkie nieoczekiwane bodźce. Badania Osterhouta i Hagoorta [1999] oraz Smith'a [1993] wskazują, że fala P600 rejestrowana w odpowiedzi na anomalie syntaktyczne, jest co najmniej w niektórych aspektach różna od fali P300 rejestrowanej dla bodźców nieoczekiwanych. Również ostatnie badania, które wykazały, że w generacji fali P600/LPC – w odróżnieniu od fali P300 – biorą udział jądra podstawne, są dowodem na funkcjonalną separację fal P600/LPC i P300 [Frisch (i in.) 2003].

Ze względu, że w niniejszej pracy różna była częstość prezentacji zdań SP i SN, a czynnik ten ma kluczowe znaczenie dla wielkości amplitudy fali P300 nie można jednoznacznie określić, co powodowało, że amplituda fali LPC była większa dla zdań semantycznie niepoprawnych: czy wyłącznie zawartość semantyczna zdań, czy również fakt, że zdania semantycznie niepoprawne były nieoczekiwane, gdyż występowały pięć razy rzadziej niż zdania semantycznie poprawne. Należy jednak podkreślić, że inni badacze obserwowali większą amplitudę fali LPC dla zdań semantycznie nieprawidłowych również w sytuacji gdy prawdopodobieństwo prezentacji zdań semantycznie poprawnych i niepoprawnych było takie samo [Juottonen (i in.) 1996; Revonsuo, Laine 1996]. Wyniki te wskazują, że potencjał LPC zarejestrowany w niniejszej pracy jest również czuły na zawartość semantyczną zdań a nie jest tylko modulowany przez prawdopodobieństwo ich występowania.

Analiza latencji potencjału N400.

W badaniach będących przedmiotem niniejszej pracy aktywność N400 rozpoczynała się od około 100 ms w od-

niesieniu do początku słowa krytycznego. Relatywnie wczesny początek fali N400 jest charakterystyczny dla modalności słuchowej [Connolly (i in.) 1990; 1992, Hagoort i Brown 2000; Van Petten (i in.) 1999]. Recepcja całego słowa w modalności wzrokowej trwa kilkadziesiąt milisekund. W modalności słuchowej prezentacja słowa w całości trwa do kilkuset milisekund. Nie ma wątpliwości, że słowo może być rozpoznane i przekazane do dalszej analizy znacznie wcześniej w modalności wzrokowej. Mimo to początek zmian potencjału N400 w obu modalnościach jest podobny. W wielu pracach, w których rejestrowano falę N400 w modalności słuchowej miała ona postać dwóch oddzielnych ujemnych fal, podczas gdy w modalności wzrokowej zawsze była jednofazową falą o polaryzacji ujemnej [Hagoort i Brown 2000]. Wyniki uzyskane w niniejszej pracy potwierdzają wyłomnienie tego fenomenu proponowane przez Connolly'ego: „Podczas rozumienia mowy w modalności słuchowej istnieje dodatkowy początkowy proces analizy informacji akustycznej pod względem tego czy kolejno odkodowywane fonemy zgadzają się z początkowymi fonemami oczekiwanego lub oczekiwanych słów kończących zdanie” [Connolly, Phillips 1992].

Można przypuszczać, że fala N400 w modalności słuchowej zawiera wczesny komponent, odzwierciedlający analizę informacji już na poziomie fonologicznym, który może być znaną falą N200 lub też oddzielnym funkcjonalnie komponentem – Fonologicznym Potencjałem Niezgodności oraz późny komponent (N400), odzwierciedlający już wyłącznie procesy analizy semantycznej ostatniego słowa.

Koncepcję, że fala N400 składa się z kilku komponentów, potwierdzają badania prowadzone z zastosowaniem magnetoencefalografii (MEG). Rejestrowany jest wtedy tzw. kompleks N400 obejmujący cztery oddzielne subkomponenty, z których pierwsze dwa to markery procesów preleksykalnych (dostępu semantycznego) a dwa następne są wskaźnikami procesów postleksykalnych. Być może dlatego, przy zastosowaniu jedynie potencjałów wywołanych, tak trudno było wskazać pojedynczy proces, który odzwierciedla potencjał N400 [Halgren (i in.) 2002; Pyllkanen, Marantz 2003]. Uzyskanie dokładnej odpowiedzi na pytanie, czy potencjał N400 jest homogenny pod względem funkcjonalnym, czy też odzwierciedla kilka różnych procesów, wymaga dalszych badań porównawczych z zastosowaniem obu metod.

Obserwowana w niniejszej pracy prawidłowość, że elektrofizjologiczny wskaźnik efektu torowania semantycznego powstaje w trakcie prezentacji słowa krytycznego – zanim jego znaczenie zostanie odkodowane i uświadomione – sugeruje, że potencjał N400 rejestrowany w modalności słuchowej nie może odzwierciedlać wyłącznie procesów postleksykalnej analizy i weryfikacji.

Wnioski

1) Potencjał N400 rejestrowany w modalności słuchowej odzwierciedla automatyczne mechanizmy torowania semantycznego – automatyczne rozprzestrzenianie się aktywacji oraz mechanizm budowania oczekiwań na podstawie wcześniejszego kontekstu.

2) Potencjał LPC, podobnie jak potencjał N400, jest wskaźnikiem procesu analizy semantycznej słów w określonym kontekście.

3) Potencjał LPC może odzwierciedlać procesy post-leksykalnej analizy i weryfikacji poprawności zdania pozostające pod kontrolą świadomości.

Bibliografia

- Bentin S., Kutas M., Hillyard S. [1993]. Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing. „Psychophysiology” 30, 161–169.
- Bilger R., Nuetzel J. [1984]. Standardization of a test of speech perception in noise. „Journal of Speech and Hearing Research” 27, 32–48.
- Chwilla D., Brown C., Hagoort P. [1995]. The N400 as a function of the level of processing. „Psychophysiology” 32, 274–285.
- Connolly J., Stewart S. [1990]. The effects of processing requirements on neurophysiological responses to spoken sentences. „Brain and Language” 39, 302–18.
- Connolly J., Phillips N. [1992]. Even-related potential sensitivity to acoustic and semantic properties of terminal words in sentences. „Brain and Language” 43, 1–18.
- Coulson S., King J., Kutas M. [1998]. Expect the unexpected: Event related brain response to morphosyntactic violations. „Language and Cognitive Processes” 13, 21–58.
- Coulson S., Federmeier K. [2004]. Words in context: ERPs and the lexical/postlexical distinction. wersja HTML dostępna w internecie.
- Craik F., Lockhart R. [1972]. Levels of processing: A framework for memory research. „Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior” 11, 671–684.
- Deacon D., Hewitt S., Yang C., Nagata M. [2000]. Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. „Brain Research. Cognitive Brain Research” 9, 137–46.
- DeGroot A. [1987]. The priming of word associations: A levels of processing approach. „Quarterly Journal of Experimental Psychology” 39A, 253–280.
- Duzel E., Yonelinas A., Mangun, G., Heinze, H., Tulving E. [1997]. Event-related potential correlates of two states of conscious awareness in memory. „Proceedings of National Academy of Science USA” 94, 5973–5978.
- Frisch S., Kotz S., Cramon D., Friederici A. [2003]. Why the P600 is not just a P300: the role of basal ganglia. „Clinical Neurophysiology” 114, 336–340.
- Hagoort P., Brown C. [2000 a]. ERP effects of listening to speech: semantic ERP effects. „Neuropsychologia” 38, 1518–1530.
- Hahne A., Friederici A.D., [1999]. Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis: early automatic and late controlled processes. „Journal of Cognitive Neuroscience” 11, 194–205.
- Hahne A., Friederici A.D., [2002]. Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. Brain Research Cognitive. „Brain Research” 13, 339–356.
- Halgren E., Dhond R., Christensen N., Van Petten C., Marinkovic K., Lewine J., Dale A. [2002]. N400-like magnetoencephalography responses modulated by semantic context, word frequency, and lexical class in sentences. „Neuroimage” 17, 1101–1116.
- Holcomb P.J., Neville H. [1990]. Auditory and visual semantic priming in lexical decision – a comparison using event-related brain potentials. „Language and Cognitive Processes” 5, 281–312.
- Jerger J., Greenwald R., Wambacq I., Seipel A., Moncrieff D., [2000]. Toward a more ecologically valid measure of speech understanding in background noise. „Journal of American Academy of Audiology” 11, 273–282.
- Juottonen K., Revonsuo A., Lang H. [1996]. Dissimilar age influences on two ERP waveforms (LPC and N400) reflecting semantic context effect. „Cognitive Brain Research” 4, 99–107.
- Kiefer M., Spitzer R. [2002]. The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: further evidence for automatic spreading activation account of N400 priming effects. „Cognitive Brain Research” 13, 27–39.
- Kutas M., Hillyard S. [1984]. Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. „Nature” 307, 161–163.
- Kutas M. [1993]. In the company of other words: Electrophysiological evidence for single word and sentence context effects. Special Issue – Event related brain potentials in the study of language. „Language and Cognitive Processes” 8, 533–572.
- McCallum W., Farmer S., Pocock P. [1984]. The effects of physical and semantic incongruities on auditory event related potentials „Electroencephalography and Clinical Neurophysiology” 59, 477–488.
- McPherson D. [1996]. Late potentials of the auditory system. Singular Pub. Group. San Diego
- Meyer D., Schwaneveldt R. [1971]. Facilitation in recognizing pair of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. „Journal of Experimental Psychology” 90, 123–154.
- Munte T., Matzke M., Johannes S. [1997]. Brain activity associated with syntactic incongruities in words and pseudo-words. „Journal of Cognitive Neuroscience” 9, 318–329.
- Munte T., Heinze H. [1998]. Brain potentials and syntactic violations revisited: no evidence for specificity of the syntactic positive shift. „Neuropsychologia” 36(3), 217–26.
- Neely J. [1977]. Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-category attention. „Journal of Experimental Psychology” 106, 226–254.
- O'Halloran J., Isenhardt R., Sandaman C., Larkey L. [1988]. Brain responses to semantic anomaly in natural continuous speech. „International Journal of Psychophysiology” 6, 243–254.
- Osterhout [1999]. A superficial resemblance does not necessarily mean you are part of the family: counter-arguments to Coulson, King and Kutas (1998) in the P600/SPS/P300 debate. „Language and Cognitive Processes” 14, 1–14.
- Pylkkanen L., Marantz A. [2003]. Tracking the time course of word recognition with MEG. „Trends in Cognitive Science” 7, 187–189.
- Radeau M., Besson M., Fonteneau E., Castro S. [1998]. Semantic, repetition and rime priming between spoken words: behavioral and electrophysiological evidence. „Biological Psychology” 48, 183–204.
- Revonsuo A., Laine M. [1996]. Semantic processing without conscious understanding in a global aphasic: evidence from auditory event related brain potentials. „Cortex” 32, 29–48.
- Smith M., Theodor L., Franklin P. [1983]. The relationship between contextual facilitation and depth of processing. „Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition” 9, 697–712.
- Smith M. [1993]. Neurophysiological manifestations of recollective experience during recognition memory judgements. „Journal of Cognitive Neuroscience” 5, 1–13.
- Van Petten C., Coulson S., Rubin S., Plante E., Parks M. [1999]. Time course of word recognition and semantic integration in spoken language. „Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition” 25, 394–417.

Adres do korespondencji

Andrzej Senderski
Międzynarodowe Centrum Słuchu i Mowy
Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu
ul. Mokra 17, Kajetany
05-830 Nadarzyn
e-mail: a.senderski@ichs.pl

