

Detection of Feigned Memory Impairment using Brain Oscillation and Event-related Potential

Min-Hee Lee¹, Hajung Jeon², Jin-Hun Sohn², Jin-Sup Eom¹

¹Chungbuk National University, Department of Psychology, Cheongju, 28644

²Chungnam National University, Department of Psychology, Daejeon, 34134

노 파동과 사건관련전위를 이용한 허위기억손상의 탐지

이민희¹, 전하정², 손진훈², 엄진섭¹

¹충북대학교 심리학과

²충남대학교 심리학과

Corresponding Author

Jin-Sup Eom

Chungbuk National University,
Department of Psychology, Cheongju,
28644

Mobile : +82-10-9452-0940

Email : jseom2003@hanmail.net

Received : April 02, 2018

Accepted : April 11, 2018

Objective: The purpose of this study is to develop new method for detecting feigned memory impairment using theta oscillation of electroencephalogram (EEG).

Background: It is estimated that many people claim feigned memory impairment after an accident for financial gain. Although recognition memory tests was used to detect feigned memory impairment, it has been shown that examinees can easily manipulate the test results. There are new studies to suggest new methods using event-related potential (ERP) to detect feigned memory impairment. However, the discrimination accuracy of these methods was not sufficient.

Method: Thirty participants took a recognition memory test during both malingering and amnesia model condition while their EEGs were recording. EEGs were recorded from F3, Fz, F4, Cz, P3, Pz, and P4 sites. Event-related potential (ERP) old/new effects were calculated from the difference between ERPs for old and new words. Theta wave was extracted from EEG using 4~8Hz band-pass filter, and event-related (ER) theta old/new effects were calculated from theta wave.

Results: The big difference between two conditions was observed in ERP old/new effects and ER theta old/new effects measured at Cz and P3 site. The correlation between ERP old/new effect and ER theta old/new effect was as low as .22. The detection accuracy of feigned memory impairment was 74.4% when using only ERP old/new effect, and was 72.1% when using only ER theta old/new effect. When both were used, the accuracy increased to 83.7%.

Conclusion: ERP old/new effect and ER theta old/new effect reflect different aspects of recognition memory. Therefore, using both effects will increase the accuracy of the detection of feigned memory impairment.

Application: The results of the study will help to develop standardized tests for detecting feigned memory impairment.

Keywords: Theta oscillation, Event-related potential, Feigned memory impairment, Recognition memory

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. Introduction

사람들은 하루에 평균 200회의 거짓말을 한다는 조사결과가 있으며(Jellison, 1977), 10분 간의 대화에서 약 2회의 거짓말을 한다는 보고도 있다(Feldman et al., 2002). 물론 이 연구에서 언급한 거짓말은 악의가 없는 경우가 대부분이다. 그러나 상황에 따라서는 악의를 가진 불법적인 목적으로 거짓말을 하는 경우가 있다. 이러한 경우 중 한 가지는 교통사고 등을 당한 환자들이 보상금이나 지원금 등을 목적으로 자신의 증상을 과장하거나 허위로 증상을 만들어내는 것이다. 증상을 과장하거나 없는 증상을 있는 것처럼 행동하는 것을 꾀병 또는 사병(malingering)이라고 한다.

선행연구들은 보상금이나 지원금이 관련된 상황에 꾀병을 부리는 경우가 5~40%에 이른다고 추정하고 있다(Mittenberg et al., 2002; Rogers et al., 2011; Young, 2015). 뇌손상 환자들의 가장 흔한 증상이 기억력 저하이므로 꾀병을 부리는 사람들도 기억력 저하를 주로 호소한다(Tayler et al., 2003). 이에 따라서 허위로 기억력 저하를 주장하는 사람들을 탐지하기 위한 검사들이 개발되어 왔다. 대부분의 검사들은 기억할 항목을 제시하고 일정한 시간이 지난 후에 회상검사나 재인기억검사를 실시하는 형태로 이루어져 있다. 대표적인 검사들은 레이 15항목 검사(Rey, 1964), 기억괴병검사(Tombaugh, 1996), 단어기억검사(Green et al., 1997), 포틀랜드 숫자재인검사(Binder, 1993) 등이다. 이 검사들이 허위기억손상을 탐지하는 논리는 간단하다. 이 기억검사들은 겉으로 보는 것보다 아주 쉬워서 실제로 기억이 순상된 환자들도 이 검사에서 높은 점수를 받는다. 따라서 만약 어떤 사람이 이 기억검사에서 낮은 점수를 얻는다면 꾀병이라고 판단할 수 있다. 허위기억손상을 탐지하는 검사들은 한 가지 치명적인 문제점을 가지고 있는데, 바로 전문가의 조언에 취약하다는 것이다. 기억검사에서 너무 많은 오답을 하지 말라는 조언만으로도 허위기억손상을 탐지하는 능력이 크게 감소한다(Sollman and Berry, 2011). 이러한 문제점을 보완하기 위하여 뇌파의 사건관련전위(event-related potential: ERP)를 이용하여 허위기억손상을 탐지한 연구들이 있다(Ellwanger et al., 1996; Tardif et al., 2002; Vagnini et al., 2008).

뇌파를 이용한 허위기억손상 탐지연구들은 모두 재인기억검사를 실시하면서 뇌파를 측정한다. 즉, 학습단계에서 단어나 단순한 그림을 기억하도록 한 후, 검사단계에서는 앞서 제시되었던 항목(old 항목)과 제시되지 않았던 항목(new 항목)을 조사대상자에게 하나씩 제시하면서 학습단계에 제시되었던 항목을 고르도록 하면서 뇌파를 측정한다. 재인기억검사에서 new 항목과 old 항목에 대한 ERP를 산출하면, new 항목보다 old 항목에서 더 큰 전위의 파형이 나타난다(Rugg and Doyle, 1992). 이는 old 항목을 회상하고 유지하는 대뇌 피질의 활동 때문에 나타나는 현상이다(Wagner et al., 2005). Old 항목과 new 항목 간의 ERP 차이를 ERP old/new 효과라고 부른다. ERP old/new 효과는 기억을 반영하므로 실험참가자의 반응과 무관하게 기억을 평가할 수 있을 것이다. ERP를 이용한 허위기억손상 탐지방법들도 한 가지 단점을 가지는데 정확도가 높지 않다는 점이다. ERP만 이용하여 허위기억손상을 탐지한 연구들은 허위로 기억손상을 주장하는 사람들을 약 70~80%의 정확도로 탐지하고 있다(Ellwanger et al., 1996; Rosenfeld et al., 1999; Tardif et al., 2002; Vagnini et al., 2008). 따라서 뇌파를 이용한 허위기억손상 탐지검사의 정확도를 높이기 위한 새로운 방법이 필요하다.

ERP old/new 효과가 기억을 반영하는 것처럼 Theta 파동(oscillation)도 기억과 밀접한 관련이 있다. 해마기억 지표 이론(hippocampal memory indexing theory)에 따르면 재인기억은 해마와 대뇌 피질의 상호작용에 의해서 이루어진다(Teyler and Rudy, 2007). 이때 해마와 대뇌 피질은 Theta 파동의 동기화를 통하여 서로 상호작용하며(Nyhus and Curran, 2010), Theta 파동에 의해 기억이 활성화된다. 재인기억검사에서 Theta old/new 효과가 나타난다는 것을 보고한 연구들이 다수 있다(Addante et al., 2011; Gruber et al., 2008; Klimesch et al., 2006). 더욱이 ERP old/new 효과와 Theta old/new 효과가 서로 독립적이라는 연구결과들이 있다(Jacobs et al., 2006; Klimesch et al., 2000). 따라서 ERP old/new 효과와 더불어 Theta old/new 효과를 이용하여 허위기억손상을 탐지한다면, ERP old/new 효과만 이용하는 경우보다 허위기억손상을 보다 정확하게 탐지할 수 있을 것이다. 본 연구의 목적은 ERP old/new 효과와 더불어 Theta old/new 효과를 함께 이용하였을 때 허위기억손상을 더 잘 탐지하는지 확인하는 것이다.

2. Method

2.1 Participants

과거 정신과나 뇌손상 병력이 없다고 응답한 오른손잡이 남녀 대학생 30명이 실험에 참가하였다. 남자 15명과 여자 15명이었으며, 평균연령은 22.0세(범위 19~24세)였다. 실험참가자들은 실험을 실시하기 전에 실험에 대한 설명을 듣고 실험참가에 대해 서면 동의하였

으며, 실험이 끝난 후 금전적 보상을 받았다.

2.2 Stimulus

재인기억검사에 총 320개의 단어를 사용하였다. 이중 160개는 허위기억손상 조건에, 나머지 160개는 기억손상모형 조건에 할당하였다. 각 실험조건에서 80개는 학습단계에 사용하였고, 검사단계에서는 학습단계에 포함되지 않았던 80개의 단어를 포함하여 총 160개의 단어를 사용하였다. 단어는 모두 두 글자 또는 세 글자로 구성되었다.

2.3 Data acquisition

국제 10~20 체계에 따라서 F3, Fz, F4, Cz, P3, Pz 및 P4에 전극을 부착하였다. 기준전극은 양쪽 귓불에, 접지전극은 이마에 부착하였다. 왼쪽 눈의 위와 아래에 전극을 부착하여 안전도를 측정하였다. 이때 안전도를 측정하는 두 개의 전극을 사선으로 배치하여 수직 안구운동(또는 눈 깜빡임)과 더불어 수평 안구운동도 동시에 기록하였다. 뇌파는 Grass Model 12 Neurodata Acquisition System (Grass Instrument, Quincy, MA, USA)을 사용하여 0.3~100Hz 대역여과한 후에 20,000배 증폭하였다. 안전도는 동일한 기기를 사용하여 5,000배 증폭하였다. 증폭시킨 뇌파는 MP150 A/D 변환기(Biopac Systems, Goleta, CA, USA)를 사용하여 250Hz의 표본율로 디지털 변환한 후, AcqKnowledge v4.1 (Biopac Systems Inc., Santa Barbara, CA, USA)을 이용하여 기록장치에 저장하였다. 실험자극의 제시와 반응의 기록은 SuperLab v5.0 (Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA)을 사용하였다.

2.4 Procedure

실험참가자에게 뇌파와 안전도 측정을 위한 전극을 부착한 후 실험을 실시하였다. 실험은 허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건으로 나누어 실시하였으며, 각 실험조건은 학습단계와 검사단계로 구성되어 있었다. 학습단계는 단어들을 학습시키는 단계이다. 이때 단어들을 단순히 암기하라고 지시한다면 기억손상을 거짓으로 주장하려는 사람들은 단어를 암기하지 않을 것이므로, 우연 학습을 시키는 것이 일반적인 방법이다(Tardif et al., 2002). 본 연구에서도 학습단어에 대해 문장을 이용한 우연 학습을 실행하였다. 구체적으로 컴퓨터 모니터의 중앙에 학습시킬 단어를 제시하고 그 아래에 빈칸을 포함하고 있는 문장을 제시하였다. 빈칸에 단어를 넣었을 때 문장이 참이면 '예' 반응 버튼(마우스 왼쪽 버튼)을 누르고 그렇지 않으면 '아니오' 반응 버튼(마우스 오른쪽 버튼)을 누르도록 지시하였다.

기억손상을 확인하기 위한 재인기억검사들은 비교적 쉬워서 정상적인 사람들에게 정답률이 높다는 특징을 가진다. 예비실험에서 남녀 대학생 10명을 대상으로 20개 단어를 우연 학습시킨 후 재인기억검사를 실시한 결과, 모든 참가자들의 정답률이 95% 이상이었다. 따라서 본 연구에서도 허위기억손상 조건에서 실험참가자들이 학습단어를 잘 기억할 수 있도록 80개의 단어들을 20개씩 4개의 묶음으로 나눈 후 한 번에 20개의 단어를 우연 학습시켰다. 즉, 허위기억손상 조건에서는 학습단계와 검사단계를 4회 반복하였다. 허위기억손상 조건과 비교하기 위한 기억손상 조건에서는 실제 기억능력이 손상된 사람들이 실험참가자로 참여하는 것이 이상적이지만 현실적으로 그러한 참가자를 모집하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 기억손상 조건 대신에 기억손상모형 조건을 사용하였다. 기억손상모형 조건은 Ellwanger 등(1999)의 제안에 따라 재인기억검사의 난이도를 높게 구성하여, 마치 기억이 손상된 사람들처럼 재인기억검사의 정답률이 낮게 나오도록 조작한 조건이다. 본 연구에서는 80개의 학습단어들을 연속적으로 제시하여 한 번에 우연 학습하도록 하여 난이도를 높게 조작하였다. 따라서, 기억손상모형 조건에서는 학습단계와 검사단계를 1회 실시하였다.

학습단계가 끝나면 재인기억검사를 위한 검사단계를 실시하였다. 검사단계에서는 학습단계에서 우연 학습한 단어(old 단어)와 새로운 단어(new 단어)를 동일한 비율로 섞어서 컴퓨터 모니터에 하나씩 제시한 후 old 단어와 new 단어를 변별하도록 지시하였다. 제시된 단어가 old 단어이면 '예' 반응 버튼(마우스 왼쪽 버튼)을 누르고 new 단어이면 '아니오' 반응 버튼(마우스 오른쪽 버튼)을 가능한 빠르게 누르도록 하였다. 기억손상모형 조건에서는 가능한 빠르고 정확하게 반응하도록 지시하였지만, 허위기억손상 조건에서는 의도적으로 오답을 하도록 하기 위하여 선행연구에 따라 아래와 같이 지시하였다(Rosenfeld et al., 1995; Tardif et al., 2002).

"이제 기억검사를 실시할 것입니다. 실험참가자께서는 사고 후에 금전적 이득을 목적으로 기억이 손상된 것처럼 검사에 답을 하여야 합니다. 뇌손상을 입은 사람들은 보통 주의 집중이 어렵고, 기억손상이 흔하게 발생합니다. 그러나 기억능력이 완전히 손상을 입는 경

우는 드물어서, 대부분의 경우에는 기억능력이 어느 정도 남아 있습니다. 따라서 기억이 손상된 것처럼 보이려고 할 때, 우연수준의 정답률인 50% 보다는 더 맞춰야 합니다".

학습단계에서 컴퓨터 모니터에 제시된 단어와 문장은 실험참가자가 반응 버튼을 누르면, 새로운 단어와 문장이 제시되도록 하였다. 검사단계에서 단어를 500ms 동안 제시하였고 매 3초마다 새로운 단어를 제시하였다. 자극은 실험참가자로부터 80cm 앞에 놓인 LCD 모니터에 제시하였다. 단어는 검은색 바탕에 흰색글씨로 제시하였으며 글자의 높이는 1cm였다. 실험참가자들은 허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건에 모두 참가하였으며, 두 가지 조건을 수행하는 순서는 참가자별로 역균형화하였다.

2.5 Data analysis

검사단계에서 측정한 뇌파를 분석하였다. 먼저 Semlitsch 등(1986)이 제안한 방법에 따라서 눈 깜빡임에 의해 왜곡된 뇌파를 교정하였다. 다음으로 전체 뇌파에 대하여 두 가지 디지털 필터를 각각 적용하여 분석에 필요한 성분을 추출하였다. 첫 번째는 ERP에 고주파 노이즈가 포함되지 않도록 하기 위하여 30Hz 저역통과 필터를 사용하였으며, 두 번째는 뇌파동 중 Theta 파동만 추출하기 위하여 4~8Hz 대역여과필터를 사용하였다. 두 가지 여과된 뇌파 각각에 대하여 각 검사단어가 제시되기 전후의 뇌파를 잘라 내에 분석에 사용하였다. 뇌파조각의 길이는 자극제시 전 100ms를 포함하여 총 1,300ms였다. 잘라 낸 뇌파조각들을 눈으로 확인하여 오염되지 않은 뇌파들만 분석에 사용하였다.

ERP는 old 단어와 new 단어 각각에 대하여 뇌파조각들을 자극제시시간에 맞춘 후 평균하여 산출하였다. Theta 파동도 Yener (2007)의 방법에 따라서 old 단어와 new 단어 각각에 대해서 사건관련(event related: ER) Theta를 산출하였다. 즉, ERP와 동일하게 Theta 여과된 뇌파조각들을 자극제시시간에 맞추어 평균하였다. 평균한 ER Theta는 0을 중심으로 +와 -의 값을 가지므로, 이 값을 제곱하여 Theta power의 의미를 가지는 값을 변환하였다. Theta power는 개인차이가 크기 때문에(Klimesch et al., 2000), 각 실험참가자와 각 측정위치별로 old 단어에 대한 ER Theta와 new 단어에 대한 ER Theta를 평균 0과 표준편차 1을 가지는 표준점수로 변환하였다.

Old/new 효과는 전두 영역에서 나타나는 old/new 효과와 두정 영역에서 나타나는 old/new 효과가 있다. 허위기억상실에 관한 연구들은 대부분 두정 영역의 ERP old/new 효과를 보고하고 있다(Rosenfeld et al., 1999; Tardif et al., 2002). 따라서 본 연구에서도 두정 영역의 old/new 효과에 초점을 맞추고 분석하였다. Old/new 효과가 나타나는 구간은 실험자극과 실험절차에 따라서 다르게 나타난다. 본 연구와 같이 단어를 자극으로 사용한 연구에서 ERP old/new 효과는 자극제시 후 300~800ms 구간에서 주로 보고되고 있으며(Finnigan et al., 2002; Rugg and Curran, 2007), Theta old/new 효과는 200~800ms 구간에서 보고되고 있다(Guderian and Düzel, 2005; Klimesch et al., 2000). 본 연구에는 선행연구와 본 연구에서 관찰된 뇌파를 고려하여 다음과 같이 정하였다. ERP old/new 효과는 old 단어에 대한 ERP와 new 단어에 대한 ERP 각각에서 자극제시 후 400~700ms 구간의 평균전위 값을 산출한 후 old 전위 값에서 new 전위 값을 빼서 산출하였다. ER Theta old/new 효과는 자극제시 후 200~700ms 구간의 값을 이용하였다는 점을 제외하고 ERP old/new 효과와 동일한 방법을 사용하였다.

3. Results

3.1 Performance data

학습단계에서 허위기억손상 조건의 평균 정답률은 92.70%였고, 기억손상모형 조건의 평균 정답률은 94.54%였다. 개인별로는 모두 80% 이상의 정답률을 보였다. 따라서 실험참가자들이 학습단어에 적절한 주의를 기울인 것으로 평가되었다.

검사단계에서 오류는 탈루(old 단어를 new 단어로 잘못 반응하는 것)와 오경보(new 단어를 old 단어로 잘못 반응하는 것)가 있다. 기억손상모형 조건의 탈루율과 오경보율을 보면, 각각 .42와 .23으로 탈루율이 통계적으로 유의하게 훨씬 더 높았다($t=4.205, p<.001$). 즉, 기억손상모형 조건의 결과에 따르면 오경보율보다 탈루율이 기억손상에 더 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 따라서 탈루율을 위주로 살펴보았다. 검사단계에서 허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건의 탈루율은 개인별로 다소 큰 차이를 보였다. 허위기억손상 조건에서는 .05~.53까지의 범위를 보였으며, 기억손상모형 조건에서는 .19~.94까지의 범위를 보였다.

재인기억검사에서 탈루율이 낮게 나온다면 정상적인 기억능력을 가지고 있다는 것을 의미하므로, 허위기억손상 조건이나 기억손상모형 조건에서 탈루율이 낮은 사례는 본 연구의 목적에 부합하지 않는다. 기억손상의 기준이 되는 탈루율은 재인기억검사의 난이도에 따라서 달라질 것이다. 그러나 연구들마다 고유한 난이도를 가지는 재인기억검사를 사용하기 때문에, 선행연구에 근거하여 기억손상에 대한 기준점을 정하는 것은 불가능하다. 본 연구에서는 기억이 완전히 손상되어 재인기억검사에 무선적으로 반응했을 때의 탈루율 50%와 완벽한 기억을 가졌을 때의 탈루율 0%의 중간지점인 25%의 탈루율을 기억손상의 기준점으로 사용하였다. 따라서 탈루율이 25% 미만인 사례는 분석에서 제외하였다. 허위기억손상 조건에서는 총 10사례가 25% 미만의 탈루율을 보여서 이들을 분석에서 제외하였다. 기억손상모형 조건에서는 네 사례가 25% 미만의 탈루율을 보였다. 또한 기억손상모형 조건에서 탈루율이 94%에 달하는 한 개의 사례를 추가로 제외하였으며, 기계적 결함으로 반응을 기록하지 못한 2개의 사례도 분석에서 제외하였다.

결과적으로 허위기억손상 조건에 20개, 기억손상모형 조건에 23개의 사례를 분석에 사용하였다. 15명의 자료는 두 조건 모두 분석에 사용되었으며, 나머지는 한 조건만 분석에 사용되었다. 따라서 이후의 분석은 모두 두 조건이 독립집단인 것처럼 실시하였다. 분석에 사용한 허위기억손상 조건의 탈루율은 38.6%였으며, 기억손상모형 조건의 탈루율은 41.9%였다. 두 조건 간에 탈루율은 통계적으로 유의하게 다르지 않았다($t=1.054$, $p=.298$).

3.2 ERP old/new effects

Figure 1에 ERP가 제시되어 있다. 허위기억손상 조건의 400~700ms 구간에서 old 단어에 대한 전위가 new 단어에 대한 전위보다 높게 나타나는 반면, 기억손상모형 조건에서는 두 단어 유형 간에 큰 차이가 관찰되지 않았다. Table 1에 각 실험조건의 ERP old/new 효과가 제시되어 있다. 단일표본 t 검증결과, 허위기억손상 조건에서는 F3, Fz, F4, Cz, P3, Pz 및 P4에서 측정한 모든 ERP old/new 효과가 통계적으로 유의하였다(모두 $p<.05$). 특히 중심 영역(Cz)과 두정 영역(P3, Pz, P4)에서 ERP old/new 효과가 큰 경향이 뚜렷하였다. 기억손상모형 조건에서는 F3, Fz, F4, 및 Cz에서 측정한 ERP old/new 효과는 통계적으로 유의하지 않았으며(모두 $p>.05$), P3, Pz 및 P4에서 측정한 ERP old/new 효과는 통계적으로 유의하였다(모두 $p<.01$).

두 실험조건 간에 ERP old/new 효과의 차이가 유의한지 검증하기 위하여 독립표본 t 검증을 실시하였다. 검증결과, F3와 P4를 제외한 Fz, F4, Cz, P3, Pz 영역에서 두 실험조건 간에 ERP old/new 효과가 통계적으로 유의하게 다른 것으로 나타났다(모두 $p<.05$). 특히, Cz 영역과 P3 영역에서 두 실험조건 간 ERP old/new 효과가 가장 크게 달랐다(각각 $t=3.437$, $p<.001$; $t=3.778$, $p<.001$). 따라서 ERP old/new 효과, 특히 Cz와 P3에서 측정한 ERP old/new 효과를 이용하여 허위기억손상을 탐지할 수 있을 것이다.

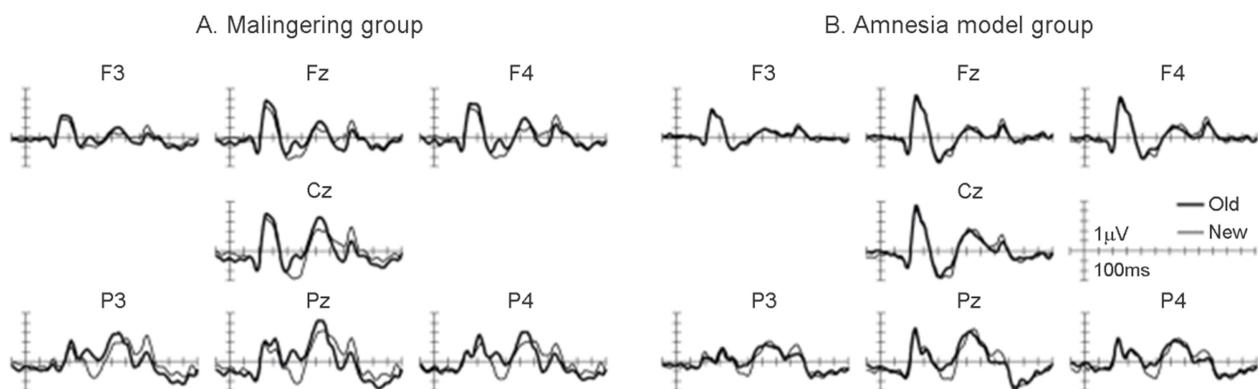


Figure 1. Grand Event-related potentials

Table 1. ERP old/new effects (μ V)

Site	Mal	<i>t</i>	Amn	<i>t</i>	Mal-Amn	<i>t</i>
F3	0.44 (0.69)	2.483*	0.10 (0.56)	0.813	0.34	1.794
Fz	0.72 (1.20)	2.704*	0.00 (0.57)	0.017	0.72	2.580*
F4	0.70 (1.07)	2.936**	0.04 (0.79)	0.221	0.66	2.338*
Cz	1.11 (1.12)	4.400***	0.16 (0.65)	1.149	0.95	3.437***
P3	1.20 (0.83)	6.464***	0.38 (0.58)	3.157**	0.81	3.778***
Pz	1.35 (1.37)	4.419***	0.58 (0.79)	3.540**	0.76	2.295*
P4	1.01 (1.16)	3.907***	0.50 (0.60)	3.933***	0.52	1.865

Note. Mal=malingering condition; Amn=Amnesia model condition. Standard deviations are in parentheses.

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

3.3 ER Theta old/new effects

Figure 2에 ER Theta가 제시되어 있다. 허위기억손상 조건의 200~700ms 구간에서 old 단어에 대한 전위가 new 단어에 대한 전위보다 높게 나타나는 반면, 기억손상모형 조건에서는 측정위치에 따라 두 단어 유형 간에 큰 차이가 없거나 new 단어에 대한 전위가 old 단어에 대한 전위보다 더 높은 경향도 있었다. Table 2에 각 실험조건의 ER Theta old/new 효과가 제시되어 있다. 허위기억손상 조건에서는 F3, F4, Cz, P3, 및 Pz에서 측정한 ER Theta old/new 효과가 통계적으로 유의하였다(모두 $p<.05$). 특히 Cz에서 측정한 ER Theta old/new 효과가 큰 것으로 나타났다($t=2.945$, $p<.01$). 기억손상모형 조건에서는 어떤 ER Theta old/new 효과도 통계적으로 유의하지 않았다(모두 $p>.05$).

두 실험조건 간에 ER Theta old/new 효과가 다른지 검증한 결과, P4를 제외한 F3, Fz, F4, Cz, P3, 및 Pz 영역에서 통계적으로 유의하게 다른 것으로 나타났다(모두 $p<.05$). 특히, Cz 영역과 P3 영역에서 두 실험조건 간 ER Theta old/new 효과가 가장 크게 달랐다(각각 $t=3.045$, $p=.004$; $t=2.841$, $p=.007$). 따라서 ER Theta old/new 효과, 특히 Cz와 P3에서 측정한 ER Theta old/new 효과를 이용하여 허위기억손상을 탐지할 수 있을 것이다.

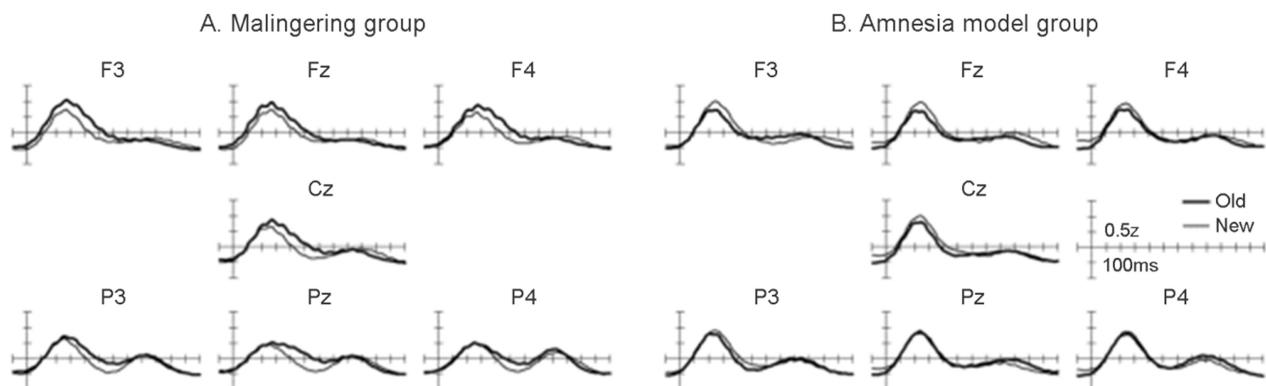
**Figure 2.** Event-related Theta powers

Table 2. Event-related Theta old/new effects (z score)

Site	Mal	<i>t</i>	Amn	<i>t</i>	Mal-Amn	<i>t</i>
F3	0.28 (0.45)	2.810*	-0.08 (0.41)	-0.933	0.36	2.773**
Fz	0.19 (0.48)	1.829	-0.11 (0.36)	-1.427	0.30	2.362*
F4	0.27 (0.51)	2.388*	-0.08 (0.35)	-1.048	0.35	2.644*
Cz	0.28 (0.42)	2.945**	-0.13 (0.45)	-1.367	0.40	3.045**
P3	0.22 (0.42)	2.316*	-0.13 (0.38)	-1.628	0.35	2.841**
Pz	0.28 (0.55)	2.264*	-0.02 (0.34)	-0.219	0.30	2.133*
P4	0.15 (0.48)	1.358	-0.02 (0.31)	-0.250	0.16	1.330

Note. Mal=malingering condition; Amn=Amnesia model condition. Standard deviations are in parentheses.

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

3.4 Correlation between ERP and ER Theta old/new effects

Table 3에 ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과 간의 상관계수를 제시하였다. ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과는 집단 간 차이가 가장 큰 Cz와 P3 영역에서 측정한 값만 제시하였다. ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과 간에 비교적 낮은 상관($r=.00\sim.36$)을 보이고 있다. Cz와 P3에서 측정한 ERP old/new 효과 간의 상관은 $r=.78$ 로 상당히 높았으며, Cz와 P3에서 측정한 ER Theta old/new 효과 간의 상관관계는 $r=.42$ 로 낮지 않은 상관을 보였다. 따라서 이후에 실시한 허위기억손상 탐지에서는 ERP와 ER Theta 각각에서 Cz와 Pz에서 측정한 old/new 효과를 평균하여 사용하였다. 평균한 ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과 간의 상관은 $r=.22$ 로 낮은 값을 보였으며 통계적으로 유의하지 않았다($p>.05$).

Table 3. Correlations among old/new effects

Old/new effect	ERP at Cz	ERP at P3	Theta at Cz	Theta at P3	ERP at Cz+P3	Theta at Cz+P3
ERP at Cz	1.00					
ERP at P3	.78***	1.00				
Theta at Cz	.00	.17	1.00			
Theta at P3	.23	.36*	.42**	1.00		
ERP at Cz+P3	.96***	.93***	.08	.31*	1.00	
Theta at Cz+P3	.12	.31*	.86***	.82***	.22	1.00

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

3.5 Detection of feigned memory impairment

ERP와 ER Theta old/new 효과를 이용한 허위기억손상의 탐지 가능성을 평가하기 위하여 선형판별분석을 실시하였다. 즉, ERP와 ER Theta old/new 효과 점수를 독립변인으로 사용하여 각 사례가 허위기억손상 조건에 속하는지 또는 기억손상모형 조건에 속하는지 판별하였다. 이때, 두 가지 old/new 효과가 허위기억손상 탐지에 독자적인 기여도를 가지는지 평가하기 위하여 단계적 판별분석(stepwise discriminant analysis)을 실시하였다. 단계적 판별분석결과를 Table 4에 제시하였다. 분석결과, 1단계에서 ERP old/new 효과 점수가 모

형에 투입되었으며, 2단계에서 ER Theta old/new 효과 점수가 투입되었다. 즉, 두 가지 old/new 효과가 모두 판별분석에 독자적인 기여도가 있는 것으로 나타났다. 표준화 정준판별함수 계수는 ERP old/new 효과가 .742, ER Theta old/new 효과가 .705였다.

Table 4. Results of stepwise discriminant analysis

Step	Variables	Wilks λ	F	p	Coef
1	ERP old/new effect	.732	14.994	<.001	.742
2	Theta old/new effect	.579	14.514	<.001	.705

Note. Coef=Standardized canonical discriminant function coefficients.

판별함수를 이용하여 사례들을 허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건에 할당한 표를 Table 5에 제시하였다. 허위기억손상 조건에 포함된 20개의 사례 중 허위기억손상 조건으로 옳게 분류한 사례수는 14명으로 70.0%의 민감도(sensitivity)를 보였으며, 기억손상모형 조건에 포함된 23개의 사례 중 허위기억손상 조건이 아닌 것으로 옳게 분류한 사례수는 22명으로 95.7%의 특이도(specificity)를 보였다. 전체적인 판별 정확도는 83.7%였다. ERP old/new 효과만 이용하여 허위기억손상을 탐지하였을 경우에는 민감도 65.0%, 특이도 82.6%, 전체 정확도 74.4%를 보였으며, ER Theta old/new 효과만 이용하였을 경우에는 민감도 75.0%, 특이도 69.6%, 전체 정확도 72.1%를 보였다.

Table 5. Confusion matrix

		Predicted group		Total
		Mal	Amn	
Group	Mal	14 (70.0)	6 (30.0)	20 (100.0)
	Amn	1 (4.3)	22 (95.7)	23 (100.0)

Note. Mal=malingering condition; Amn=Amnesia model condition.

4. Discussion

본 연구의 목적은 기억손상 확인을 위한 재인기억검사에서 의도적으로 오답을 하는 사람들을 탐지하기 위한 새로운 지표를 개발하는 것이다. 선행연구들은 ERP old/new 효과를 이용하여 허위기억손상을 탐지하고자 하였는데, 이 지표만으로는 허위로 기억손상을 탐지하는 정확도가 높지 못하였다. 본 연구에서는 ERP old/new 효과와 더불어 ER Theta old/new 효과를 함께 이용하면 허위기억손상의 탐지 정확도가 높아진다는 것을 검증하였다.

허위기억손상 조건에서 실험참가자들에게 재인기억검사에서 의도적으로 적절한 수준의 오답반응을 지시하였으나, 10명(33.3%)의 참가자들이 적절한 수준의 오답을 하는데 실패하였다. 일부 실험참가자들이 적절한 오답을 하는데 실패한 이유는 연습할 시간이 충분하지 않았기 때문일 것으로 생각된다. 이들은 재인기억검사의 정답률이 높기 때문에 기억손상이 없는 것으로 판정될 것이므로 허위기억손상을 탐지할 필요가 없어 추후 분석에서 제외하였다. 분석에 포함된 20명이 old 단어를 old 단어라고 정확하게 판단한 적중률은 약 60%였다. 예비실험 결과에 의하면 동일한 조건에서 최선을 다해서 검사해 임하라고 했을 경우에 95% 이상의 정답률을 보였다. 즉, 분석에 사용한 20명은 old 단어를 기억하고 있었지만 의도적으로 오답을 하였다고 확신할 수 있다. 기억손상모형 조건은 재인기억검사의 난이도를 높여서(학습단계에서 80개의 단어를 한 번에 학습시킴) 실제로 기억손상이 있는 것처럼 정답률이 낮게 나오도록 조작한 조건이다. 이 조건에서는 old 단어를 old 단어로 옳게 분류한 적중률이 약 60%였다. 즉 기억손상모형 조건에서 실험참가자들이 적절한 오답을 보여 실험적 조작이 잘 이루어졌던 것으로 보인다. 또한 두 조건의 적중률이 비슷하였기 때문에 두 조건의 뇌파를 비교하

는데 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

ERP를 산출한 결과, 기억손상을 입은 것처럼 거짓으로 오답을 많이 한 허위기억손상 조건에서 전두 영역(F3, Fz, F4)의 400~600ms 구간에서 old 단어에 대한 진폭이 new 단어에 대한 진폭보다 높게 나타났다. 중심 영역(Cz)과 두정 영역(P3, Pz, P4)에서는 400~700ms 구간에서 old 단어에 대한 진폭이 new 단어에 대한 진폭보다 더 높게 나타났다. 즉, 허위기억손상 조건에서는 모든 영역에서 ERP old/new 효과가 나타났다. 이러한 결과는 Tardif 등(2002)의 결과와 일치하지만, Vagnini 등(2008)의 결과와 불일치하는 것이다. Vagnini 등(2008)의 연구에서는 허위기억손상 조건에서 ERP old/new 효과가 나타나지 않았다. 이러한 차이가 나타나는 정확한 원인을 밝힐 수는 있지만, 재인기억검사의 자극이 서로 달랐기 때문일 수 있다. Tardif 등(2002)에서는 본 연구와 같이 단어를 사용하였지만 Vagnini 등(2008)에서는 그림을 사용하였다.

반면에 진실로 오답을 많이 한 기억손상모형 조건에서는 전두 영역과 중심 영역에서 뚜렷한 ERP old/new 효과가 관찰되지 않았으며, 두정 영역에서 작은 ERP old/new 효과가 나타났다. 이러한 결과는 기억손상모형을 제안한 Ellwanger 등(1999)의 결과와 유사한 면이 있다. Ellwanger 등(1999)의 기억손상모형 조건에서는 Fz, Cz, 및 Pz 영역에서 ERP old/new 효과가 나타나지 않았었다. 또한 본 연구의 결과는 실제 뇌손상을 입은 경험이 있었던 참가자를 이용한 Vagnini 등(2008)의 결과와도 유사한 면이 있었다. Vagnini 등(2008)의 기억손상 조건에서는 ERP old/new 효과가 나타났지만 정상조건에 비하여 작은 효과가 나타났었다. 본 연구의 기억손상모형 조건에서 나타난 결과가 선행연구와 유사하였다는 것은 기억손상모형 조건의 타당성을 어느 정도 지지해주는 것이라고 볼 수 있다.

두 실험조건 모두 전두 영역 보다는 중심과 두정 영역에서 더 큰 ERP old/new 효과가 나타났다. 재인기억에 대한 이중과정모형(dual-process model)에 의하면, 재인은 회상(recollection) 과정과 친숙성(familiarity) 과정에 의해서 이루어진다(Yonelinas, 2001). 회상은 경험과 관련된 구체적인 기억을 인출하는 것을 말하며, 친숙성은 구체적인 기억은 없지만 알고 있는 것 같은 느낌을 말한다. 회상과정은 두정 영역의 ERP old/new 효과를 유발하고, 친숙성 과정은 전두 영역의 ERP old/new 효과를 유발하는 것으로 알려져 있다(Rugg and Curran, 2007). 회상을 직접 반영하는 두정 영역의 ERP old/new 효과가 친숙성만을 반영하는 전두 영역의 ERP old/new 효과가 보다 큰 것이 일반적으로 본 연구의 결과와 일치한다.

허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건 간에 ERP old/new 효과의 차이가 유의하였다. 특히 P3 영역과 Cz 영역에서 큰 차이가 있었다. ERP old/new 효과는 언어를 담당하는 영역이 있는 P3 영역에서 가장 크게 보고되고 있고 그 주변 영역(Cz와 Pz 등)에서도 비교적 크게 나타난다. 허위기억손상 조건에서 실험참가자들은 old 단어를 대부분 기억하고 있었고, 기억손상모형 조건에서는 old 단어를 많이 기억하지 못하였기 때문에 두 조건 간에 P3 영역에서 ERP old/new 효과의 차이가 가장 크게 나타난 것은 당연한 결과로 보인다.

허위기억손상 조건에서 ER Theta는 old 단어에 대한 값이 new 단어에 대한 값보다 더 컸으며, 기억손상모형 조건에서 ER Theta는 old 단어와 new 단어 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. EEG의 Theta 파동은 재인기억과 밀접한 관련이 있으므로(Gruber et al., 2008), 이러한 결과도 잘 이해될 수 있다. 허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건 간의 ER Theta old/new 효과의 차이는 Cz 영역과 P3 영역에서 가장 크게 나타나, ERP old/new 효과의 패턴과 유사하였다. Gruber 등(2008)에 의하면 Theta 파동은 회상을 반영하므로, 회상을 반영하는 ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과가 비슷한 패턴으로 나타났을 것이다.

ERP를 산출하는데 사용한 노파는 Theta 파를 포함하고 있고 ERP를 산출하는 방식과 ER Theta를 산출하는 방식이 비슷하므로, ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과가 포함되어 있을 것으로 생각할 수도 있다. 그러나 ERP에는 수많은 성분들이 합산되어 있는 반면(Luck, 2014) ER Theta는 자극에 의해 유발된 Theta 파만 포함하고 있으므로, ERP와 ER Theta 간의 관련성이 아주 높지는 않을 것이다. 또한 ERP old/new 효과는 회상된 정보를 표상하는 처리과정을 반영하고(Vilberg et al., 2006), Theta 파동은 대뇌 피질과 해마의 연결망에 의해 나타난다(Nyhus and Curran, 2010). 즉, ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과가 재인 기억의 서로 다른 측면을 반영하므로, 둘 간의 관련성이 아주 높지는 않을 것이다. 이러한 이론적 배경을 반영하듯이 실제로 ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과 간에 낮은 상관관계가 관찰되었으며, 선행연구의 결과와 일치한다(Jacobs et al., 2006; Klimesch et al., 2000).

허위기억손상 조건과 기억손상모형 조건을 변별하기 위한 판별분석을 수행한 결과, ERP old/new 효과와 ER Theta old/new 효과 모두 두 조건을 변별하는데 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 두 효과 간의 낮은 상관계수로부터 충분히 예측 가

능한 것이었다. 허위기억손상 조건에 포함된 사례를 허위기억손상으로 옳게 분류한 민감도는 70.0%이었으며, 기억손상모형 조건에 포함된 사례를 기억손상으로 옳게 분류한 특이도는 95.7%였다. 즉 특이도가 민감도 보다 상당히 높게 나타났다. 이러한 결과는 위법행위를 판단한다는 측면에서 바람직한 결과이다. 유죄를 무죄로 잘못 판단하는 것보다는 무죄를 유죄로 잘못 판단하는 것이 훨씬 더 위험하기 때문이다. 전체적인 판별 정확도는 83.7%였다. 이러한 정확도는 Tardif 등(2002)과 Vagnini 등(2008)의 판별 정확도와 유사한 수준이다. Tardif 등(2002)은 ERP old/new 효과와 더불어 반응시간을 이용하였고, 정상 반응과 의도적 오반응을 비교하였다. 그러나 반응시간이 실험조건에 따라서 다를 것이라는 이론적 근거가 미약하며, 허위기억손상 조건을 정상조건과 비교하였다는 단점이 있다. 또한 Vagnini 등(2008)은 단순히 전두엽과 두정엽의 전위 차이를 이용하여 허위기억손상 조건과 기억손상 조건을 비교하였지만, 두 위치에서 전위 차이가 나타나는 이유를 명확하게 설명하지 못하고 있다. 결과적으로 선행연구들에서 사용한 지표들은 이론적 근거가 매우 미약한 반면, 본 연구에서 사용한 지표는 이론적 근거가 견고하다는 장점을 가진다고 할 수 있다. 이론적 근거가 견고한 탐지방법은 추후 표준적인 검사방법으로 발전할 가능성이 훨씬 더 높을 것이다.

본 연구의 결과를 앞으로 더욱 개선시킬 여지가 있다. 한 가지는 본 연구에서 기억손상을 입은 사람들을 비교집단으로 사용한 것이 아니라 기억손상모형을 사용하였다는 점이다. 기억손상모형의 뇌파 반응은 진짜 기억손상을 입은 사람들의 뇌파 반응과 다를 가능성 이 여전히 존재하므로, 기억손상을 입은 사람들을 비교집단으로 한 연구가 반드시 필요하다. 다른 한 가지는 판별 정확도가 아주 높지는 않다는 점이다. 허위기억손상을 탐지하기 위한 표준적인 방법이 되기 위해서는 83.7%보다는 훨씬 더 높아야 할 것이다. 따라서 판별 정확도를 높이기 위하여 새로운 지표를 추가하거나 단어 대신에 간단한 그림을 사용하는 등의 연구가 필요할 것이다.

Acknowledgements

이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A5B5A07920753).

References

- Addante, R.J., Watrous, A.J., Yonelinas, A.P., Ekstrom, A.D. and Ranganath, C., Prestimulus theta activity predicts correct source memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(26), 10702-10707, 2011. DOI: /10.1073/pnas.1014528108
- Binder, L.M., *Portland Digit Recognition Test Manual*. Beaverton, OR: Laurence Binder, 1993.
- Ellwanger, J., Rosenfeld, J.P., Sweet, J.J. and Bhatt, M., Detecting simulated amnesia for autobiographical and recently learned information using the P300 event-related potential. *International Journal of Psychophysiology*, 23(1), 9-23, 1996. DOI: 10.1016/0167-8760(96)00035-9
- Ellwanger, J., Rosenfeld, P.J., Hankin, B.L. and Sweet, J.J., P300 as an index of recognition in a standard and difficult match-to-sample test: a model of amnesia in normal adults. *The Clinical Neuropsychologist*, 13(1), 100-108, 1999. DOI: 10.1076/clin.13.1.100.1978
- Feldman, R.S., Forrest, J.A. and Happ, B.R., Self-presentation and verbal deception: Do self-presenters lie more?. *Basic and Applied Social Psychology*, 24(2), 163-170, 2002. DOI: 10.1207/153248302753674848
- Finnigan, S., Humphreys, M.S., Dennis, S. and Geffen, G., ERP 'old/new' effects: memory strength and decisional factor(s). *Neuropsychologia*, 40(13), 2288-2304, 2002. DOI: 10.1016/s0028-3932(02)00113-6
- Green, P., Allen, L. and Astner, K., *The Word Memory Test: A manual for the oral and computerized forms*. Durham: CogniSyst, Inc, 1997.
- Gruber, T., Tsivilis, D., Giabbiconi, C.M. and Müller, M.M., Induced electroencephalogram oscillations during source memory:

familiarity is reflected in the gamma band, recollection in the theta band. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(6), 1043-1053, 2008. DOI: 10.1162/jocn.2008.20068

Guderian, S. and Düzel, E., Induced theta oscillations mediate large-scale synchrony with mediotemporal areas during recollection in humans. *Hippocampus*, 15(7), 901-912, 2005. DOI: 10.1002/hipo.20125

Jacobs, J., Hwang, G., Curran, T. and Kahana, M.J., EEG oscillations and recognition memory: theta correlates of memory retrieval and decision making. *Neuroimage*, 32(2), 978-987, 2006. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.02.018

Jellison, J.M., *I'm sorry, I didn't mean to, and other lies we love to tell*. Chatham Square Press; Chicago, 1977.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Winkler, T. and Gruber, W., Theta oscillations and the ERP old/new effect: independent phenomena? *Clinical Neurophysiology*, 111(5), 781-793, 2000. DOI: 10.1016/s1388-2457(00)00254-6

Klimesch, W., Hanslmayr, S., Sauseng, P., Gruber, W., Brozinsky, C.J., Kroll, N.E.A., Yonelinas, A.P. and Doppelmayr, M., Oscillatory EEG correlates of episodic trace decay. *Cerebral Cortex*, 16(2), 280-290, 2006. DOI: 10.1093/cercor/bhi107

Luck, S.J., *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. MIT press, 2014.

Mittenberg, W., Patton, C., Canyock, E.M. and Condit, D.C., Base rates of malingering and symptom exaggeration. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(8), 1094-1102, 2002. DOI: 10.1076/jcen.24.8.1094.8379

Nyhus, E. and Curran, T., Functional role of gamma and theta oscillations in episodic memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1023-1035, 2010. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2009.12.014

Rey, A., *L'examen Clinique en Psychologie*. Paris: Press Universitaires de France, 1964.

Rogers, R., Bender, S.D. and Johnson, S.F., A critical analysis of the MND criteria for feigned cognitive impairment: Implications for forensic practice and research. *Psychological Injury and Law*, 4(2), 147-156, 2011. DOI: 10.1007/s12207-011-9107-2

Rosenfeld, J.P., Ellwanger, J.W., Nolan, K., Wu, S., Bermann, R.G. and Sweet, J., P300 scalp amplitude distribution as an index of deception in a simulated cognitive deficit model. *International Journal of Psychophysiology*, 33(1), 3-19, 1999. DOI: 10.1016/s0167-8760(99)00021-5

Rosenfeld, J.P., Ellwanger, J. and Sweet, J., Detecting simulated amnesia with event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 19(1), 1-11, 1995. DOI: 10.1016/0167-8760(94)00057-I

Rugg, M.D. and Curran, T., Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(6), 251-257, 2007. DOI: 10.1016/j.tics.2007.04.004

Rugg, M.D. and Doyle, M.C., Event-related potentials and recognition memory for low-and high-frequency words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(1), 69-79, 1992. DOI: 10.1162/jocn.1992.4.1.69

Semlitsch, H.V., Anderer, P., Schuster, P. and Presslich, O., A solution for reliable and valid reduction of ocular artifacts, applied to the P300 ERP. *Psychophysiology*, 23(6), 695-703, 1986. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1986.tb00696.x

Sollman, M.J. and Berry, D.T., Detection of inadequate effort on neuropsychological testing: A meta-analytic update and extension. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(8), 774-789, 2011. DOI: 10.1093/arclin/acr066

Tardif, H.P., Barry, R.J. and Johnstone, S.J., Event-related potentials reveal processing differences in honest vs. malingered memory performance. *International Journal of Psychophysiology*, 46(2), 147-158, 2002. DOI: 10.1016/s0167-8760(02)00090-9

Tayler, L.A., Kreutzer, J.S. and West, D.H., Evaluation of malingering cut-off scores for the Rey 15-Item Memory Test: a brain injury case study series. *Brain Injury*, 17(4), 295-308, 2003. DOI: 10.1080/0269905021000038401

Teyler, T.J. and Rudy, J.W., The hippocampal indexing theory and episodic memory: updating the index. *Hippocampus*, 17(12), 1158-1169, 2007. DOI: 10.1002/hipo.20350

Tombaugh, T.N., *Test of Memory Malingering: TOMM*. North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems, 1996.

Vagnini, V.L., Berry, D.T., Clark, J.A. and Jiang, Y., New measures to detect malingered neurocognitive deficit: Applying reaction time and event-related potentials. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30(7), 766-776, 2008. DOI: 10.1080/13803390701754746

Vilberg, K.L., Moosavi, R.F. and Rugg, M.D., The relationship between electrophysiological correlates of recollection and amount of information retrieved. *Brain Research*, 1122(1), 161-170, 2006. DOI: 10.1016/j.brainres.2006.09.023

Wagner, A.D., Shannon, B.J., Kahn, I. and Buckner, R.L., Parietal lobe contributions to episodic memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 445-453, 2005. DOI: 10.1016/j.tics.2005.07.001

Yener, G.G., Güntekin, B., Öniz, A. and Başar, E., Increased frontal phase-locking of event-related theta oscillations in Alzheimer patients treated with cholinesterase inhibitors. *International Journal of Psychophysiology*, 64(1), 46-52, 2007. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2006.07.006

Yonelinas, A.P., Components of episodic memory: the contribution of recollection and familiarity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 356(1413), 1363-1374, 2001. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198508809.003.0003

Young, G., Malingering in Forensic Disability-Related Assessments: Prevalence 15±15%. *Psychological Injury and Law*, 8(3), 188-199, 2015. DOI: 10.1007/s12207-015-9232-4

Author listings

Min-Hee Lee: with513@hanmail.net

Highest degree: PhD, Department of Psychology, Chungbuk National University

Position title: Lecturer, Department of Psychology, Chungbuk National University

Areas of interest: Clinical Assessment, Lie Detection

Hajung Jeon: gkepd@naver.com

Highest degree: MA, Department of Psychology, Chungnam National University

Position title: Graduate Student, Department of Psychology, Chungnam National University

Areas of interest: Neuroscience, Lie Detection

Jin-Hun Sohn: jhsohn@cnu.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Psychology, Korea University

Position title: Professor, Department of Psychology, Chungnam National University

Areas of interest: Brain Science, Neuroscience, Electrophysiology

Jin-Sup Eom: jseom2003@hanmail.net

Highest degree: PhD, Department of Psychology, Chungbuk National University

Position title: Lecturer, Department of Psychology, Chungbuk National University

Areas of interest: Psychometrics, Lie Detection, EEG