

즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 사건관련전위에 미치는 영향

The effect of immediate and delayed recognition memory on event-related potential (ERP)

김 명 선* 조 상 수* 권 준 수**
(Myung-Sun Kim) (Sang-Soo Cho) (Jun Soo Kwon)

요약 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 사건관련전위에 미치는 영향을 연속재인 과제를 사용하여 조사하였다. 240개의 자극 단어 중에서 100개는 즉각적으로 반복제시되었고 100개는 5개의 간섭 단어 후에 지연 반복제시되었으며 40개는 반복제시되지 않았다. 반복제시된 단어 중 처음 제시된 경우와 전혀 반복제시되지 않은 단어를 새로운 단어로 이입하였다. 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어에 비해 즉각적으로 반복제시된 단어에 대한 반응 시간이 유의하게 빨랐고 재인정확율도 높았다. 사건관련전위를 분석한 결과 즉각적 반복제시 단어에서는 P300의 진폭이 증가하였고 잠복기가 짧았던 반면 지연 반복제시 단어에서는 P300의 진폭이 감소하였고 잠복기가 길었다. 그리고 즉각적 반복제시 단어에서는 N400이 관찰되지 않은 반면 새로운 단어와 지연 반복제시 단어에서는 N400이 관찰되었다. 자극제시 조건에 따른 사건관련전위는 자극 제시 310ms 이후부터 서로 다른 양상을 보이기 시작했다. 본 연구 결과는 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 서로 분리될 수 있다는 것, 다시 말하면 서로 다른 대뇌 기전에 근거하고 있을 가능성이 높다는 것을 시사한다. 단어에 대한 즉각적 및 지연 재인을 형판 비교와 기억 탐색의 관점에서 논의하였다.

주제어 즉각적 재인기억, 지연 재인기억, 사건관련전위, P300, N400, 형판 비교

Abstract The effect of immediate and delayed recognition memory on event-related potential (ERP) was studied using a continuous recognition memory task and event-related potential (ERP). Among 240 stimulus words 40 words were not repeated, 100 were immediately repeated and 100 were repeated after 5 intervening words. All words presented only once during the experiment were referred to as new words. Subjects responded faster and more accurately to words repeated immediately than to new words and to those repeated after intervening words. In terms of ERP results the immediately repeated words were associated with large P300 amplitude, early P300 latency and absence of N400, while words repeated after a delay were associated with small P300 amplitude, late P300 latency and the presence of N400. N400 was elicited only to new words and to those repeated after a delay. The general morphology of the waveform was similar for three stimulus-presentation conditions until around 310ms after the onset of stimulus. These results indicate that immediate and delayed recognition memory could be dissociated into two distinct processes possibly being mediated by different cerebral mechanism, and the dissociation between two types of recognition memory emerges around 310ms poststimulus. The immediate and delayed recognition memory for words are considered in terms of template matching and memory searching.

Keywords immediate and delayed recognition memory, ERP, N400, P300, template matching

1. 서론

재인 기억은 자극을 지각하고 지각한 자극을 기억 내에 저장되어 있는 정보와 비교하며 문맥 단서(contextual cue)를 활용하는 등의 다양한 단계로 구성되어 있다.¹ 재인 기억의 측정에 연속재인 과제가 널리 사용되고 있는데, 이 과제는 피험자로 하여금 연속적으로 제시되는 자극이 이전에 제시된 것인지 혹은 제시된 것이 아닌지를 판단하게 한다. 연속재인 과제는 반복제시의 간격(lag)을 조작함으로써 일차적 기억(혹은 즉각적 기억)과 이차적 기억(장기 기억) 모두를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다.²

단어 재인 동안 초래되는 전기생리적 활동(electrophysiological activity)을 측정한 연구들에 의하면 이전에 제시되었던 단어(old word: 구단어)를 정확하게 재인하는 경우와 이전에 제시되지 않았던 단어(new word: 신단어)를 정확하게 판단하는 경우에 초래되는 전기생리적 활동이 다르다고 한다.^{3,4} 즉 신단어에 비해 구단어에서 훨씬 더 큰 양전위(positive potential)가 관찰되며, 이를 신구 효과(old/new effect)라고 부른다. 대략 자극 제시 350ms 이후에 관찰되기 시작하여 400-500ms까지 지속되는 신구 효과는 P300의 진폭이 증가한 결과 초래되는 것으로 알려져 있다.^{5,6} 이 시간 동안 관찰되는 양전위를 띄는 정점(positive peak)은 P300, late positive component(LPC), P600 등의 다양한 이름으로 불리어지며, 이 정점이 회상 과정을 반영하거나 혹은 장기 기억 내에 저장되어 있는 정보에 비추어 자극을 더 정교하게 처리하는 과정을 반영한다고 알려져 있다.^{6,7}

Halgren과 Smith는 신구 효과가 P300 진폭의 증가뿐만 아니라 N400 진폭의 감소로 인해 초래된다고 주장하였다.⁸ 자극 제시 300-550ms 정도에서 관찰되고 음전위를 띄는 정점인 N400은 Kutas와 Hillyard에 의해 처음으로 보고되었다.⁹ 이들은 의미가 일치하거나 혹은 일치하지 않는 단어들에 사건관련전위에 미치는 영향을 조사한 결과 의미가 일치하는 단어들보다 일치하지 않는 단어들에서 400-500ms 사이

에 유의하게 큰 음전위를 띄는 정점을 발견하였다. 이 결과에 근거하여 이들은 N400이 의미 처리(semantic processing)를 반영한다고 주장하였다. 이후 N400의 기능에 관한 여러 주장들이 제기되었는데, 예를 들면 Nordy-Cullum과 Stelmack은 특정 자극이 이전에 제시된 것인지 혹은 제시된 것이 아닌지를 결정하기 위해 기억 세트에 있는 모든 자극들을 탐색하는 과정을 N400이 반영한다고 주장하였다.¹⁰ 또 다른 이들은 간접 자극들이 증가할수록 N400의 진폭도 증가하는 것으로 미루어 N400의 역할이 기억 탐색이라고 주장하였다.¹¹ 이에 덧붙여 Picton은 N400이 자극의 의미를 결정하기 위한 탐색 과정을 나타내며 탐색의 양에 따라 N400의 진폭도 변화된다고 하였다.¹²

단어에 대한 재인 기억을 연속재인 과제와 사건관련전위를 사용하여 조사한 연구들이 보고되었다. 예를 들어 Friedman 그리고 Friedman 등은 연속재인 과제에서 단어를 4, 8, 16개의 간접 단어 다음에 반복 제시하였다.^{13,14} 그 결과 이전에 제시된 단어를 정확하게 재인한 경우가 제시되지 않았던 단어를 정확하게 판단하는 경우에 비해 뇌의 후방 부위에서 자극 제시 250-800ms 사이에 더 큰 양전위를 보였다. 그리고 간접 단어의 수가 증가할수록 반응 시간이 증가하였고 재인정확율은 감소하였다. Kayser 등은 정신분열병 환자와 정상인의 단어 재인 기억을 비교하였는데, 환자군과 정상대조군 모두 신구 효과를 보였으며 P300의 진폭에 있어서도 유의한 차를 보이지 않았다.¹⁵ 그러나 환자군이 정상대조군에 비해 유의하게 낮은 재인정확율을 보였고, 좌측 측두-두정 부위에서 측정된 N200의 진폭이 감소되어 있었다. 이러한 연구 결과에 근거하여 이들은 단어 재인 기억이 좌측 내측두엽에 의해 통제된다고 주장하였다.

내측두엽에 위치하는 구조들이 재인 기억의 통제에 중요한 역할을 하는 것을 시사하는 증거들이 보고되고 있다. 예를 들어 Smith 등 그리고 Rugg 등은 좌측 내측두엽에 손상을 입은 환자나 좌측 전측두엽의 절제술을 받은 환자들에서 단어에 대한 재인 기억이 장애를 받는 것과 신구 효과가 두드러지게 감소되는 것을 관찰하였다.^{16,17}

즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 서로 다른 신경 회로를 갖는 분리된 과정이라는 것을 밝힌 연구들이 있다. Chao, Nielsen-Bohlman과 Knight는 청각 자극을 즉각적으로 반복제시하거나 2-6개의 간접 자극 다음에 지연 반복제시하여 즉각적 및 지연 재인 기억을 조사하였다.¹⁸ 또한 Nielsen-Bohlman과 Knight는

* 서울대학교 의과대학 정신과학교실
Department of Psychiatry, Seoul National University
College of Medicine

** 서울대학교 대학원 인지과학협동과정
Interdisciplinary Program in Cognitive Science, Seoul
National University

교신저자: 권준수
서울대학교 의과대학 정신과학 교실
E-mail: kwonjs@plaza.snu.ac.kr

그림을 이용한 시각 자극을 사용하여 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억을 측정하였다.¹⁹ 두 연구는 유사한 결과를 보고하였는데, 즉 즉각적 재인 기억에서는 P300의 진폭이 증가하고 잠복기는 짧은 반면 지연 재인 기억에서는 P300의 진폭이 감소하고 잠복기가 길어졌으며 N400이 관찰되었다. 이들은 이 결과가 즉각적 및 지연 재인 기억이 서로 다른 신경 기전을 갖는 두 개의 독립된 과정이라는 것을 시사한다고 주장하였다.

본 연구에서는 선행 연구들에서 사용한 시각 및 청각 자극과는 달리 한글 단어를 자극으로 사용하여 단어에 대한 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 서로 분리될 수 있는가를, 다시 말하면 두 유형의 재인 기억이 서로 다른 신경 회로에 근거하는가를 살펴보았다. 단어 재인 기억을 사건관련전위와 연속재인 과정을 사용하여 조사한 선행연구들이 다수 보고되었지만 이 연구들은 단어의 반복제시 간격(예를 들어, 2, 6, 8 lag)이 단어 재인 기억에 미치는 영향을 조사하였다. 그러나 본 연구의 주된 초점은 단어를 즉각적으로 반복제시한 경우, 즉 반복제시 간격이 0인 즉각적 단어 재인과 반복제시 간격이 5인 지연 단어 재인이 서로 분리될 수 있는 독립된 과정인가를 사건관련전위에 나타나는 차이를 통해 알아보는 것이다. 만약 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 서로 독립된 과정이라면 시간 해상도(temporal resolution)가 뛰어난 사건관련전위는 두 유형의 재인 기억 과정의 차이가 자극 제시 후 언제부터 나타나는가에 관한 정보를 제공해 줄 것이다. 이와 더불어 64개의 전극 부위에서 측정된 사건관련전위의 분포 지도는 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억의 근거가 되는 대뇌 기전에 관한 이해를 증진시켜 줄 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 피험자

오른손을 사용하는 대학생 및 대학원생 16명 (남자: 10명, 여자: 6명)이 실험에 참여하였다. 피험자의 평균 연령은 25.52세 (SD:2.70)였다. 피험자는 사건관련전위의 실험에 참여한 경험이 없었으며 신경학적 혹은 정신과적 장애의 병력을 갖고 있지 않았다. 모든 피험자들은 교정 시력이 1.0이상이었으며, 실험에 참여한 대가로 소정의 실험참여비가 지급되었다.

2.2. 자극 단어와 연속재인 과제

어휘빈도가 낮은 단어가 높은 단어에 비해 더 잘 재

인된다는 사실은 잘 알려져 있다.²⁰ 따라서 지나치게 빈도가 높거나 낮은 단어는 자극 단어에서 제외되었다. 자극 단어는 '현대 한국어의 어휘 빈도' (연세대학교 언어정보개발연구원, 1998)에서 선택하였는데, 누적 어휘 빈도가 30-70%에 속하고 두 글자로 구성된 한글 단어 240개가 자극 단어로 사용되었다. 240개의 단어들이 연속적으로 제시되었는데, 이들 중에서 100개는 즉각적으로 반복 제시되었고 100개는 5개의 간섭 단어 후에 지연 반복 제시되었으며 40개는 반복 제시되지 않았다. 반복 제시된 단어들 중 처음 제시된 경우와 전혀 반복 제시되지 않은 단어를 새로운 단어 (new words)로 이름하였다. 예를 들어 사과 -의자 -극장 -극장* -학교 -나무 -사과* 의 순으로 단어들이 제시될 경우 극장*은 즉각적으로 반복제시된 단어이고 사과*는 5개의 간섭 단어 다음에 제시된 지연 반복제시 단어이다. 전혀 반복제시되지 않은 의자, 학교, 나무와 반복제시되었지만 처음제시된 사과와 극장은 새로운 단어에 포함되었다. 자극 단어는 컴퓨터 모니터의 중앙 부위에 500ms 동안 제시되었고 자극간의 간격은 2초였다.

피험자에게 연속적으로 제시되는 일련의 단어들을 주시하고 만약 단어가 앞서 제시된 단어이면 오른쪽 버튼을 누르는 한편 제시되지 않은 단어이면 왼쪽 버튼을 누르도록 지시하였다. 실험이 시작되기 직전 연습 시행을 실시하였다.

2.3. 사건관련전위의 측정

뇌파는 Neuroscan ESI-128 system과 Scan version 4.1 (Neurosoft Inc., USA)으로 측정하였고 뇌파의 측정엔 절연과 방음 장치가 갖추어진 실험실에서 이루어졌다. Fz, Cz, Pz 부위를 포함한 64채널에서 뇌파를 측정하였고 좌, 우 mastoid process에 부착한 전극을 reference로 사용하였다. 눈의 움직임이나 눈 깜박거림은 왼쪽 눈 밑과 안가에 부착한 전극을 통하여 탐지하였다. 모든 전극의 impedance는 5 k Ω 미만으로 유지하였다.

재인 과제 동안 뇌파는 analog bandwidth .05-100Hz로 연속적으로 측정되었고 표본율(sampling rate)은 1100Hz이었다. 실험이 끝난 다음 연속적으로 측정된 뇌파를 자극 제시 전 100ms부터 자극 제시 후 1000ms까지, 즉 1100ms의 epoch으로 분리하였다. Epoch의 기저선을 교정하고, artifact이 있는 시행은 평균화하기 이전에 reject하였다 ($\pm 100 \mu V$). Epoch은 자극 제시 조건(새로운 단어, 즉각적 반복제시 단어 및 지연 반복제시 단어)에 따라 분리, 평균하였다. 평균화

한 사건관련전위를 1-30Hz의 digital bandwidth로 filtering하였다.

정반응을 보인 시행, 즉 이전에 제시된 단어를 제시된 것으로 재인한 시행과 제시되지 않은 단어를 제시되지 않았다고 반응한 시행의 뇌파만을 최종 분석에 포함하였다.

2.4. 자료 분석 및 통계 처리

사건관련전위의 주요 정점들인 N200, P250, P300 및 N400의 진폭과 잠복기는 다음의 'time window'에 따라 결정되었다. 즉 N200은 자극 제시 150-250ms에 관찰되는 가장 큰 음전위를 띄는 정점으로, P250은 200-300ms의 가장 큰 양전위를 띄는 정점, early & late P300은 350-700ms의 양전위를 띄는 정점, 그리고 N400은 350-450ms 사이에 관찰되는 가장 큰 음전위를 띄는 정점으로 정의하였다. 정점의 진폭은 자극 전 기저선(100ms prestimulus baseline)에 그리고 잠복기는 자극 제시 시간(stimulus onset)에 근거하여 산출하였다.

각 정점의 진폭과 잠복기는 within-subject ANOVA, repeated measure로 분석하였고 전극 부위와 자극 제시 조건이 피험자내 변인이었다. 반복 측정 방안에서 관찰되는 Type 1 error를 통제하기 위하여 Greenhouse-Geisser epsilon (ϵ)이 사용되었다. 통계 처리는 두 단계로 실시되었는데, 먼저 21 부위에서 측정된 사건관련전위의 진폭과 잠복기를 통계 분석하였다. 분석에 포함된 전극 부위는 Fz, F3, F4, F7, F8, Cz, C3, C4, T7, T8, CPz, TP7, TP8, Pz, P3, P4, P7, P8, Oz, O1과 O2였다. 다음으로는 중심선(midline) 부위의 전극, 즉 Fz, Cz, CPz, Pz, Oz에서 측정된 진폭과 잠복기를 분석하였다. 통계 분석을 두 단계로 실시한 이유는 전극 부위에 따라 극(polarity)이 달라지는 경우가 있었기 때문이다.

재인정확율과 반응 시간은 within-subject ANOVA, repeated measure로 분석하였다.

3. 결과

3.1. 재인정확율과 반응 시간의 결과

표 1은 세 자극제시 조건의 평균 재인정확율과 반응 시간을 기술하고 있다. 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어에 비해 즉각적으로 반복제시된 단어에 대한 재인정확율이 유의하게 높았고 ($F_{2,30}=3.608, P=.039$), 반응 시간도 유의하게 빨랐다 ($F_{2,30}=29.893, P=.000$).

표 1. 새로운 단어, 즉각적 반복제시 단어, 지연 반복제시 단어의 평균 재인정확율과 반응시간

	새로운 단어	즉각적반복 제시단어	지연반복 제시단어
재인정확율(%)	84.44 (12.69)	90.94 (4.67)	85.56 (5.27)
반응시간(ms)	714.60 (174.22)	641.42 (187.62)	707.24 (167.24)

() 표준오차

3.2. 사건관련전위 전체평균

(Grand-averaged ERP waveforms)

그림 1은 세 자극제시 조건에서 그리고 Pz 부위에서 측정된 사건관련전위를 전체 평균한 것이다. 세 자극제시 조건에 따른 사건관련전위는 310ms에 이를 때까지 유사한 형태를 보였다. 그러나 310ms 이후부터 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어는 즉각적으로 반복제시된 단어에 비해 훨씬 더 큰 음전위를 보였다. 세 자극제시 조건 모두에서 N200, P250과 P300이 관찰되었지만 N400은 지연 반복제시된 단어와 새로운 단어에서만 관찰되었다. P300은 즉각적 반복제시 단어에서 가장 먼저 관찰되었고(426ms), 다음으로는 지연 반복제시 단어(508ms)와 새로운 단어(515ms)의 순이었다.

그림 2와 3은 P300과 N400이 관찰될 시점에 64개의 전극 부위에서 측정된 전위의 분포를 3차원으로 작성한 것이다. P300의 경우 세 조건 모두 중앙-두정 부위에서 가장 큰 진폭의 P300이 관찰되었고 N400 역시 중앙-두정 부위에서 가장 큰 진폭이 관찰되었으며, 특히 우반구에 비해 좌반구에서 측정된 N400 진폭이 더 컸다.

3.3. N200과 P250의 진폭 및 잠복기의 결과

그림 1에서 볼 수 있듯이 세 자극제시 조건 모두에서 N200과 P250이 관찰되었다. N200 진폭의 경우, 21 부위에서 측정된 N200 진폭을 변량분석한 결과 자극제시 조건이나 전극 부위에서 유의한 차가 관찰되지 않았다. 그러나 중심선 부위에서 측정된 N200 진폭을 분석한 결과 전극 부위에서 유의한 차가 관찰되었다 ($F_{4,32}=3.114, P=.045, \epsilon=.124$). 즉 Pz 부위에서 측정된 N200이 가장 큰 부정 전위를 보였다. 21 부위에서 측정된 P250 진폭을 분석한 결과, 전극 부위에서 유의한 차가 있었으며($F_{20,120}=1.839, P=.036, \epsilon=.258$) 두정-후두 부위에서 가장 큰 진폭의 P250이

관찰되었다. N200 및 P250의 잠복기에서는 전극 부위나 자극제시 조건에서 유의한 차가 관찰되지 않았다.

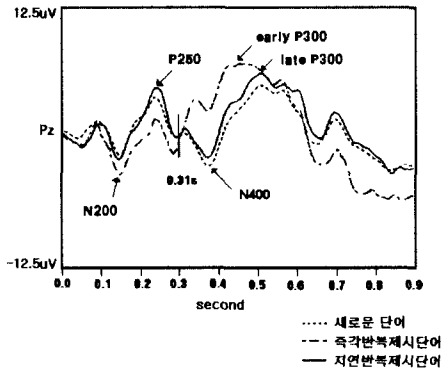


그림 1. Pz 부위 그리고 새로운 단어, 즉각적 반복제시 단어, 지연 반복제시 단어에서 관찰한 전체평균 사건관련전위(grand-averaged ERP)

3.4. P300 진폭 및 잠복기의 결과

P300은 모든 자극제시 조건에서 관찰되었다. 21 부위에서 측정된 P300 진폭을 변량분석한 결과 전극 부위($F_{20,240}=2.351, P=.002, \epsilon=.108$)와 자극제시 조건($F_{2,240}=5.972, P=.016, \epsilon=.029$)에서 유의한 차이가 있었다. 중심선 부위에서 측정된 P300 진폭을 분석한 결과는 자극제시 조건에서만 유의한 차를 보였다($F_{2,56}=3.717, P=.05, \epsilon=.071$). P300의 진폭은 Pz 부위에서 가장 컸고(7.24 μ V) Fz 부위에서 가장 적었다

(5.52 μ V). 자극제시 조건에서는 즉각적으로 반복제시된 단어에서 가장 큰 진폭의 P300이 관찰되었고(7.57 μ V) 지연 반복제시된 단어에서 가장 적은 진폭의 P300이 관찰되었다(5.33 μ V). 또한 전극 부위와 자극제시 조건 사이의 상호 작용 효과도 관찰되었다($F_{8,56}=2.592, P=.017, \epsilon=.097$). 즉각적으로 반복제시된 단어의 경우 Pz에서 가장 큰 진폭의 P300이 관찰된 반면 지연 반복제시된 단어와 새로운 단어에서는 CPz에서 가장 큰 P300 진폭이 관찰되었다. 21 부위에서 측정된 P300 잠복기를 변량분석한 결과 자극제시 조건에서 유의한 차이가 있었다($F_{2,240}=10.813, P=.002, \epsilon=.012$). 중심선 부위에서 측정된 P300 잠복기 역시 자극제시 조건에서 유의한 차를 보였다($F_{2,56}=7.617, P=.006, \epsilon=.019$). P300의 잠복기는 즉각적 반복제시 단어에서 가장 짧았다. 표 2는 세 자극제시 조건에서 측정된 P300의 평균 진폭과 잠복기를 기술하고 있다.

3.5. N400 진폭 및 잠복기의 결과

N400은 지연 반복제시된 단어와 새로운 단어에서는 관찰된 반면 즉각적 반복제시된 단어에서는 관찰되지 않았다. 21 부위에서 측정된 N400 진폭을 변량분석한 결과 전극 부위나 자극제시 조건에서 유의한 차이가 관찰되지 않았으나, 중심선 부위에서 측정된 N400의 진폭을 변량분석한 결과 전극 부위에서 유의한 차이가 관찰되었다($F_{4,32}=2.824, P=.05, \epsilon=.089$). 즉 CPz에서 가장 큰 진폭이 관찰되었고(-3.14 μ V) Fz에서 가장 적은 N400 진폭이 관찰되었다(-1.16 μ V). 이 결과는 그림 3의 N400 전위분포 지도와 일치한다. 지연 반복제시 조건의 경우 좌반구와 우반구에서 측정된 N400의

표 2. Fz,Cz,CPz,Pz,Oz 부위에서 측정된 평균 P300의 진폭과 잠복기

전극부위	새로운 단어		즉각적 반복제시단어		지연 반복제시단어	
	진폭(μ V)	잠복기(ms)	진폭	잠복기	진폭	잠복기
Fz	4.89(1.11)	470.72(42.36)	5.71(1.11)	425.88(17.97)	5.01(0.90)	470.52(47.01)
Cz	5.04(0.50)	500.84(35.82)	8.24(1.13)	445.12(22.85)	5.75(0.78)	517.78(36.53)
CPz	6.62(0.87)	512.79(16.86)	9.22(1.00)	438.10(22.44)	6.88(1.11)	493.43(20.51)
Pz	6.83(0.88)	519.50(15.69)	8.33(1.22)	435.03(22.67)	6.27(1.25)	544.69(30.42)
Oz	5.83(0.72)	519.85(16.02)	6.33(0.85)	431.58(23.01)	6.19(1.37)	527.69(29.01)

() 표준편차

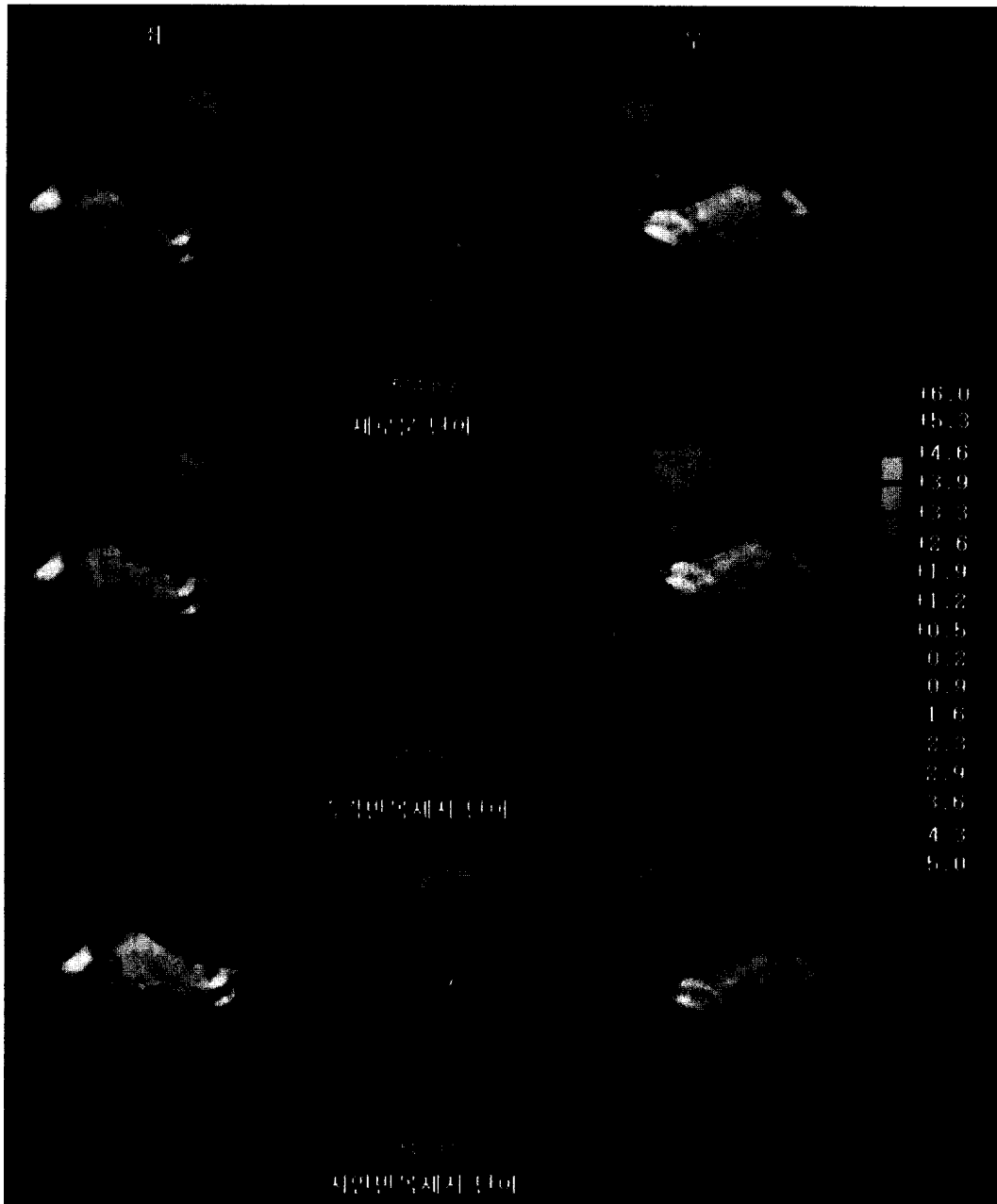


그림 2. 새로운 단어, 즉각적 반복제시 단어, 지연 반복제시 단어에서 측정된 P300 분포의 3차원 지도

진폭을 t 검증한 결과 우반구보다 좌반구에서 측정된 N400의 진폭이 유의하게 컸다 [좌반구 (C3+TP7+T7) > 우반구 (C4+TP8+T8), P=.000]. N400 잠복기를 분석한 결과 전극 부위나 자극제시 조

건에서 유의한 차가 관찰되지 않았다.

4. 논의

단어의 즉각적 반복제시와 지연 반복제시는 행동 측

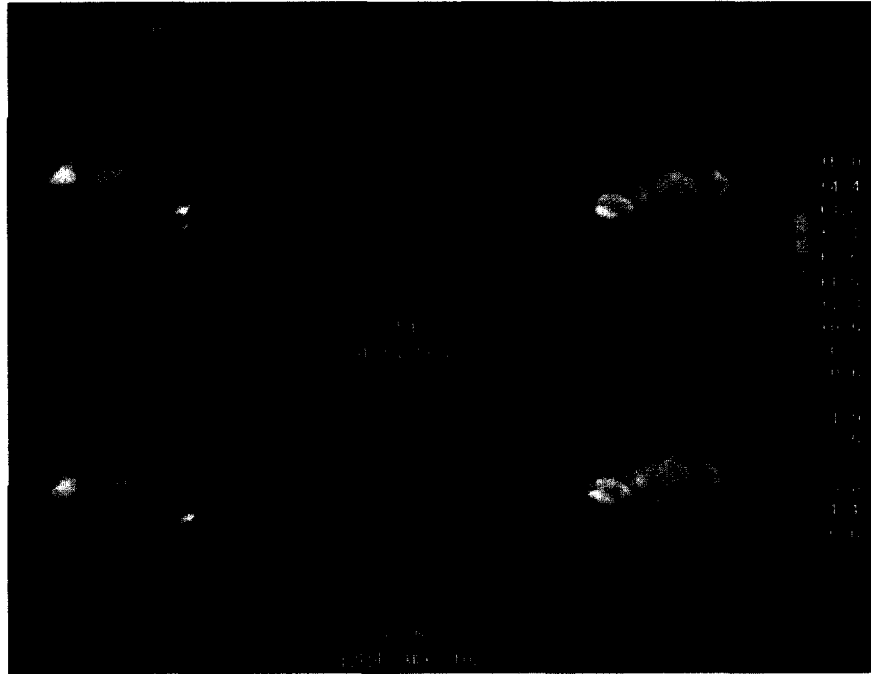


그림 3. 새로운 단어, 지연 반복제시 단어에서 측정된 N400 분포의 3차원 지도

정뿐만 아니라 전기생리적 측정에도 서로 다른 영향을 미쳤다. 즉각적으로 반복제시된 단어가 지연 반복제시된 단어나 새로운 단어에 비해 더 빨리 그리고 더 정확하게 재인되었다. 사건관련전위에서는 즉각적으로 반복제시된 단어가 지연 반복제시된 단어보다 더 큰 P300의 진폭과 짧은 잠복기를 보였다. 그러나 N400은 즉각적으로 반복제시된 단어에서는 관찰되지 않은 반면 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어에서만 관찰되었다. 이 결과는 즉각적 재인과 지연 재인이 서로 분리될 수 있다는 것을 보고한 선행 연구들의 결과와 일치한다.^{18,19} 본 연구 결과 즉각적 재인과 지연 재인의 분리가 자극 제시 310ms 이후부터 시작되는 것으로 여겨진다.

사건관련전위의 초기 정점인 N200과 P250은 세 자극제시 조건 모두에서 관찰되었다. 일반적으로 N200은 자극의 확인과 분류 과정의 지표로 알려져 있으며 P300을 비롯한 후기 정점들의 생성에 필요한 정보의 추출에 중요한 역할을 한다.^{21,22} 단어 재인과제를 사용한 연구들에 의하면 N200이 단어 처리의 초기 과정, 즉 자동적인 단어의 범주화와 비교 과정을 반영한다고 한다. 예를 들어 Kayser 등은 정신분열병 환자들에서 단어 재인 기억의 손상과 N200 진폭의 감소 사이에

유의한 상관성이 있음을 보고하였다.¹⁵ 이에 덧붙여 여러 연구들은 N200의 생성지(generator)가 좌반구 측두-두정 부위라고 밝히고 있다. 예를 들어 하측두엽에 위치하는 신경원들의 활동을 측정한 결과 단어를 제시한 후 200ms 정도에 N200과 유사한 반응이 관찰되었고, 양전자 단층촬영(PET)에서는 단어의 재인단계 중 전 의미적 단계(presemantic stage) 혹은 지각 단계(perceptual stage) 동안 좌반구 측두-두정 부위가 두드러지게 활동하는 것이 관찰되었다.^{23,24} 본 연구에서는 두정엽 부위에서 가장 큰 N200 진폭이 나타났으나 좌, 우반구의 차는 관찰되지 않았다.

자극 제시 150-275ms 사이에서 관찰되고 양전위를 띄는 정점인 P250은 사건관련전위의 정점들 중에서 가장 잘 연구되지 않았고 따라서 가장 잘 알려져 있지 않다.²⁵ P250이 단순한 외인성 정점(exogenous component)이 아니라 인지적 과정이나 변인들에 의해 영향을 받는다고 여러 연구들이 밝히고 있다.²⁶ P250의 기능에 관해서는 다양한 의견들이 제시되었는데, 즉 선택적 주의력 혹은 특징탐지 과정 등의 기능이 제시되었다.^{27,28} Chapman 등은 P250이 단기 기억 내의 저장 및 인출 과정과 관련되어 있다고 주장하는 한편 다른 이들은 P250이 장기 기억 내의 어의적 정보 중 일

부를 작동 기억으로 인출하는 것과 관련되어 있다고 주장하였다.^{29,30}

본 연구에서 세 자극제시 조건에서 측정된 N200과 P250이 유사한 진폭과 잠복기를 보였는데, 이는 선행 연구들의 주장, 즉 N200과 P250이 자동적인 단어의 범주화와 단기 기억 내의 저장 및 인출 등과 같은 단어 재인의 초기 단계를 반영한다는 주장을 지지한다.

세 자극제시 조건 모두에서 P300은 중앙-두정 부위에서 가장 큰 진폭이 관찰되었다. 그리고 즉각적으로 반복제시된 단어에서 가장 큰 진폭과 가장 짧은 잠복기가 관찰되었다. P300의 진폭은 자극의 확률, 자극의 중요성 및 과제 관련(task-relevance) 등과 연관되어 있다. 또한 P300은 기억 최신화를 반영하는 것으로 알려져 있다.³¹ 신호탐지 실험의 결과에 근거하여 Hillyard 등은 P300의 기능을 형판 비교(template matching)의 관점에서 설명하고자 하였다.³² 이들에 의하면 기억에 두 개의 형판이 형성되는데, 하나는 신호에 대한 형판이고 다른 하나는 신호 부재(signal absence)에 대한 형판이라고 한다. 만약 유입된 자극이 두 형판 중의 하나와 일치하면 P300이 생성된다는 것이다. 그리고 자극과 형판이 일치할수록 P300의 진폭이 증가하고 잠복기가 짧아진다고 주장하였다. 본 연구에서는 즉각적으로 반복제시된 단어의 경우 방금 전에 형성된 형판과 쉽게 비교되는 반면 새로운 단어는 비교할 형판이 형성되지 않고 5개의 간섭 단어 후에 지연 반복제시된 단어의 경우에는 가장 최근에 형성된 형판과 일치하지 않는다. 이 결과 즉각적으로 반복제시된 단어에서 가장 큰 진폭과 짧은 잠복기를 갖는 P300이 관찰된 것으로 여겨진다.

즉각적으로 반복제시된 단어와 지연 반복제시된 단어의 재인에서 가장 두드러진 차이는 N400의 유무이다. N400은 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어에서는 관찰된 반면 즉각적으로 반복제시된 단어에서는 관찰되지 않았다. 연속재인 과제를 사용한 연구들은 간섭 자극의 수가 증가할수록 N400의 진폭이 증가하는 것을 관찰하였고, 이 결과에 근거하여 N400의 기능이 기억 탐색(memory searching)이라고 주장하였다.^{2,11} 본 연구에서 측정된 N400 역시 기억 탐색의 과정을 반영하는 것으로 여겨지는데, 왜냐하면 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어에서만 N400이 관찰되었기 때문이다. 비교할 형판을 갖고 있지 않은 단어와 10초 후에 반복제시된 단어의 경우 형판 비교만으로는 단어 재인을 할 수 없다. 따라서 부가적인 기억 탐색의 과정이 필요하게 되고, 이 결과 N400이 초래된 것으로 여겨진다.

P300이 기억의 부호화 혹은 기억의 최신화의 지표로 알려져 있기 때문에 내측두엽에 위치하는 구조들을 P300의 생성지로 믿어왔다.³³ 그러나 추후 연구들은 해마, 편도핵 혹은 전측두엽(anterior temporal lobe) 등을 포함한 측두엽 절제술을 실시하여도 P300이 관찰되는 것을 보고하였다.^{34,35} 따라서 내측두엽 대신 대뇌 피질 영역들이 P300의 생성지라는 의견이 제안되었는데, 예를 들어 하두정엽에서 P300과 유사한 전위가 관찰되고^{33,36} 또한 뇌손상 환자들을 대상으로 한 연구들 역시 P300이 대뇌 피질의 영역들에 의해 생성된다는 주장을 지지하였다.³⁷ 이러한 선행 연구들의 결과는 P300의 생성에 중요한 역할을 하는 형판 비교의 과정이 신피질, 특히 하두정엽 부위에서 일어난다는 것을 시사한다. 본 연구에서 P300의 진폭은 두정엽 부위에서 가장 컸으며 P300의 전위분포 지도(그림2) 역시 P300의 진폭이 두정엽 부위에서 가장 두드러지는 것을 보여준다.

N400의 생성지에 관한 연구 결과가 축적되고 있는데, 즉 해마, 편도핵을 포함한 내측두엽의 구조들이 N400의 생성에 중추적인 역할을 하고 있다. 예를 들어 내측두엽에 위치하는 신경원들이 단어 반복이나 언어적 혹은 시공간적 재인 과제에 민감하게 반응하는 것이 보고되었다.^{38,39} 또한 McCarthy 등의 연구에서는 전체 문장의 뜻과 맞지 않는 단어로 문장이 끝날 경우 큰 진폭의 N400이 내측두엽의 전측(anterior medial temporal lobe) 부위에서 관찰되었다.⁴⁰ 본 연구에서는 N400의 진폭이 CPz 부위에서 가장 컸으며, 좌반구 중앙-측두 부위(C3, T7, TP7)에서 측정된 N400의 진폭이 우반구의 중앙-측두 부위(C4, T8, TP8)보다 유의하게 컸다. 이 결과는 N400이 기억 탐색의 과정을 반영하며 이 과정에 좌반구 측두엽의 구조들이 중요한 역할을 할 가능성이 높은 것을 시사한다.

5. 결론

본 연구 결과는 즉각적 재인 기억과 지연 재인 기억이 두 개의 다른 과정으로 분리될 수 있다는 것을 보여주었다. 즉각적 재인은 빠른 반응 시간, 높은 재인정확율, 빠른 P300 잠복기, 증가된 P300의 진폭과 관련되어 있는 반면 지연 재인은 느린 반응 시간, 낮은 재인정확율, 지연된 P300 잠복기, 감소된 P300 진폭 및 N400의 출현과 관련이 있다. 두 재인 기억의 분리는 자극 제시후 310ms 정도에서 시작되는 것으로 관찰되었다. 세 자극제시 조건에 따른 P300 잠복기와 진폭의 차이는 형판 비교의 용이성 때문에 초래된 것으로 여

겨지며, 새로운 단어와 지연 반복제시된 단어에서만 관찰된 N400은 기억 탐색의 과정을 반영하는 것으로 여겨진다. 선행 연구들은 내측두엽의 구조들이 N400의 생성지라는 것을 보고하였으며 본 연구에서도 CPz 부위와 좌반구 중앙-측두 부위에서 유의하게 큰 N400 진폭이 관찰되는 것으로 미루어 단어에 대한 지연 재인 기억의 과정에 측두엽이 중요한 역할을 갖는 것으로 여겨진다. 그러나 두피(scalp)의 특정 부위에서 측정된 사건관련전위가 그 부위와 상응하는 대뇌피질의 부위에서 생성된 전위인지에 관해서는 아직 확신이 없다. 따라서 사건관련전위뿐만 아니라 뇌구조에 관한 상세한 정보를 제공하는 공명자기영상(MRI)이나 재인과제 동안의 뇌활동을 측정 가능하게 하는 양전자단층촬영(PET)을 함께 사용하면 단어 재인 기억, 특히 지연 재인 기억에 있어서의 측두엽의 역할을 밝히는데 유용한 정보를 얻을 수 있을 것으로 여겨진다.

참고문헌

[1] Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence. *Psychol. Rev.*, 87, 252-271.

[2] Friedman D. (1990). Cognitive event-related potential components during continuous recognition memory for pictures. *Psychophysiology*, 27, 136-148.

[3] Neville, H. J., Kutas, M., Chesney, G., and Schmidt, A.L. (1986). Event-related brain potentials during initial encoding and recognition memory of congruous and incongruous words. *J. Memory Language*, 25, 75-92.

[4] Johnson, R., Pfefferbaum, A., and Kopell, B. (1985). P300 and long-term memory. *Psychophysiology*, 22, 497-570.

[5] Rugg, M.D., and Nagy, N.E. (1989). Event-related potentials and recognition memory for words. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 72, 395-406.

[6] Smith, M.E. (1993). Neurophysiological manifestations of recollective experience during recognition memory judgments. *J. Cognit. Neurosci.*, 5, 1-13.

[7] Besson, M., Kutas, M., and Van Petten, C. (1992). An event-related potential (ERP) analysis of semantic congruity and repetition effects in sentences. *J. Cognit. Neurosci.*, 4, 132-149.

[8] Halgren, E., and Smith, M.E. (1987). Cognitive evoked potentials as modulatory processes in human memory formation and retrieval. *Hum. Neurobiol.*, 6, 129-139.

[9] Kutas, M., and Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.

[10] Noldy-Cullum, N.E., and Stelmack, R.M. (1987) Recognition memory for pictures and words: the effect of incidental and intentional learning on N400. In: R. Johnson, J.W. Rohrbaugh and R. Parasuraman (Eds.). *Current trends in event-related potential research. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. suppl.*, 40, 350-354.

[11] Stuss, D.T. Picton, T.W., and Cerri, A.M. (1986). Searching for the names of pictures: an event-related potential study. *Psychophysiology*, 23, 215-223.

[12] Picton, T.W. (1988) The endogenous evoked potentials. In: E. Basar(Ed.), *Dynamics of sensory and cognitive processes in the brain.* Springer-Verlag, New York.

[13] Friedman, D. (1990). ERPs during continuous recognition memory for words. *Biol. Psychol.* 30, 61-87.

[14] Friedman, D., Berman, S., and Hamberger, M. (1993). Recognition memory and ERPs: Age-related changes in young, middle-aged, and elderly adults. *J. Psychophysiol.* 7, 181-201.

[15] Kayser, J., Bruder, G.E., Friedman, D., Tenke, C.E., Amador, X.F., Clark, S.C. Malaspina, D., and Gorman, J.M. (1999). Brain event-related potentials (ERP) in schizophrenia during a word recognition memory task. *Int. J. Psychophysiol.* 34, 249-265.

[16] Smith, M.E., and Halgren, E. (1989). Dissociation of recognition memory components following temporal lobe lesions.

- J. Exp. Psychol: Learn. Mem. Cogn., 15, 50-60.
- [17] Rugg, M.D., Roberts, R.C., Potter, D.D., Pickles, C.D., and Nagy, M.E. (1991). Event-related potentials related to recognition memory. Effects of unilateral temporal lobectomy and temporal lobe epilepsy. *Brain*, 114, 2313-2332.
- [18] Chao, L.L., Nielsen-Bohlman, L., and Knight, R.T. (1995). Auditory event-related potentials dissociate early and late memory processes. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 96, 157-168.
- [19] Nielsen-Bohlman, L., and Knight, R.T. (1994). Event-related potentials dissociate immediate and delayed memory. In: H.J. Heinze, T.F. Munte and G.R. Mangun (Eds.), *Cognitive electrophysiology: Basic and clinical research*. Birkhauser, Boston, pp. 169-183.
- [20] Rugg, M.D., and Doyle, M.C. (1992). Event-related potentials and recognition memory for low- and high-frequency words. *J. Cognit. Neurosci.* 4, 69-79.
- [21] Renault, B., Ragot, R., Lesevre, N., and Remond, A. (1982). Onset and offset of brain events as indices of mental chronometry. *Science*, 215, 1413-1415.
- [22] Ritter, W., Simson, R., Vaughan, H.G., and Friedman, D.A. (1979). Brain event related to the making a sensory discrimination. *Science*, 203, 1358-1361.
- [23] Nobre, A.C., Allison, T. and McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, 372, 260-263.
- [24] Petersen, S.E., Fox, P.T., Snyder, A.Z., and Raichle, M.E. (1990). Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science*, 249, 1041-1044.
- [25] Dunn, B.R., Dunn, D.A., Languis, M., and Andrews, D. (1998). The relation of ERP components to complex memory processing. *Brain Cognit.*, 36, 355-376.
- [26] McDonough, B.E., Warren, C.A., and Don, N.S. (1992). Event-related potentials in a guessing task: The gleam in the eye effect. *Int. J. Neurosci.*, 66, 209-219.
- [27] Hackley, S.A., Woldorff, M., and Hillyard, S.A. (1990). Cross-modal selective attention effects on retinal, myogenic, brainstem, and cerebral evoked potentials. *Psychophysiology*, 27, 195-208.
- [28] Luck, S.J., and Hillyard, S.A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291-308.
- [29] Chapman, R.M., McCrary, J.W., and Chapman, J.A. (1978). Short-term memory: The storage component of human brain responses predicts recall. *Science*, 202, 1211-1214.
- [30] Raney, G.E. (1993). Monitoring changes in cognitive load during reading: An event-related brain potential and reaction time analysis. *J. Exp. Psychol.*, 19, 51-69.
- [31] Donchin, E., and Coles, M.G.H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav. Brain Sci.*, 11, 357-374.
- [32] Hillyard, S.A., Squires, K.C., Bauer, J.W., and Lindsay, P.H. (1971). Evoked potential correlates of auditory signal detection. *Science*, 172, 1357-1360.
- [33] Smith, M.E., Halgren, E., Sokolik, M., Baudena, P., Musolino, A., Liegeois-Chauvel, C., and Chauvel, P. (1990). The intracranial topography of the P3 event-related potential elicited during auditory oddball. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 76, 235-248.
- [34] Johnson, R. (1988). Scalp recorded P300 activity in patients following unilateral temporal lobectomy. *Brain*, 111, 1517-1529.
- [35] McCarthy, G., Wood, C.C., Williamson, P.D., and Spencer, D.D. (1989). Task dependent field potentials in human hippocampal formation. *J. Neurosci.* 9, 4253-4268.
- [36] Paller, K.A., Kutas, M., and McIsaac, H.K. (1995). Monitoring conscious recollection via

- the electrical activity of brain. Psychol. Sci. 6, 107-112.
- [37] Yamaguchi, S., and Knight, R.T. (1991). Anterior and posterior association cortex contributions to the somatosensory P300. J. Neurosci. 11, 2039-2054.
- [38] Smith, M.E., Stapleton, J.M., and Halgren, E. (1986). Human medial temporal lobe potentials evoked in memory and language tasks. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 63, 145-159.
- [39] Puce, A., Andrewes, D.G., Berkovic, S.F., and Baldin, P.F.(1991). Visual recognition memory: neurophysiological evidence for the role of temporal white matter in man. Brain, 114, 1647-1666.
- [40] McCarthy, G., Nobre, A.C., Bentin, S., and Spencer, D.D. (1995). Language related field potentials in the anterior-medial temporal lobe: I. Intracranial distribution and neural generators. J. Neurosci. 15, 1080-1089.