

단음절 단어의 사건 관련 전위

민병경^{1,2}, 김명선^{2,3}, 윤탁³, 김재진^{2,3}, 권준수^{1,2,3,†}

¹서울대 인지과학 협동과정, ²서울대 신경과학연구소, ³서울대 의대 정신과학교실

Event-Related Potentials of a Monosyllabic Word

Byoung Kyong Min^{1,2}, Myung-Sun Kim^{2,3}, Tak Yoon³, Jae Jin Kim^{2,3}, Jun Soo Kwon^{1,2,3,†}

¹Interdisciplinary Program in Cognitive Science,

²Neuroscience Research Institute

³Department of Psychiatry, College of Medicine
Seoul National University, Seoul, 110-744, Korea

요약

본 실험은 종합적 인지 과정을 추론할 수 있는 결합 문제(binding problem)를 언어적 인지 과정을 통해 알아 본 실험으로, 총 10명(남:6/여:4, 평균 나이:24.40 ± 1.35)의 정상군을 대상으로, 4개의 음소로 이루어진 단음절 명사를 목표 자극(target stimulus)으로 하고, 4개 음소의 임의적인 조합으로서 글자를 이루지 못하는 비목표 자극(non-target stimulus)을, 각각 200회와 800회씩 시각적으로 0.5초씩 무작위로 제시하여 128채널 고밀도 사건관련전위(ERP)를 측정하였다. 이번 실험 결과의 주요 특징은 글자가 아닌 비목표 자극보다 글자인 목표 자극에서 두드러지게 나타난 두정엽 부근의 P500과 N900이라고 할 수 있다. 자극 제시 비율의 차이에서 오는 oddball 효과로 인한 기존 P300의 인지적 의미를 이번 결과의 P500이 함축한다고 볼 수 있으며, 단음절 단어를 인지할 때, 글자임을 인식하는 순간은 의미적 인지 과정이 진행되었다기보다 그 글자의 형태만으로 낯익은 글자인지를 분간하는 것으로 보인다. 따라서, 이 경우 기존 언어 실험에 자주 등장하던 의미론적 peak인 N400은 보이지 않고, 곧바로 형태적이고, 통사적(syntactic)인 인지 처리 과정인 P500이 나타났다고 해석할 수 있다. 하지만, 이번 실험에서는 N400 대신에 N900이 나타났다. 이 결과는 이번 ERP 실험과 병행된 프로토콜 분석을 통해, 피험자가 자극 제시 후, 약 900ms 정도에, 이미 제시되고 사라진 글자 자극을 다시 한번 떠올리는 인지 과정이 일어난다는 점과 관련 지어 해석하면, 기존에 의미적(semantic) 인지 과정으로만 해석했던 negative-peak를 생각(thinking)과 같은 내재적 인지 과정(internal cognitive process)으로 확장하여 일반화하는 추론도 생각해 볼 수 있다. 요컨대, 언어 인지를 통한 이번 실험을 통해, 뇌파에서 검출되는 negative-peak는 internal cognitive process로 추측되고, positive-peak는 external cognitive process라고 생각된다. 덧붙여, 유의해서 볼 점은 각 peak-topology에서 Cz의 진폭이 Fz보다 크게 나온 점과, 일반적으로 언어 기능을 담당한다는 좌측 측두엽(T7)이 우측(T8)보다 통계적으로 더 유의미한 차이를 보였다는 점 등이다.

1. 도입

본 실험은 종합적 인지 처리 과정을 이해할 수 있는 가장 근본적 주제인 ‘결합 문제(binding problem)’를 인지 과정의 핵심적 도구인 언어적 패러다임에서 살펴본 실험으로, 각각의 독립적인(언어적) 구성 요소들이 어떻게 서로 종합화 되어 또 하나의 다른 개념이 형성되는지를 살펴보는 데 본 실험의 목적이 있다.

이 ‘결합 문제’는 개개의 독립적인 사물을 하나로 종합화해서, 또 다른 새로운 개념(gestalt)으로 인식하게 되는 과정으로, 30~50Hz의 고주파 뇌파인 감마(gamma)파가 검출되는 고차원적인 인지 과정으로 알려져 있다. 기존의 결합 과정(binding process)에 대한 인지적 실험은 카니자의 사각형(Kanizsa's square)에서처럼 환영적(illusory)이고 조형적(figurative)인 단순 도형만으로 연구가 진행되어 왔으나[1], 이번 실험에서는 인지 과정에서 중추적 역할을 하는 ‘언어

† 교신 주소: 110-744 서울시 중로구 연건동 28 서울대 의대 정신과학교실 권준수 교수
kwonjs@neuroimage.snu.ac.kr / Tel: (02) 760-2972 / Fax: (02) 744-7241

어'에서의 살펴봄으로써, 고차적인 인지과정과 언어 처리 과정을 연계하여 알아 보고자 했다.

언어적 인지 과정에 관한 기존의 ERP 연구에서 가장 대표적인 요소(land-mark component)로는, 문맥상의 부적합한 단어가 등장했을 때(selectional restriction)에 나타나는 'N400' 과 문장 상에서 문법적인 오류(phrase structure processing)로 야기되는 'P600' 에 관한 분석이 대부분이었다[2,3]. 덧붙여, 조금 일관되지 않은 관찰 결과지만, 어구 구조의 문법적 위배에서 오는 ELAN(early left anterior negativity)도 언어의 ERP 에서 의미를 부여할 수 있는 요소로 보고 되기도 한다[4]. 하지만, 이러한 언어 실험에서의 ERP 요소들의 해석에 있어서, 그 신경 생리학적인 의미가 아직 불명확하다. 이렇듯, 인지 과정의 대표적 도구라고 할 수 있는 '언어'에 관한 신경 생리학적 연구는 아직 많은 부분이 탐구되어야 할 과제로 남아있다.

따라서, 본 실험에서는 그간의 문맥상에 등장하는 언어 자극 패러다임(violation paradigm in sentence-processing)과 달리, 순수하게 언어적 개념을 처음 깨닫는 순간을 포착하기 위해, 문장 속의 단어로 제시되지 않은, 단음절 명사 자체를 목표 자극으로 설정했다.

2. 연구 방법

2.1. 피험자

정신적 병력이 없고, 지능이 통제된, 남자 6 명과 여자 4 명으로 이루어진 총 10 명의 정상 피험자들이 자발적으로 실험에 참여하였다. 피험자 집단의 신분은 학생이 대부분이고, 평균 나이는 24.40 ± 1.35 세이며, 모두 오른손 잡이이다.

2.2. 자극

카니자의 사각형에서처럼 네 귀퉁이의 독립적 요소의 결합 과정을 상정하여, 4 개의 음소로 이루어진 단음절 명사를 실험의 목표자극으로 삼았다. 모든 글자의 핵심적 요소인 모음을 우상(右上)귀 위치에 고정시키고, 이를 중심으로 나머지 세개의 자음이 언어적인 조합을 이룰 때에만 단어(word)로 인식하게 되는 언어적 결합 자극을 만들었다(그림 1). 또한, 목표자극을 생성함에 있어서, 동사의 명사형을 배제하고, 한국

어에서 순수한 명사들만 모아서, 혹시 있을지 모를, 목표자극간의 통사적 성질 차이에 의한 혼란을 통제하여 자극의 효과를 단순화 시켰다. 이로써, '값 / 녀 / 씹 / 닭 / 샷 / 밖' 이라는 총 6 개의 목표자극을 무작위 제시 순서로 조합하여 이루어진 목표자극군(40 개의 목표자극)을 구성하고, 다른 한편으로는, 마찬가지로 우상귀에 글자의 핵심적 요소인 모음이 위치했지만, 나머지 3 개의 자음들은 무작위로 조합되어 단어로 인식되지 못하는 비목표자극 160 개의 무작위적인 제시 순서로서 이루어진 비목표자극군을 구성하여, 총 200 개의 자극으로 이루어진 하나의 실험 구역(block)을 설정하였다. 이와 같은 각각의 실험 구역을 총 다섯 개를 설정하여, 피험자에서 시각적으로 제시하는 실험을 실시했다.

또한, 가능한한 순수한 인지 과정에서 만의 뇌파를 수집하기 위한, 안구 운동(saccadic movement) 효과를 없애기 위해서, 단음절 단어로 실험을 구상했고, 나아가 이 단음절 단어도 자극의 상이 맺히는 크기를 망막의 중심와오목(fovea)의 크기 안에 맺힐 수 있도록, 자극의 시각(visual angle)을 2.37° (1m 거리에서 5x5cm 자극 크기)로 계획했다. 자극간의 잔상 효과로 인한, 다음 자극 반응의 종속 효과를 없애기 위해, 자극간 시간(ISI)를 2000ms 정도로 충분히 부여했고, 자극의 제시 시간은 500ms 였다.

(목표 자극의 예) (비목표 자극의 예)

그림 1. 자극의 예

2.3. 실험 및 분석 방법

피험자는 편안한 의자에 앉아서, 1m 앞에 위치한 모니터에서 시각적으로 제시되는 자극들에 따라, 단어로 인식되는 목표자극에서는 오른쪽 버튼을 누르고, 아무런 의미를 이루지 못하는 비목표자극에서는 왼쪽 버튼을 누르도록 지시받고 (자극에서의 운동 효과를 상호 상쇄를 위해 목표/비목표자극 모두에서 버튼을 누름), 또한 언어 내성 보고 자료(프로토콜)를 실험 결과 분석에 참고할 수 있도록, 네 번째 실험 구역(block)이 끝난 뒤의 소추보고(retrospective report)와 비보조 언어화(unaided verbalization)

의 방법으로 수집하였다.

모든 실험이 진행되는 동안에 피험자의 EEG 는 전기적 차폐 시설이 되어 있는 실험실에서 128 channel Quick-cap (Neuroscan, USA)을 통해 수집되고, Isotrak 3D-digitizer (Polhemus, USA)를 통해 공간 상에서 전극의 좌표도 기록해 놓는다. ERP 데이터의 sampling rate 은 1000Hz 로 하고, band-pass filter 의 대역은 0.05-100Hz 로 하였다. Epoch 은 자극전 100ms 를 baseline 으로 잡아, 자극후 1500ms 까지 설정했다. 또한, 수집된 sweep 의 진폭이 $\pm 100\mu V$ 을 초과할 경우 artifact-rejection 으로 유의미한 자료만을 선별했다. 수집된 ERP 자료들을 평균하여, 0.3~20Hz 사이로 filtering 하여 파형을 분석하였다.

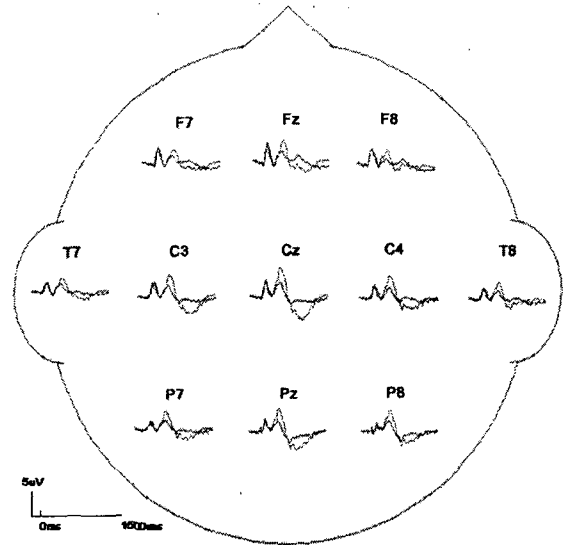


그림 2. 평균 ERP 파형
(적: 목표자극, 청: 비목표자극)

3. 결 과

피험자 모두의 ERP 파형을 평균한 자료인 [그림 2]에서 보여 주듯이, 글자인 목표자극과 글자가 아닌 비목표자극 간에 우선 P500 과 N900 에서 뚜렷한 차이를 보였다 (통계적 유의미성은 [표 1] 참조). 또한, 120ms 부근에서 Fz 와 Cz 는 음(-)의 진폭을 보이는 반면, Pz 는 목표자극과 비목표자극 간에 차이를 보이는 양(+)의 진폭이 증가를 시작한다. 그리고, 목표자극이든 비목표자극이든 관계없이 동일한 진폭의 P200 도 관찰되며, 330ms 근방에서는 Fz 의 전위는 음의 값을 갖는 반면에 Cz 와 Pz 는 양의 값을 갖는다. 덧붙여, 목표자극에서 P500 은 이미 450ms 근방에서 약간의 주춤하는 기미가 보이며, 두 개의 봉(peak)을 형성하듯 보이므로, P5a(~450ms)와 P5b(~500ms)로 구분할 수도 있다고 생각된다.

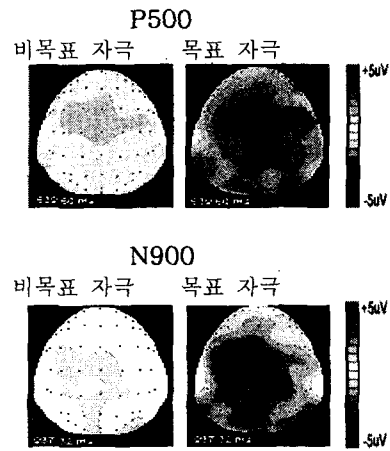


그림 3. P500 과 N900 에서의 topography

한편, [그림 3]은 P500 과 N900 에서의 뇌 전영역에서의 ERP 크기를 비교한 topography 이다. 두정엽 부근에서 목표 자극과 비목표 자극의 확실한 ERP 진폭 차이를 확인할 수 있다.

아래의 [표 1]에서는, P500 과 N900 의 전후 $\pm 100ms$ 에서의 ERP 면적을 Repeated Measures ANOVA 방법으로 통계 비교한 결과를 나타내 주고 있다. 관심이 있는 다섯 전극에서 모두 통계적으로 매우 유의미한 차이를 보여 주었다. 특히, Cz 에서 큰 차이를 보였고, 좌측

측두엽(T7)이 우측 측두엽(T8)보다 더욱 활성화되어 차이를 나타낸 점이 언어의 좌측 편재화

(left-lateralization)와 연관 있어 보인다.

표 1. P500 과 N900 에서의 ERP 통계 분석표

Site W Pea k	P500 (400~600ms)			N900 (800~1000ms)		
	Nontarget	Target	F(1,9)	Nontarget	Target	F(1,9)
Fz	203.38 ±107.06	489.44 ±107.75	37.78***	36.81 ±131.19	-349.17 ±176.56	22.95**
Cz	334.39 ±127.61	708.35 ±153.48	49.50***	-163.40 ±87.50	-713.01 ±171.03	24.39**
Pz	241.46 ±128.93	593.79 ±164.34	32.78***	-169.45 ±59.17	-582.49 ±86.57	40.98***
T7	173.81 ±67.27	340.30 ±79.91	25.88**	-57.46 ±61.58	-296.02 ±94.02	24.78**
T8	189.41 ±82.37	413.65 ±125.33	17.37**	-14.28 ±80.42	-191.55 ±106.44	14.06*

(Mean area ± M.S.E. by repeated measures ANOVA: * P=.005, ** P<.003, *** P<.001)

4. 토 의

카니자 사각형에서 알 수 있듯이, 각각의 독립적 요소들만의 순수한 합으로는 우리가 실제로 인식하는 새로운 개념이 형성되지 않는다. 즉, 전체는 부분의 합이 아니라는 게슈탈트(gestalt) 철학에서, 각각의 독립적인 구성 요소들이 어우러졌을 때는, 단순히 요소들이 지닌 의미의 합이 아닌, 새로운 의미가 형성된다는 개념이다. 이러한 원리를 우리의 주요 인지 도구인 '언어'에 적용시켜 그 의미를 살펴 보고자 한 것이 이번 연구의 목적이다. 즉, /ㄱ/, /ㅏ/, /ㅓ/, /ㅗ/, /ㅛ/과 같은 각각의 언어적 성분(음소)들의 어울림(linguistic binding)을 통해 '값'이라는 새롭고 다른 큰 개념을 창출한다는, 요소의 종합화라는 인지 과정을 언어에서 살펴보고자 한 실험이다.

실험 결과를 살펴보면, 사람이 단어를 인식할 때에는, 그 글자의 의미적인 면을 순간 파악해서 인지한다기보다는 단순히 그 글자의 형태적 측면으로만 글자인지 아닌지의 여부를 판단하는 것으로 보인다. 따라서, 이 경우 기존 언어 실험에 자주 등장하던 의미론적 peak 인 N400 은 보이지 않고, 곧바로 형태적이고, 통사적(syntactic)인 인지 처리 과정인 P500 이 나타났다고 해석할 수 있다. 이것은 이미 120ms 근방에서부터, 초기 시각 인지 과정을 담당하는 Pz 영역에서 미세한 ERP 의 차이를 보이는 점이 더욱 뒷받침 해주고 있다. 즉, 자극의 의미를 해석하기 전에, 초기 시각 피질에서 자극의 형태만으로도 구분을 할 수 있다는 점을 제시해 주고 있다. 다시 말해서, 자극의 물리적 형태에 따라

서 이미 시각 피질 부근부터 인지 과정이 차이가 난다는 점을 암시해 주고 있다. 한편, 목표 자극과 비목표 자극의 제시 비율의 차이로 인한 oddball 효과에서 유발되는, P300 요소의 의미도 이 P500 에 함축된 것으로 생각된다[5].

이번 실험 결과 뿐 아니라, 우리가 머릿속에서 어휘를 선택할 때에 표제어(lemma)를 떠올리며 언어적 인지 과정을 시작하는데, 바로 이 어휘 선택(lexical decision)의 단계에서 P500 이 발견된다는 보고[6] 등을 비추어 보면, P500 이 언어적 의식(linguistic awareness)과 관련있는 ERP 지표로 추정된다. 한편, 이 어휘 선택 실험[6]을 비롯한, 기존의 단어/비단어 실험에서 관찰되는 N450 은 본 연구에서 나타나지 않았는데, 이는 기존의 연구들이 다음질 단어로 이루어져 있어서, 이미 의미적(semantic) 처리 과정이 400ms 근방부터 진행되어 나타났기 때문이라 생각된다. 따라서, 본 연구는 단어/비단어 연구 패러다임을 넘어, 언어적 요소의 결합 문제(binding process)에 더욱 가까운 결과를 얻었다고 할 수 있다.

하지만, 이번 실험에서는 N400 대신에 N900 이 나타났다. 이 결과는 이번 ERP 실험과 병행된 프로토콜 분석을 통해, 피험자가 자극 제시 후, 약 900ms 정도에, 이미 제시되고 사라진 글자 자극을 다시 한번 떠올리는 인지 과정이 일어난다는 점과 관련지어 해석하면, 기존에 의미적(semantic) 인지 과정으로만 해석했던 negative-peak 를 생각(thinking)과 같은 내재적 인지 과정(internal cognitive process)으로 확장하여 일반화하는 추론도 생각해 볼 수 있다. N400 을 처음으로 보고한 쿠타스와 힐야드도

그들의 논문에서 N400 을 의미적으로 이상한 정보를 보았을 때에 일어나는 ‘재처리 (reprocessing)’ 과정으로 해석했다[2]. 따라서, 본 실험의 N900 의 의미와 함께 ERP 에서의 negative peak 의 의미를 추론해 보건대, 우리의 ‘생각(thinking)’ 기능과 같이, 외적 자극없이 내적으로만 발생된 인지 과정의 신경 생리학적 지표로 추측된다. 이는 내적 신경 회로망의 신경 전달 물질로 추정되는 GABA 가 post-synaptic negative potential 을 야기하는 점과도 모순되지 않는다[7, 8].

요컨대, 언어 인지를 통한 이번 실험을 통해, 뇌파에서 검출되는 negative-peak 은 내적 인지 과정(internal cognitive process)으로 추측되고, positive-peak 는 외적 자극이 야기하는 외적 인지 과정(external cognitive process) 이라고 생각된다.

참고 문헌

- [1] Kanizsa G. Subjective contours. *Sci. Am.* 1976 Apr; 234(4): 48-52.
- [2] Kutas M, Hillyard SA. Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 1980 Jan 11; 207(4427): 203-5
- [3] Osterhout L, Holcomb P.J. Event-related potentials and syntactic anomaly: evidence of anomaly detection during the perception of continuous speech. *Lang. Cogn. Processes* 8 (1993) 413-37
- [4] Gunter TC, Friederici AD, Hahne A. Brain responses during sentence reading: visual input affects central processes. *Neuroreport* 1999 Oct 19; 10(15): 3175-8.
- [5] Sutton S, Tueting P, Zubin J, John ER. Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 1965 Nov 26; 150(700):1187-8.
- [6] Luo YJ, Hu S, Weng XC, Wei JH. Effects of semantic discrimination of Chinese words on N400 component of event-related potentials. *Percept Mot Skills* 1999 Aug; 89(1):185-93
- [7] Pinault D, Deschenes M. Control of 40-Hz firing of reticular thalamic cells by neurotransmitters. *Neuroscience* 1992 Nov; 51(2): 259-68
- [8] Galarreta M, Hestrin S. A network of fast-spiking cells in the neocortex connected by electrical synapses. *Nature* 1999 Nov 4; 402(6757): 72-5