

차량 번호판 목격자의 기억 평가를 위한 사건 관련 전위 연구

함근수¹ · 표주연¹ · 장태익¹
유성호²

¹국립과학수사연구원 법심리과

²서울대학교 의과대학 법의학연구소,
서울대학교 의과대학 법의학고실

Received: October 26, 2015

Revised: November 12, 2015

Accepted: November 23, 2015

Correspondence to

Seong Ho Yoo

Institute of Forensic Medicine and
Department of Forensic Medicine, Seoul
National University College of Medicine,
103 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul
03080, Korea

Tel: +82-2-740-8360

Fax: +82-2-764-8340

E-mail: yoosh@snu.ac.kr

Estimation of Eyewitness Identification Accuracy by Event-Related Potentials

Keunsoo Ham¹, Chuyeon Pyo¹, Taeik Jang¹, Seong Ho Yoo²

¹Psychological Forensics Division, National Forensic Service, Wonju, Korea,

²Institute of Forensic Medicine and Department of Forensic Medicine, Seoul National
University College of Medicine, Seoul, Korea

We investigated event-related potentials (ERPs) to estimate the accuracy of eyewitness memories. Participants watched videos of vehicles being driven dangerously, from an anti-impaired driving initiative. The four-letter license plates of the vehicles were the target stimuli. Random numbers were presented while participants attempted to identify the license plate letters, and electroencephalograms were recorded. There was a significant difference in activity 300–500 milliseconds after stimulus onset, between target stimuli and random numbers. This finding contributes to establishing an eyewitness recognition model where different ERP components may reflect more explicit memory that is dissociable from recollection.

Key Words: Electroencephalogram; Event-related potentials, P300; Witness; Memory; Recognition

서 론

사건 관련 전위는(event-related potential, ERP)는 뇌에서 어떠한 자극에 대해 반응의 결과로 나타나는 전위차로 주로 뇌전도를 통해 측정될 수 있다. 여러 기억 연구들에서 사건 관련 전위를 이용하여 기억 인출과 관련된 여러 ERP 성분을 밝히고, 각 ERP 성분의 역할에 대해 다양한 견해들을 제시하였다[1]. ERP 성분 중의 하나인 P300은 자극 제시 후 약 200 msec에서 시작하여 약 300 msec에 정점에 도달하며, 400 msec 이후까지 효과를 보이는 정적파로서 주의나 지각 등의 다양한 인지적 처리과정을 반영한다. ERP 중에서 인지작용과 연관되어 가장 활발하게 연구되고 있는 P300은 제시 확률이 낮은 목표 자극에 대해서, 그 자극이 실험참가자의 과제와 관련이 있을 때, 그리고 실험참가자가 그 자극에 주의를 기울일 때 나타난다.

또한 P300은 일반적으로 맥락 정보 처리과정(contextual updating process)과 관련이 있다고 알려져 있는데, 이는 들어온 자극이 이미 저장되어 있는 기억과 서로 비교, 처리되는 과정과 관련이 있다는 것이다[2,3]. P300의 기능에 대해 외현적 재인(recognition) 기억 과정을 반영한다고 알려져 있을 뿐 아니라 암묵적인 재인 과정에서도 나타난다는 증거가 있다[4]. 또다른 ERP 성분인 N400은 자극 제시 후 약 400 msec에서 정점에 도달하는 부적파로서, 의미기억에의 접근과 단어식별[5], 또는 의미적 요인을 반영하거나[6], 현재의 자극 표상을 그 자극이 발생한 맥락 표상에 통합시키는 재인 후 과정 등을 반영한다[7]. Rugg 등[8]은 참가자에게 제시된 단어를 의미적 또는 지각적으로 처리하게 한 후 재인지각 검사를 실시하였다. 재인지각 검사 도중 ERP를 측정하여, 자극 제시 후 300–500 msec에서 ERP 파형의 평균 진폭을 분석하였다. 그 결과,

300-500 msec에서는 학습한 단어가 학습하지 않은 단어에 비해 후두 영역에서 더 정적인 파형이 나타났다. 연구자들은 이것을 P300과 N400이 자극 부호화과정과 어휘접근과정을 반영하는 것이라고 해석했다[9,10].

한편, Ko 등[11]은 식별 없는 인지에 관한 ERP 연구를 실시했는데, 이 실험에서 실험참가자들은 높은 불확실성 하에서 사실상 추측에 기반하여 이미 본 자극과 새로운 자극을 구분하였다. 연구 결과, 실험참가자들은 이미 본 자극과 새로운 자극을 행동적 반응으로써 재인하는 데 실패했을 때는 후두엽의 N400의 반응에 있어 자극 간 차이를 보였던 반면, 자극을 식별하고 변별한 경우에는 전두엽에서 N400이 유발되었음을 보여주었다. 이 연구에서는 자극의 식별 여부에 따라 정답 반응의 뇌파에 변화가 있다는 것을 보였다.

본 연구에서는 이런 ERP의 특성과 경향성을 응용해서 수사적 맥락에서 목격자의 기억 정확성을 평가하는 데 활용하기 위한 방법론을 알아보고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 실험참가자들의 행동적 반응(목표 자극과 비목표 자극의 선택)과 신경적 반응(뇌파도, electroencephalogram, EEG 기록)을 통합하여 살펴보고, 자극을 목격한 목격자가 그 내용 재인할 때 ERP 특히, P300 혹은 N400에서는 어떤 특성 및 경향성을 보일 것인지를 알아보려고 한다.

본 연구와 동일한 목적 하에 시각적 심상과 청각적 자극을 이용한 차량 번호판에 대한 목격자 기억을 살펴본 연구에서는 목표 자극의 P300 파형이 비목표 자극의 파형보다 더 크게 나타났다[12].

이전의 실험과 마찬가지로, 본 연구에서는 비디오를 통해 시각적 자극인 차량 번호판을 목격하도록 한 후 재인 과정에서 이에 대해 시각적 심상 동안 목표 자극과 비목표 자극을 시각적으로 제시하는 상황에서 실험참가자들의 ERP 특성 및 경향성을 알아보려고 한다. 또한, 실험 결과의 실제 수사 적용가능성 및 현실성을 높이기 위해, 이전의 연구[12]에서 사용된 비디오에서 단순히 차량 번호판에 대한 정보만을 제공한 것과는 달리, 본 실험에서는 실제로 음주단속을 피해 도주하는 차량이 나타나는 비디오를 사용하였다.

본 연구는 목격자 기억의 정확성이 중요한 수사 상황에서 ERP의 활용 방안을 탐색하기 위해, 자동차 번호판 네 자리 숫자를 목격하고 이를 시각적 자극으로 재인하는 동안 나타나는 P300 또는 N400의 경향성과 특성을 알아보았다.

재료 및 방법

1. 실험참가자

총 42명이 실험에 참가하였고(남 13명, 여 29명), 참가자들의 연령은 20세-30세 범위였다(평균 21.38 ± 1.91 세). 실험참여

자는 모두 오른손잡이였으며, 정상적 시력 또는 교정 시력이 정상이었다.

실험참가자에게 실험과 뇌파 기록 등에 관해 자세하게 설명한 후 질문하는 경우에는 질문에 답해주었다. 설명 후 실험 동의서를 작성하도록 했다. 실험참가자들은 추후에 실험 참여 대가로 실험참가비를 지급받았다. 실험을 위해 국립과학수사연구원 연구심의위원회 승인을 받았다.

실제로 정답에 대해 외현적인 재인과 회상이 불가능한 실험참가자들의 암묵적인 기억에 의해 나타나는 ERP 성분을 분석하기 위해, 오답을 선택한 21명의 실험참가자들만 최종적으로 분석에 포함시켰다.

2. 실험 재료

음주 운전 단속을 피해 도망가는 도주차량 번호를 다른 차량이 추적하면서 촬영한 블랙박스 영상을 실험에 사용하였다. 실험 자료는 약 5분 분량이였다. 블랙박스 영상에서 도주차량이 두 번의 사고를 낸 후 사고 현장에 일정 시간 머무는 장면이 있었기 때문에 목격자인 실험참가자들은 도주하는 차량 번호판의 번호를 적어도 2회 이상 자세히 볼 수 있었다.

3. 실험절차

시각적 심상을 하는 동안 EEG를 기록하기 위한 시각적 자극은 ePrime(Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA, USA)을 이용해 0-9까지의 숫자를 무선적으로 10회 제시하였다. 자극은 각 기간(session)별로 제시되었는데, 첫 번째 기간에서 실험참가자에게 번호판의 네 자리 숫자 중 첫 번째 번호를 보고 있다고 생각하라는 지시(시각적 심상)를 한 후 번호판의 첫 번째 숫자인 목표 자극과 비목표 자극을 무선적으로 10회 반복 제시했다(시각적 자극 제시). 그리고 이어지는 두 번째, 세 번째, 그리고 네 번째 기간에서 각각에서 자동차 번호판의 각 위치에 해당하는 목표 자극과 비목표 자극을 무선적으로 10회 반복 제시하는 방법을 사용했다. 한 기간이 끝날 때마다 실험참가자에게 목표 차량의 번호가 무엇이라고 생각되는지를 답을 하도록 하고, 이를 체크리스트에 기록했다. 실험참가자들은 실험 동의서를 작성한 후 음주운전 단속을 피해 도주하는 도주차량을 추적하는 영상을 약 5분간 시청하였다. 그리고 다음과 같이 지시를 하였다. “이 실험은 당신의 기억력을 알아보는 것은 아닙니다. 단지 카메라가 촬영한 화면을 보시면서 당신은 사건에 대한 목격자가 되는 겁니다. 나중에 당신이 지금 본 비디오에 대해서 생각할 때 당신의 뇌파에서는 어떤 변화가 있는지를 알아보기 위한 것입니다.”

실험참가자와 모니터 간 거리는 약 150-200 cm이었으며, 실험 재료를 보기 전 질문을 통해 시력 등의 이유로 정확하게

보이지 않는다고 하면, 위치를 이동해 볼 수 있도록 했다.

동영상 시청 후에는 뇌파측정기를 부착하기 위해 차폐와 방음시설이 이루어진 실험실로 이동하여, 뇌파측정기에 대한 설명을 해준 후, 64채널 캡형 Neuroscan (SynAmps, Compumedics, El Paso, TX, USA) 뇌파측정기의 전극을 부착하였다. 뇌파측정기의 전극을 부착하는 동안 실험참가자에게 실험내용과는 관계없는 인지 과제(예, 1부터 시작해서 각 숫자에 3을 연속해서 더해가는 숫자 세기)를 하도록 해서 목적 내용에 대한 내적 리허설 과정을 통제하고자 했다.

뇌파측정기의 전극을 부착한 후 뇌파를 기록하는 동안 다음과 같은 방법을 통해 재인 검사를 실시했다.

시각적 심상은 실험참가자들에게 비디오 장면 중 차량의 번호판을 보는 장면에서 화면이 멈추었다고 생각하도록 했다. 이어서 멈춘 차량의 번호판의 네 자리 숫자만을 쳐다보고 있다고 생각하도록 했다. 그리고 각 기간에서 번호판의 각 자리에 해당하는 숫자만을 보고 있다고 생각하도록 했다. 각 기간에 따라 첫 번째 기간에서는 번호판의 네 자리 숫자 중 첫 번째 숫자를 쳐다보고 있다고 생각하도록 하고, 두 번째 기간에서는 네 자리 숫자 중 두 번째 숫자를 쳐다보고 있다고 생각하도록 하는 등 각 기간별 시각적 심상 지시는 번호판의 위치에 따라 변화되었다. 실험참가자들이 뇌파 기록 장치를 부착한 후 자동차 번호판 네 자리 숫자 각각에 대해 시각적 심상을 하는 동안 모니터를 통해 제시된 시각적 자극이 자신이 기억하고 있는 숫자와 일치하면 오른쪽 버튼을, 일치하지 않으면 왼쪽 버튼을 누르게 했다. 자극 제시가 끝난 뒤에 실험참가들에게 자신이 선택한 숫자에 대해 1점(전혀 확신하지 않는다)부터 7점(아주 확신한다)까지의 범위에서 확신도를 체크하였다(Fig. 1).

4. EEG 기록

실험은 차폐와 방음이 이루어진 실험실에서 실시되었다. ERP는 Neuroscan (SynAmps, Compumedics)을 사용하여 64개 전극 부위에서 기록하였다. 뇌파 기록을 위한 전극 위치는 국

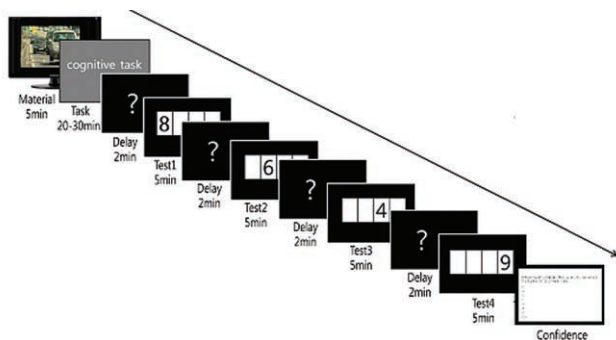


Fig. 1. Summary of methods in this study.

제 10-20 시스템에 따랐으며, 양 귀볼에 2개의 참조 전극을 부착하였고, 눈 움직임을 기록하기 위한 안전도(electro-oculogram) 측정 전극 2개를 왼쪽 눈 상측부와 하측부에 부착하였다.

5. ERP 분석

Band-pass는 0.1-30 Hz (24 dB)이고, sampling rate는 250 Hz였다. 잡음제거(artifact rejection)는 -50V에서 50V이었다. 시행(trial) 당 ERP 기록 시간은 자극 제시 전 200 msec에서 자극 제시 후 500 msec까지 전체 700 msec이었다. 실험참가자가 목표 자극을 답한 정답과 목표 자극을 답하지 못한 오답을 구분하여 SCAN 4.3(compumedics)에서 자료를 변환하여 분석하였다. 시각적 심상과 시각적 자극 제시 동안 실험참가자의 대뇌에서 기록한 ERP 성분 중 자극 제시 이후 300-500 msec 사이의 성분에 대해 목표 자극이 제시되었을 때와 목표 자극이 없을 때 간 차이를 비교하기 위해 전체 평균(grand average)을 산출한 후 반복 측정 ANOVA를 실시해 차이가 나타나는 전극 위치를 알아보았다.

결 과

1. 행동 분석

전체 42명의 실험참가자들 중에서 21명의 참가자들(50%)이 실제 목표 자극과 비목표 자극을 혼동하는 오류를 범했다. 따라서 21명의 참가자들 자료만 최종 분석에 포함시켰다.

전체 실험참가자들의 확신도는 4.64 ± 2.02 였고, 정답자의 확신도(5 ± 2.06)가 오답자의 확신도(3.63 ± 2.06)보다 높았다.

2. ERP 분석

이전의 연구[12]에서 Cz를 중심으로 한 midline의 전극 위치에서 P300의 효과가 크게 나타났기 때문에, 본 연구에서 Cz 전극을 분석하는 데 초점을 맞췄다. Cz 전극에서 나타나는 ERP 파형을 분석한 결과는 다음과 같다.

자극 제시 후 300-500 msec 사이에서 목표 자극이 비목표 자극보다 더 큰 부적인 파형을 보였다($F(1,20)=4.753$, $P<0.05$). 반면에 다른 시간대에서는 두 조건 간의 차이가 나타나지 않았다(Fig. 2).

고 찰

본 연구는 도주 차량 영상을 시청한 실험참가자가 차량 번호판

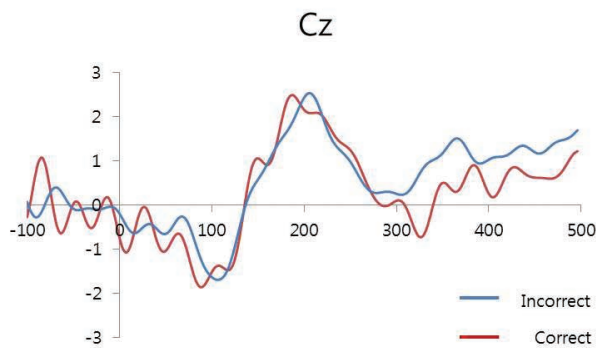


Fig. 2. Difference of event-related potential effect in the location of Cz is demonstrated according to the presence of target stimuli.

의 번호를 시각적 심상과 시각적 자극 제시 동안 뇌파 변화를 알아보기 위해 실시되었다. 이것은 목격자가 중요 사건 정보를 지각했지만, 의식적으로 이를 기억하거나 회상하지 못하는 상황에서 사건에 대한 정보를 추론할 수 있는 방법을 탐색하기 위함이다. 따라서 실험참가자가 시각적 심상을 하는 동안 시각적으로 자극을 제시 받는 상황에서, 목표 자극의 유무에 따라 대뇌의 ERP 변화를 알아보았다.

연구의 주요 결과는 자극 제시 후 300-500 msec의 시간대에서 목표 자극과 비목표 자극에 대한 ERP 파형의 차이가 나타났다. 즉, 목표 자극에 대한 ERP 파형이 비목표 자극에 대한 파형보다 더 부적인 파형을 보였다. 이와 같은 ERP 분석 결과는 Rugg 등[8]의 실험에서 제시된 단어에 대해 의미적 또는 지각적 처리를 하게 한 후 재인기억 검사를 실시하고, 이 과정에서 ERP를 측정했을 때 자극 제시 후 300-500 msec에서 학습한 단어가 학습하지 않은 단어에 비해 더 큰 파형 변화를 보였다는 결과와 맥락을 같이 한다.

이전의 시각적 심상과 청각적 자극 제시 연구[12]에서 시각적 심상을 하게 되는 차량 번호판의 숫자를 단순히 보여주기만 한 반면에, 본 실험에서는 실제로 음주운전 단속을 피해서 도주하는 차량의 번호판을 제시하는 방법을 사용했다. 이것은 단순 번호 목격보다는 실제 사건과 유사한 형태이기 때문에 범접수사와 관련된 목격자의 사건 관련 내용의 회상이나 재인에 대한 기대와 동기를 더 높여주었을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구의 결과는, 범죄 현장 수사에서 범죄 피해자 및 목격자의 기억 정확성을 시각적으로, 객관적으로, 그리고 실시간으로 평가할 수 있는 모델을 설정하는 데 한 걸음 더 나아간 것으로 여겨진다.

유사한 목적을 가지고 실시했던 사전연구[12]의 결과에서는 P300에서 그 효과의 차이가 나타났지만, 본 연구에서는 좀 더 늦은 시간대인 N400에 가까운 시간대에서 두 조건 간의 차이가 명확해졌다. 이러한 이유는 청각적인 정보를 처리하는 것

이 시각적인 정보를 처리하는 것보다 더 빠른 시간대에서 발생하기 때문일 수도 있다. 또 다른 가능성은 본 실험에서 사용된 자극이 좀 더 범죄 현장에 가까웠기 때문이다. 즉, 실험참가자가 차량 번호판을 좀 더 현실에 가까운 범죄현장의 목격자로서 보았기 때문에, 자극에 대한 주의가 더 높았거나 자극에 대한 정서적인 처리과정이 부가적으로 포함되는 정보처리가 필요할 수 있다.

앞으로의 연구에서는 시각적 재료를 목격한 후 이에 대해 단순히 시각적 자극만 제시하는 것보다는 시각적-청각적 자극을 동시에 제공하는 방법 등을 사용한 보다 더 정교한 실험 설계와 절차를 이용한 연구가 필요할 것이다. 한편으로는 결과의 분석에 있어서, 목표 자극과 비목표 자극에 대한 ERP를 집단 차원에서 분석하는 것과 참가자 개별적 시행 분석을 하는 것도 목격자 기억 정확성 평가에 도움이 될 수 있을 것이다. 아울러 목격자의 기억 정확성 평가모델을 개발하기 위해서는 목격자의 기억 정확성에 영향을 미치는 주의 집중, 자극 특이성, 관찰 기회, 심리적 연루 또는 목격 시점과 회상 시점 간 시간 간격 등을 적절하게 통제된 실험 연구가 필요할 것으로 보인다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This research was supported by a grant for Development of Scientific Investigation funded by the National Forensic Service (2015-Psychology-01).

References

1. Dunn BR, Dunn DA, Languis M, et al. The relation of ERP components to complex memory processing. *Brain Cogn* 1998;36:355-76.
2. Cooper R. Distribution, origins and cognitive correlate of event related potentials. In: Sinz R, Rosenzweig MR, eds. *Psychophysiology: memory, motivation and event-related potentials in mental operations*. Amsterdam: Elsevier Biomedical Press; 1977. p. 315-23.
3. Donchin E, Coles MG. Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci* 1988;11:357-74.
4. Mannel C, Bertow K, Tamm S, et al. Implicit recognition of painting style: ERP studies on art perception [Internet]. Gottiegen: Kongress der Deutschen Gesellschaft fur Psychologie; 2004 [cited 2015 Oct 1]. Available from: <http://www.ewi-psy.fu-berlin.de/>.
5. Bentin S. Event-related potentials, semantic processes, and expectancy factors in word recognition. *Brain Lang* 1987;31:308-27.

6. Kutas M, Hillyard SA. Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 1980;207:203-5.
7. Rugg MD. Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low-frequency words. *Mem Cognit* 1990;18:367-79.
8. Rugg MD, Mark RE, Walla P, et al. Dissociation of the neural correlates of implicit and explicit memory. *Nature* 1998;392:595-8.
9. Park TJ. Neurological dissociation of implicit and explicit memory by level of processing: an event-related potential study. *Korean J Cogn Biol Psychol* 2003;15:289-301.
10. Johnson R Jr. Auditory and visual P300s in temporal lobectomy patients: evidence for modality-dependent generators. *Psychophysiology* 1989;26:633-50.
11. Ko PC, Duda B, Hussey EP, et al. Electrophysiological distinctions between recognition memory with and without awareness. *Neuropsychologia* 2013;51:642-55.
12. Ham KS, Pyo CY, Ro SH. Study on the eyewitness event-related potential tendency in situations with visual imagery and auditory stimulation. *Korean J Investig Psychol* 2014;1:53-74.