

연속재인과제에서 즉각적 재인과 지연 재인이 사건관련전위에 미치는 영향

김명선¹, 조상수 권준수^{1,2}

¹서울의대 정신과학교실 및 서울대학교병원 임상의학연구소, ²서울대학교 대학원
인지과학 협동과정

The effect of immediate and delayed recognition on Event-Related Potentials in a continuous recognition memory task.

Myung Sun Kim¹, Sang Soo Cho¹, Jun Soo Kwon^{1,2}

¹Department of Psychiatry, Seoul National University College of Medicine &
Clinical Research Institute, Seoul National University Hospital,

²Interdisciplinary Program in Cognitive Science, Seoul National University

요약

연속재인과제에서 자극을 즉각적으로 반복 제시하거나 지연 반복 제시할 경우 사건관련전위에 차이가 나타나는지, 만약 차이가 관찰되면 자극 제시 후 어느 시점에서 차이가 두드러지게 나타나는지를 조사하였다. 실험 결과 즉각적 재인이 지연 재인에 비해 더 높은 반응정확율과 더 빠른 반응시간을 보였고 사건관련전위에서는 P300의 진폭이 더 컸고 잠재시간도 더 빨랐다. 그리고 지연 재인에서 관찰되는 N400이 즉각적 재인에서는 나타나지 않았다. 지연 재인에 비해 즉각적 재인에서 P300의 진폭이 더 크고 잠재시간이 더 빠르게 나타난 것은 P300이 template matching을 통한 정보처리 과정을 반영해 준다는 주장을 지지해 준다. 즉 즉각적 재인에서는 지연 재인에 비해 template matching이 훨씬 더 정확하고 빨리 일어나며 이 결과 P300의 진폭이 커지고 잠재시간이 더 빨라진 것으로 이해된다. 즉각적 재인에서는 방금 제시된 자극(시간 간격은 2초)을 재인하기 때문에 기억의 탐색 과정이 요구되지 않는 반면 5개의 간섭 단어 후에 반복 제시되는 단어를 재인하는 지연 재인에서는 단어에 대한 탐색 과정이 필요하며, 이에 따라 N400이 초래된 것으로 여겨진다. 이 결과는 N400이 기억 탐색 과정을 반영한다는 주장을 지지해 준다. 사건관련전위에서 즉각적 재인과 지연 재인의 차이는 자극 제시 300ms에서 450ms 사이에 가장 두드러지게 나타났다.

1. 서론

특정 자극이나 사건을 이전에 경험한 적이 있다고 판단하는 과정인 재인 기억의 측정에 연속재인 과제가 널리 사용되고 있다. 이 과제에서는 피험자에게 일련의 자극을 연속적으로 제시하며 각 자극이 제시된 후 이 자극

이 이전에 제시된 것인지 혹은 아닌지를 판단하게 한다. 연속재인 과제는 자극의 반복 제시 간격(lag)을 조작함으로써 일차적 기억(혹은 즉각적 기억)과 이차적 기억 과정을 연속적으로 측정할 수 있다. 즉 자극의 부호화에서부터 인출에 이르기까지의 전 과정을

연속적으로 측정할 수 있다는 장점을 갖고 있으며, 이외에도 피험자의 주의력을 지속적으로 유지할 수 있고 다른 실험 방안(예를 들면 학습-검사재인 과제)에 비해 비교적 쉽기 때문에 알뜨하이머 유형의 치매를 앓는 환자에게도 적용 가능하다는 장점을 갖고 있다 [1, 2].

특정한 자극을 제시한 후 이 자극의 제시와 관련하여 일정 시간 동안 나타나는 뇌의 전기적 활동을 측정하는 사건관련전위는 인지 기능의 신경생리적 기전(neurophysiological mechanism)을 이해하는데 중요한 정보를 제공한다. 즉 사건관련전위는 인지 기능과 관련되어 초래되는 대뇌 활동의 객관적 지표로 알려져 있다 [3]. 사건관련전위는 정적 전위(positive potential) 혹은 부적 전위(negative potential)를 띄는 여러 개의 정점(peak)으로 구성되어 있는데, 이 정점들 중에서도 자극 제시 300-600ms 사이에 나타나는 정적 정점인 P300과 350-450ms 정도에 나타나는 부적 정점인 N400이 기억 과정과 관련되어 가장 많이 연구되었다. P300은 1965년 Sutton 등[4]에 의해 처음으로 소개된 후 광범위하게 연구되었는데, 현재 P300은 정보처리 과정을 반영해주는 것으로 이해되고 있다 [5]. 한편 N400은 1980년 Kutas와 Hillyard에 의해 처음으로 보고되었다 [6]. 이들은 문장읽기 과제 동안 사건관련전위를 측정하였는데, 문장 중 일부는 문장의 전체 맥락과 맞지 않는 단어로 끝나도록 구성하였다. 그 결과 문장의 전체 맥락과 맞지 않는 단어로 끝난 경우에만 자극 제시 400ms 전후에 의미 있게 큰 진폭의 부적 정점이 관찰되었고 이를 N400이라고 이름하였다. N400은 어의적 처리 과정(semantic processing)을 반영하는 것으로 알려져 있고 N400이 복잡한 자극의 처리를 요하는 경우에만 관찰되는 것으로 미루어 자극의 여러 속성들을 통합하는 과정을 반영한다는 주장도 있으며, 기억 탐색의 과정을 반영한다는 주장도 있다 [7, 8]

연속재인과제에서 자극을 즉각적으로 반복제시 할 경우와 지연 반복제시 할 경우 사건관련전위에 어떤 차이가 나타나는가

를 조사한 선행 연구들은 즉각적 재인과 지연 재인이 서로 다른 특성을 띄는 사건관련전위를 보인다는 것을 보고하였다. 예를 들면 환경 내에서 쉽게 들을 수 있는 청각 자극을 즉각적 혹은 지연 재인하게 한 연구에 의하면 즉각적 재인이 지연 재인에 비해 반응의 정확율이 높고 반응 시간이 빠를 뿐만 아니라 사건관련전위에서는 P300의 진폭(amplitude)이 더 크고 잠재시간(latency)이 더 빠르다고 한다. 또한 즉각적 재인에서는 지연 재인에서 관찰할 수 있는 N400이 나타나지 않는다고 한다 [9]. 그림을 자극으로 사용한 또 다른 연구도 이와 동일한 결과를 보고하였다 [10].

본 연구에서는 연속재인 과제를 사용하여 한글 단어를 즉각적으로 반복 제시하여 재인하게 할 경우와 5개의 간섭 단어 후에 반복 제시하여 재인하게 할 경우 사건관련전위에 어떤 차이가 나타나는지를 알아보고자 하였다. 만약 즉각적 재인과 지연 재인이 사건관련전위의 차이를 보인다면 이 차이가 자극을 제시한 후 어느 시점부터 나타나는지 그리고 이 시기 동안 뇌전위 분포는 두 재인에서 어떻게 다른가를 조사하고자 하며, 이를 근거로 즉각적 재인과 지연 재인의 신경생리적 기전을 이해하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 피험자

서울 시내에 소재하는 모 대학과 대학원에 재학 중인 학생 14명이 실험에 참여하였다. 이들의 평균 연령은 26.12세(SD=1.55)였고 연령 범위는 23.8세-29세였다. 이들은 이전에 정신생리적 실험에 참여한 경험이 없었고 간질, 뇌손상 등의 신경학적 장애와 정신과적 장애가 없었다. 교정 시력은 1.0이상이었으며 모두 오른손 사용자였다. 모든 피험자에게는 실험 참여에 대한 대가로 일정액이 지급되었다.

2.2 자극 단어

단어의 어휘빈도가 재인에 미치는 영향은 잘 알려져 있다. 즉 낮은 어휘빈도를 갖는 단어가 빈도가 높은 단어에 비해 훨씬

표1. 비반복, 즉각적 반복, 지연 반복조건의 평균 반응정확율과 반응시간

	non-repetition	immediate	delayed
hit rate(%)	82.91 ± 12.88	90.57 ± 4.89	85.7 ± 5.61
reaction time(msec)	739.58 ± 17.22	668.16 ± 18.55	726.59 ± 17.04

더 잘 재인된다고 알려져 있다 [11, 12]. 따라서 본 연구에서는 어휘빈도가 상위 및 하위 30%에 속하는 단어들은 제외하고 30-70%의 어휘빈도를 갖는 단어 280개를 자극 단어로 사용하였다. 어휘빈도는 연세대 언어정보개발연구원에서 출판한 현대 한국어의 어휘빈도를 참조하였다. 모든 자극 단어는 두 철자로 구성되어 있고 강한 정서적 의미를 갖는 단어는 가능한 한 제외하였다. 280개의 자극 단어를 2개의 목록으로 구분하였다. 즉 한 목록에 140개의 단어가 포함되었는데, 이 중에서 40개는 반복 제시되지 않았고 50개는 즉각적으로 반복 제시되었고 50개는 5개의 간섭 단어를 제시한 다음 반복 제시하였다. 피험자에게 한 어휘 목록을 먼저 제시한 다음 다른 목록을 제시하였는데, 제시 순서는 피험자에 따라 counterbalance 하였다.

2.3 실험 절차 및 사건관련전위의 측정

피험자에게 실험의 전 과정을 설명한 다음 동의서를 작성하게 하였다. 실험에 대한 준비는 64개의 채널이 갖추어져 있는 quickcap을 피험자에게 착용시킴으로 시작되었다. 뇌파의 측정 시간(epoch)은 자극을 제시하기 100ms 전부터 시작하여 자극을 제시한 후 1000ms까지, 즉 1100ms였다. 단어의 제시 시간은 500ms였고 자극간의 제시간격(ISI)은 2초였다. 피험자로 하여금 컴퓨터의 모니터에 단어가 제시되면 이 단어가 이전에 제시된 단어이면 오른손으로 오른쪽 버튼을 누르고 이전에 제시된 단어가 아니면 왼손으로 왼쪽 버튼을 누르게 하였다. 뇌파의 filtering은 1-30Hz의 cutoff를 사용하였다. 눈깜박거림 등을 포함한 artifact이 관찰된

시행은 분석에서 제외되었다. 비반복, 즉각적 반복 및 지연 반복제시에서 정확하게 답한 시행만을 최종 분석하였다.

3. 결과

3.1 행동측정 결과

비반복, 즉각적 반복 및 지연 반복에서의 평균 반응정확율과 반응시간은 표 1과 같다. 즉각적 반복에서 반응정확율이 가장 높았고 반응시간도 가장 빠르게 나타났다.

3.2 사건관련전위의 결과

3.2.1 사건관련전위의 전체평균 (grand average)

비반복, 즉각적 반복 및 지연 반복에서 측정된 사건관련전위를 전체평균한 결과가 그림1에 제시되어 있다.

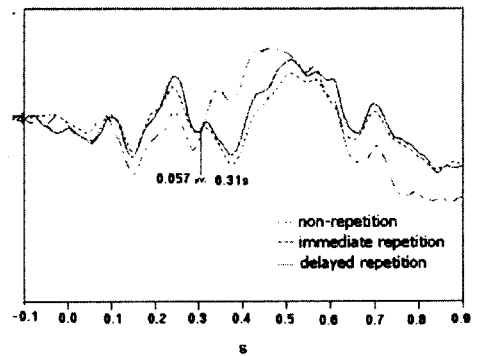


그림 1. 비반복, 즉각적 반복, 지연 반복에서 측정된 사건관련전위의 전체평균

뇌파의 측정은 64부위에서 이루어졌지만 P300이 가장 잘 관찰되는 Fz, Cz, Pz부위에서 측정된 사건관련전위 결과만을 보고하겠

표2. P300 진폭의 변량분석 결과

source	SS	df	MS	F	P
electrode	85.581	2	42.790	3.727	.038 *
lag	132.675	2	66.337	5.30	.012 *
electrode × lag	34.15	4	8.538	2.564	.049 *
error	173.166	52	3.330		

total 425.572 60 * P<.05

다. 그림 1에서 알 수 있듯이 비반복과 지연 반복에서 측정된 사건관련전위는 매우 유사한 양상을 보이고 있다. 즉 두 조건에서 측정된 사건관련전위에는 N200, P250, P300, N400 이 관찰되며 이 정점들의 진폭과 잠재 시간도 매우 유사하다. 반면 즉각적 반복에서는 N200, P250, P300은 관찰되지만 N400은 나타나지 않았다. P300의 잠재 시간도 다른 두 조건에 비해 빠르게 나타났다. 전체 평균 그래프를 근거하여 각 정점의 time window를 설정하였다. 즉 N200은 자극 제시 150-250ms 사이에 관찰되는 가장 큰 부정적 정점으로 정의하였고, P250은 200-300ms 사이의 가장 큰 정적 정점으로, P300은 300-700ms 사이의 가장 큰 정적 정점으로 그리고 N400은 350-450ms 사이의 가장 큰 부정적 정점으로 정의하였다. 각 피험자가 세 조건에서 보인 사건관련전위에서 각 정점의 진폭과 잠재 시간을 찾았으며 이를 two-way ANOVA, within-subject design, repeated measure로 분석하였다.

3.2.2 N200, P250의 진폭과 잠재 시간

N200의 진폭을 변량분석한 결과 전극부위에서만 의미 있는 차가 나타났다 ($F_{2,32}=8.565$, $P<.05$). 즉 Pz에서 측정된

N200의 진폭이 Fz, Cz에서 측정된 진폭보다 의미 있게 크게 나타났다. N200의 잠재 시간도 전극부위에서만 의미 있는 차가 나타났는데 ($F_{2,32}=8.417$, $P<.05$), Pz에서 측정된 N200의 잠재 시간이 Fz, Cz보다 더 빨랐다. P250의 경우에는 진폭과 잠재 시간에 있어서 전극부위 혹은 자극의 반복제시에서 의미 있는 차가 없었다.

3.2.3 P300의 진폭과 잠재 시간

표2는 P300의 진폭을 변량분석한 결과를, 그리고 표3은 Fz, Cz, Pz 부위에서 그리고 비반복, 즉각적 반복, 지연 반복제시 조건에서 측정된 P300의 평균진폭을 기술하고 있다. 전극부위와 자극의 반복제시(lag)에서 의미 있는 차가 있었다. 즉 Pz부위에서 측정된 P300의 진폭이 가장 컸으며 즉각적 반복 조건에서 측정된 P300의 진폭이 비반복 및 지연 반복제시보다 의미 있게 더 컸다.

P300의 잠재 시간의 경우 전극부위에서만 의미 있는 차이가 나타났다($F_{2,60}=1.832$, $P<.05$). 그러나 비록 통계적으로는 유의미하지는 않았지만 자극의 반복제시에서도 의미 있는 결과가 나타났는데, 즉각적 반복제시에서의 P300의 잠재 시간이 비반복 및 지연 반복제시보다 더 빨랐다 ($F_{2,60}=3.007$, $P=.067$).

표3. Fz, Cz, Pz부위에서의 평균 P300 진폭

	non-repetition	immediate	delayed
Fz	5.27(3.75)	5.74(3.24)	4.71(2.77)
Cz	5.69(3.44)	9.04(6.79)	5.55(3.18)
Pz	6.48(2.65)	8.70(5.42)	6.27(3.13)

3.2.4 N400의 진폭과 잠재시간

즉각적 재인에서는 N400이 관찰되지 않았기 때문에 지연 재인과 비반복적 재인에서 측정된 N400만을 분석하였다. 변량 분석 결과 N400의 진폭과 잠재시간에서는 전극부위, 자극의 제시시간에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

4. 논의

단어를 즉각적으로 반복제시하여 재인하게 할 경우 5개의 간섭 단어 후에 재인하게 하거나 비반복적인 단어를 재인하게 하는 것에 비해 반응정확율이 더 높았고 반응 시간도 더 빨랐다. 그리고 사건관련전위에서는 P300의 진폭이 의미 있게 컸으며 잠재시간도 빠르게 나타났다. 이뿐만 아니라 비반복적인 단어의 재인이나 지연 재인에서는 관찰되는 N400이 즉각적 재인에서는 관찰되지 않았다. 이 결과들은 즉각적 재인과 지연 재인이 서로 다른 대뇌 기전에 근거한다는 것을 시사하며, 이를 현재 알려져 있는 사건관련전위의 기능에 비추어 살펴보기로 하자.

자극제시 300-600ms 사이에 관찰되는 정적정점인 P300이 어떤 심리적 과정을 반영하는가에 대해서는 아직까지 일치된 견해는 없다. P300이 주의력, 정보전달, 자극의 범주, 맥락 최신화(context updating) 및 template matching 과정 등을 반영한다고 알려져 있다. P300이 template matching 과정을 반영한다고 주장하는 이들은 신호탐지(signal detection)를 요하는 과제를 사용하여 P300을 측정하였다 [13]. 이들에 의하면 신호탐지 과제에서 피험자는 2 개의 template을 형성하게 되는데, 하나는 탐지해야 하는 신호에 대한 것이고 다른 하나는 신호부재(signal-absence)에 관한 template이라고 한다. 자극이 template과 일치할 경우 P300이 생성되며 자극과 template이 유사할수록 P300의 진폭이 커지고 잠재시간은 짧아진다고 한다. 본 연구에서 즉각적으로 반복 제시된 단어를 재인할 경우 5개의 간섭단어가 있는 후에 재인하거나 반복되지 않은 단어를 재인할 때에 비해 template matching이 더

쉽게 그리고 더 정확하게 일어날 것이며 이 결과 P300의 진폭이 증가하고 잠재시간이 빨라진 것으로 여겨진다.

기억 탐색의 과정을 반영하는 것으로 알려져 있는 N400은 자극 제시 350-450ms사이에 관찰되는 부적 정점이다. N400은 복잡한 자극에 대한 평가나 처리가 요구될 때에만 관찰되는 것으로 미루어 자극의 여러 속성들을 통합하는 과정을 반영하는 것으로 여겨진다 [14]. 그리고 간섭 자극의 수가 증가할수록 N400의 진폭도 증가하는 것으로 미루어 N400이 기억 탐색의 과정을 반영한다는 주장도 있다 [8]. 본 연구에서는 즉각적 재인에서는 N400이 관찰되지 않는 반면 비반복적 단어의 재인이나 지연 재인의 경우에는 N400이 관찰되었다. 즉각적 재인의 경우에는 방금 제시되었던 자극이 뒤이어 바로 반복 제시되기 때문에 재인을 위한 탐색 과정이 필요하지 않는 반면 지연 재인이나 비반복적 단어의 재인에는 정확한 재인을 위해서는 탐색과정이 반드시 필요하다. 이 결과 이 두 조건에서만 N400이 초래된 것으로 여겨진다. N400의 생성지에 관한 일치된 견해는 없지만 내측두엽에 병소를 갖는 간질환자들에서 N400의 진폭이 감소되거나 관찰되지 않는 것으로 미루어 내측두엽이 N400의 생성지일 가능성이 높다 [15]. 이는 기억 탐색의 과정을 반영한다는 N400의 기능과도 일치한다. 따라서 추후 연구에서는 내측두엽에 병소를 갖는 간질환자와 정상인이 N400의 진폭과 잠재시간에 어떤 차이를 보이는가를 조사함으로써 N400의 생성에 내측두엽이 갖는 역할을 이해할 수 있을 것으로 여겨진다.

참고문헌

- [1] Potter, D.D., Pickles, C.D., Roberts, R.C., and Rugg, M. D. " The effects of scopolamine on event-related potentials in a continuous recognition memory task" *Psychophysiology, Vol.129, No. 1*, pp.29-37, 1992.
- [2] Wilson, R.S., Bacon, L.D., Fox, J.H., and Kaszniak, A.W. " Primary memory

- and secondary memory in dementia of the Alzheimer type" *Journal of Clinical Neuropsychology*, Vol.5, pp. 337-344, 1983.
- [3] Donchin, E. "Surprisesurprise?" *Psychophysiology*, Vol. 18, pp.493-515, 1981.
- [4] Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., and John, E.R. " Evoked potential correlates of stimulus uncertainty" *Science*, Vol. 150, pp. 1187-1188, 1965.
- [5] Donchin, E., and Coles, M.G.H. " Is the P300 component a manifestation of context updating?" *Behavioral and Brain Science*, Vol. 11, pp. 357-374. 1988.
- [6] Kutas, M., and Hillyard, S.A. " Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity" *Science*, Vol. 207, pp. 203-205, 1980.
- [7] Stuss, D.T., Sarazin, F.F., Leech, E.E., and Picton, T.W. " Event-related potentials during naming and mental rotation" *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 56, pp. 133-146, 1983.
- [8] Stuss, D.T., Picton, T.W., and Cerri, A.M. " Searching for the names of pictures: an event-related potential study" *Psychophysiology*, Vol. 23, pp. 215-223, 1986.
- [9] Chao, L.L., Nielsen-Bohlman, L., and Knight, R.T. " Auditory event-related potentials dissociate early and late memory processes" *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 96, pp. 157-168, 1995.
- [10] Nielsen-Bohlman, L., and Knight, R.T. " Event-related potentials dissociate immediate and delayed memory" *Cognitive Electrophysiology: Basic and Clinical Research*, pp. 169-183, 1994.
- [11] Rugg, M.D. " Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low-frequency words" *Memory and Cognition*, Vol. 18, No. 4, pp. 367-379, 1990.
- [12] Rugg, M.D., and Doyle, M.C. " Event-related potentials and recognition memory for low- and high-frequency words" *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 4, No. 1, pp. 69-79, 1991.
- [13] McCarthy, G., and Donchin, E. " A metric for thought: a comparison of P300 latency and reaction time" *Science*, Vol. 211, pp. 77-80, 1981.
- [14] Rugg, M.D., Furda, J., and Lorist, M. " The effects of task on modulation of event-related potentials by word repetition" *Psychophysiology*, Vol. 25, pp. 55-63, 1988.
- [15] Rugg, M.D., Roberts, R.C., Potter, D.D., Pickles, C.D., and Nagy, M.E. "Event-related potentials related to recognition memory: effects of unilateral temporal lobectomy and temporal lobe epilepsy" *Brain*, Vol. 114, pp. 2313-2332, 1991.