

A review of event-related potentials in detecting concealed information*

Young Youn Kim[†]

Department of Forensic Psychology, Kyonggi University

Studies using the event-related potentials(ERP) in detection of concealed information were reviewed. First, this study described the concept of ERP and the characteristics of P300. There is a description of P300 as a cortical signal of the recognition of meaningful information. This attribute was applied directly to concealed information detection in the P300-based concealed information test protocol. Important results were reviewed in regard to P300-based concealed information test and P300-based complex trial protocol in previous studies. This study examined the effect of countermeasures in P300-based lie detection. In addition, this study examined previous studies of several components such as N200, late positive potential(LPP), late posterior negativity(LPN), feedback-evoked ERP, medial frontal negativity(MFN) in detection of concealed information. Future directions for detection of concealed information using ERP were suggested in order to detect deception with more accuracy.

Keywords: Event-related Potentials, Concealed information, P300, Complex trial protocol, Countermeasure, Lie detection

1차원고접수: 23.04.02; 수정본접수: 23.07.11; 최종게재결정: 23.07.11



Copyright: © 2023 The Korean Society for Cognitive and Biological Psychology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited and the use is non-commercial.

실재하는 과거 기억의 흔적을 정확히 확인할 수 있는 가는 임상 장면과 범죄 관련 실제적 진실을 밝히는데 중요한 문제가 되고 있다. 피검자가 거짓말이나 피병을 가장하면서 밝히고 싶어 하지 않는 무언가에 대한 진짜 기억 상태를 알아내거나(Hu, Hegeman, Landry, & Rosenfeld, 2012), 정확하게 보고할 수 없는 목격자나 안면실인증(prosopagnosia) 환자처럼 의식적으로 보고할 수 없는 이들의 기억 상태를 확인하고자 하는 연구들이 진행되었다(Lefebvre, Marchand, Smith, & Connolly, 2007; Allen, 2011). 기억 탐지에서 활발하게 사용되는 프로토콜의 하나로 유죄 지식 검사(Guilty

Knowledge Test)로도 알려진 숨긴 정보 검사(Concealed Information Test, CIT)는 용의자가 범죄 관련 정보를 재인(recognition)하는지를 알아보고자 개발되었다(Lykken 1959; Verschuere, Ben-Shakhar, & Meijer, 2011). 숨긴 정보 검사는 탐침 자극(probe stimuli)과 무관한 자극(irrelevant stimuli)의 두 종류 자극으로 구성된다. 탐침 자극은 범죄 관련 정보나 개인적으로 의미 있는 자극으로 검사자가 관심 있는 자극이고 무관한 자극은 범죄와 관련 없는 정보나 개인적으로 의미 없는 자극으로 탐침 자극에 대해 비교 자극으로 사용된다. 탐침 자극을 제시할 때 오드볼 패러다임(oddball

* 이 논문은 2021학년도 경기대학교 연구년 수혜로 연구되었음(과제번호 2021-010-001).

† 교신저자: 김영운, 경기대학교 일반대학원 범죄심리학과, (16227) 경기도 수원시 영통구 광교산로 154-42, E-mail: youngy@kgu.ac.kr

paradigm)이 사용되는데(Donchin & Coles, 1988), 빈번하게 제시되는 일련의 무관련 자극 중에 드문 빈도로 탐침 자극이 제시된다.

1959년 Lykken은 유죄 지식 검사를 처음 시도하였는데, 피험자에게 일련의 질문들을 제시하고 질문 중에 사건에 개입했을 경우에 알 수 있는 자세한 지식을 포함하였다. 일련의 질문자극 중에 피험자가 알고 있는 질문자극에서 각성 수준이 증가 될 것이라는 가정에서, 범인이면 분명히 알 수 있거나, 범인만이 알 수 있는 범죄 관련 특정 내용을 범죄와 관련 없는 유사한 내용과 혼합하여 질문을 구성하고 피험자가 범죄와 관련된 특정 정보를 알고 있는지의 여부를 검사한다. 확인된 범죄사건의 특정 내용에 대해 범인이면 분명히 알 수 있는 내용으로 피해자, 검사관은 알고 있으나 일반인에게는 공개 되지 않아 그 특정 내용을 알 수 없을 경우에 숨긴 정보 검사를 실시한다. 예로 7백만원 현금 도난 사건에 대한 거짓말 탐지 검사에서 범인이 훔쳐간 돈의 액수가 얼마인가를 질문하게 된다. 훔쳐간 돈의 액수에 대하여 ‘그 돈이 5백만원인가?’ ‘6백만원인가?’ ‘7백만원인가?’ ‘8백만원인가?’ ‘9백만원인가?’를 일련으로 질문하게 되는데 돈을 훔친 범인은 그것이 7백만원이라는 사실을 알기 때문에 7백만원이라는 단어를 듣게 되면 그것을 재인(recognition)함으로 인해서 다른 질문자극과는 다르게 구별되는 정보처리를 하게 된다. 이것은 피험자의 각성수준의 변화와 뇌 활동성의 변화를 동반하게 된다. 앞에서 말한 것처럼, 만약 그 돈을 훔치지 않은 일반인들이 사건의 내용을 잘 알고 있어서 도난당한 현금의 액수가 7백만원인지를 알고 있다면 숨긴 정보 검사를 실시하는 것은 부적절하다. 숨긴 정보 검사는 의심 받는 사람과 검사자 모두 숨기려는 내용을 알고 있는 경우에 실시하게 된다. 만약 범인이 여러 개 범죄와 관련되어 해당 사건의 기억이 불분명하여 본인이 훔친 돈의 액수를 명확히 기억하지 못한다면 숨긴 정보 검사를 실시해도 얻을 수 있는 결과가 부족하다. 만약 피험자가 범죄 관련 지식을 가지고 있다면 피험자의 공개된 언어적 보고와 상관없이, 숨긴 정보 검사에서 탐침 자극은 무관련 자극에 의해 나타난 반응 패턴과는 다른 구별되는 반응 패턴을 나타낼 것으로 가정한다. 범죄 관련 정보를 가지고 있지 않은 해당 범죄에 대해 모르는 무죄(innocent) 피험자에게 탐침 자극은 또 다른 무관련 자극이 되기 때문에, 무죄 피험자에게 탐침 자극에 대한 반응은 무관련 자극에 대한 반응과 다르지 않다. 숨긴 정보 검사는 반응 시간과 같은 행동 측정치(Seymour & Fraynt, 2009), 피부전도도와 심박률 같은 자율신경계 활동성(Selle, Verschuere, Kindt, Meijer, & Ben-Shakhar, 2016), 사건관

련전위(Event related potentials, ERP)(Rosenfeld, 2011)와 fMRI(functional magnetic resonance imaging, 기능적 자기공명 영상법)에서 얻어진 BOLD(blood-oxygen level dependent, 혈류 산소 수준) 신호와 같은 중추신경계 활동성을 이용할 수 있다(Gamer, 2011a).

본 논문에서는 숨긴 정보 검사가 어떻게 변화 발전했는지를 먼저 살펴보고 이후에 숨긴 정보 검사 관련 기타 사건관련전위 성분과 관련된 주요 연구들을 정리하였다. 이를 위해, 본론의 구성을 크게 두 부분으로 나누어 첫 번째 사건관련전위 기반 숨긴 정보 검사의 발달에서 숨긴 정보 검사 효과, 사건관련전위, P300, P300-기반 숨긴 정보 검사, 복합 시행 프로토콜, 대응책의 기작, P900, 두 개 탐침 복합 시행 프로토콜, 목격자 연구가 다루어지고 두 번째 숨긴 정보 검사 관련 기타 사건관련전위 성분에서 N200, 후기 성분들: LPP(Late Positive Potential)와 LPN(Late Posterior Negativity), feedback-evoked ERPs, MFN(medial frontal negativity)의 내용을 제시하였다. 이해를 돕기 위해 먼저 사건관련전위를 기반으로 한 숨긴 정보 검사의 주요 연구결과를 표 1에 요약 정리하였다.

사건관련전위 기반 숨긴 정보 검사의 발달

숨긴 정보 검사 효과

초기에 숨긴 정보 검사는 기억에서 범죄 관련 정보의 존재를 탐지하는데 생리적인 반응을 사용하였다(Lykken 1959). 숨긴 정보 검사에서 검사자는 범죄를 저지른 사람만이 알 수 있는 범죄관련 항목(crime-relevant item, 관련 항목)과 몇 가지의 범죄와 관련 없는 항목(crime-irrelevant item, 무관련 항목)들을 제시하는데 두 종류의 항목들은 같은 범주에 속해 있어 유죄 지식을 가지고 있지 않은 사람들에게는 관련 항목과 무관련 항목들 간에 차이를 구분할 수 없다. 따라서 범죄 관련 항목과 범죄 무관련 항목에 대해 서로 다른 생리적인 반응들을 보이는 것은 용의자가 범죄 관련 항목을 재인한다는 것을 가리킨다. 이와는 반대로, 범죄 관련 항목과 범죄 무관련 항목들 간에 생리적인 반응이 유사한 것은 용의자가 범죄 관련 항목을 재인하지 못한다는 것을 가리킨다. 즉, 무죄 용의자는 모든 항목에 유사한 생리적인 반응을 보이는데 반해, 유죄(guilty) 용의자는 범죄 관련 항목을 재인(recognition)함으로서 관련 항목과 무관련 항목 간에 다른 생리적인 반응을 보이게 되는데 이것을 숨긴 정보 검사 효과(CIT effect, CIT 효과)라고 부른다. 대부분의 CIT 연구들은 모의범죄를 이용하여 학교 실험실에서 수행되었는데, 실제

Table 1. Summary of major findings in studies using event-related potential-based concealed information test

| Components | Study | Paradigm | Major findings |
|------------------|-----------------------------|------------------------|---|
| P300 | Rosenfeld et al., (1988) | Oddball paradigm | P300 amplitude(Pz) in the guilty group : probe > irrelevant (hit rate 70%) |
| P300 | Farwell & Donchin (1991) | Oddball paradigm | P300 amplitude(Pz) in the guilty group : probe stimuli > irrelevant stimuli (accuracy 87.5%). |
| P300 | Rosenfeld et al., (2004) | Oddball paradigm | <ul style="list-style-type: none"> - Experiment 1 - Hit rates 82% in the guilty group, 18% in the countermeasure group. - Experiment 2 - 1 week the guilty group, 2 week the countermeasure group, 3 week the guilty group(hit rate: 1 week 92%, 2 week 50%, 3 week 58%) |
| P300 | Rosenfeld et al., (2007) | Oddball paradigm | P300 detection sensitivity : 1 probe > 6 probe, self-referring information > incidentally learned information |
| P300 | Mertens & Allen (2008) | Oddball paradigm | Hit rates 27% - 47% in the guilty participants, Hit rates 7% - 27% in the participants instructed in the use of countermeasures |
| P300 | Lui & Rosenfeld (2008) | Oddball paradigm | Accuracy : 2 probe group(78.55%) > 3 probe group(67.45%) |
| P300 | Rosenfeld et al., (2008) | Complex trial protocol | <ul style="list-style-type: none"> - 1 week the guilty condition, 2 week the countermeasure condition, 3 week guilty condition(hit rate: 1 week 100%, 2 week 92%, 3 week 100%) - The complex trial protocol is resistant to countermeasures in detecting concealed information. |
| P300 | Winograd & Rosenfeld(2011) | Complex trial protocol | <ul style="list-style-type: none"> - The complex trial protocol proved to be sensitive to the detection of concealed information incidentally acquired during a mock crime. - It was resistant to the use of countermeasures |
| P900 | Rosenfeld & Labkovsky(2010) | Complex trial protocol | <ul style="list-style-type: none"> - P300: The complex trial protocol was resistant to the use of countermeasures - A new event related potential at Fz and Cz at 900 ms indexed CM use. |
| P900 | Labkovsky & Rosenfeld(2012) | Complex trial protocol | <ul style="list-style-type: none"> - a new P900 component associated with countermeasure use when 2 of 4 irrelevants are countered. - P900 appeared in the 2 groups using 2 and 3 countermeasures. |
| N200 | Gamer & Berti (2010) | Oddball paradigm | N200 amplitude(Cz) in the guilty participants : probe > irrelevant |
| N200 | Hu et al., (2013) | Oddball paradigm | Probe elicited a larger N200 than irrelevant only when guilty participants were in the high awareness condition, whereas the P300 was mainly responsive to information recognition. |
| LPP | Matsuda & Nittono(2015b) | Oddball paradigm | The occipital LPP was elicited by nonaffective stimuli with cognitive demands in the two-item updating and concealment conditions. |
| LPP | Herring et al., (2019) | Oddball paradigm | The LPP-based evaluative oddball may be useful for detecting individual evaluation : the sensitivity (80%) was respectable during truth telling, but poor during concealment (sensitivity=35%). |
| LPN | Hu et al., (2015) | Oddball paradigm | LPN amplitude(Pz) in the guilt and suppressed-guilt group : probe > irrelevant |
| FRN, feedback P3 | Sai et al., (2016) | Oddball paradigm | <ul style="list-style-type: none"> - The feedback concealed information test (fCIT) provides participants with feedback regarding their memory concealment performance during the CIT. - FRN(Fz) and feedback-P300 amplitude(Pz) in the guilty participants : probe > irrelevant |
| MFN | Scheuble et al., (2021) | Oddball paradigm | MFN amplitude : probe stimuli > irrelevant stimuli |

LPP, late positive potential; LPN, late-posterior-negative slow wave, FRN, feedback-related negativity, MFN, medial frontal negativity

범죄로 인한 현장에서의 검사와 실험실-기반 연구 사이에는 정서 상태, 동기, 시간간격 등 실제적인 차이가 존재한다. 실험실에서 이루어진 모의 범죄는 연구자의 요구에 따라 수행되었고 이에 순응하는 피험자는 자신의 유죄를 숨기고자 하는 동기가 비교적 낮는데 반해, 실제 범죄에서는 유죄 지식을 숨기고자 하는 동기가 더 크고 더 나아가 유죄 지식 탐지를 피하기 위해 대응책(countermeasure) 전략을 사용할 가능성이 있다. 대응책은 숨긴 정보 검사를 왜곡시키거나 무효화하기 위해 개인이 하는 모든 노력을 포함한다.

지난 30년 동안 거짓말 탐지에 관한 상당한 연구가 이루어졌는데, 거짓말 탐지 프로토콜로 통제 질문 검사(Control Question Test, CQT) 또는 비교 질문 검사(Comparison Question Test)가 이용되었고(Reid & Inbau, 1977), 통제 질문 검사가 과학적인 방법인가에 대한 많은 논란이 제기되었다(Ben-Shakhar, 2002; National Research Council, 2003). 통제 질문 검사는 범죄 조사를 위해 가장 일반적으로 널리 사용되는 폴리그래프 검사이다(Raskin & Kircher, 2014). 폴리그래프 검사는 거짓말을 할 때 심리적인 불안으로 발생하는 생리적인 변화를 측정하여 진술의 진위 여부를 판단한다. 거짓말에 따른 불안이나 죄책감으로 인해 자율신경계에 변화가 호흡이나 혈압, 맥박 등의 변화로 나타나는데 폴리그래프는 이러한 변화를 측정해냄으로써 거짓말을 탐지한다. 통제 질문은 과거에 범하였음직한 범죄행위에 관한 질문으로 통제 질문 검사에서는 통제 질문과 범죄 관련 질문을 비교하게 된다. 예로 귀금속 도난 사건에서 관련 질문이 '당신이 그 목걸이를 훔쳐 갔나?'라면 통제질문은 '이전에 다른 사람의 것을 한 개라도 훔친 적인 있는가?'가 될 수 있다. 무죄 피험자가 통제 질문과 관련 질문에 비슷하게 불안을 경험한다면 유죄 피험자는 통제 질문에 비해 관련 질문이 현실적으로 더 위협적이기 때문에 통제질문 보다 관련 질문에 대한 긴장이 더 커질 것이라고 통제 질문 검사는 가정한다. 통제 질문 검사는 범죄 관련 질문에 거짓으로 기만적으로 답할 때 피검사자의 생리적인 반응을 측정한다. 이와는 달리, 숨긴 정보 검사는 거짓(deception, 기만)을 탐지하는 것이 아니라 재인(recognition)을 조사한다. 숨긴 정보 검사는 숨긴 정보 항목(예, 도난 당한 금반지)과 통제 항목들(예, 도난 된 적이 없는 진주 반지, 은 반지, 다이아몬드 반지, 루비 반지, 에메랄드 반지) 사이의 반응들을 비교해서 피검사자가 숨긴 정보 항목을 재인하는지 조사한다. 결백한 사람은 숨긴 정보 항목과 통제 항목들 간에 변별을 할 수 없는데 반해 숨긴 정보 항목에서 생리적 반응이 크게 나타난 사람은 범죄와 관련된 정보를 가지고 있거나 적어도 범죄 사건에 대해 잘 아

는, 즉 유죄 지식을 가지고 있는 사람으로 평가된다. 숨긴 정보 검사가 범인만이 알 수 있는 숨긴 정보를 피험자가 재인하는지를 조사한다는 점에서 과학적으로 타당한 절차로 받아들여지고 있다(Verschuere & Ben-Shakhar, 2011).

숨긴 정보 검사는 거짓 탐지 검사가 아니라 재인 탐지 검사로 피검사자가 범죄 관련 정보를 숨기고 있는지를 알아보고자 할 때 수행된다. 숨긴 정보 검사는 재인을 조사하는데 이때 얻어진 생리적 반응들은 재인 관련 반응과 숨김 관련 반응을 포함한다. 정보를 숨기는 행동은 일종의 기만으로 생각되어질 수 있기 때문에(Vrij, 2008), 숨긴 정보 검사에서 반응들은 부분적으로 기만(거짓)을 반영한다고 보여진다(Matsuda & Nittono, 2018). 숨긴 정보 검사 동안 범죄 무관련 항목에 대한 반응과 비교해서 범죄 관련 항목에 생리적인 반응들이 연구되었다. 처음에 숨긴 정보 검사는 자율신경계 반응의 지표로 피부전기 활동성을 측정하였다(Lykken, 1959). 숨긴 정보 검사 동안 폴리그래프를 이용해서 자율신경계 반응을 살펴보면, 관련항목에 대해 피부전도도는 증가하고 말초혈류량은 감소하였는데 이러한 변화는 교감신경계의 활성화를 가리킨다(Dawson Schell, & Fillion, 2007). 또한 숨긴 정보 검사 동안 관련항목에 대해 심박률의 감소가 나타났는데(Verschuere, Crombez, Smolders, & De Clercq, 2009) 이것은 부교감신경계의 활성화를 보여준다(Bradley & Lang, 2007). 범죄관련 항목에 대해 교감신경계와 부교감신경계의 활성화가 동시에 나타나는데(Berntson & Cacioppo, 2007), 이러한 패턴은 정향 반응(orienting response)과 관련 있다고 보고되었다(Bradley, Keil, & Lang, 2012; Gamer, 2011b). 정향 반응 이론은 CIT 효과를 설명하는데 주로 많이 이용되었다(Ben-Shakhar, 1977; Liebllich, Kugelmass, & Ben-Shakhar, 1970; Lykken, 1974). 정향반응은 외부의 새로운(novel) 자극에 대한 반응에서 생리적 반응과 행동적 반응에 의해 나타나고 자극이 반복적으로 제시되면 신기성(novelty value)은 감소하고 정향반응은 점차 감소한다. 또한, 피검사자에게 자극이 특별한 의미를 가지고 있을 때 정향반응은 증가한다(Sokolov, 1963). 자극의 의미는 각성과 과제 관련성에 의해 규정된다(Bradley, 2009). 숨긴 정보 검사에서 무관련 항목은 빈번하게 제시되는데 반해 관련 항목은 드물게 제시된다. 범행을 저지른 경험을 각성하는 동안 범죄 관련 항목을 기억하기도 한다(Peth, Vossel, & Gamer, 2012). 숨긴 정보 검사의 목적이 피험자가 관련 항목을 재인하는지를 탐지하고 숨긴 정보 검사 동안 본인이 관련 항목을 재인하는 것을 숨기는 지 확인하는데 있기 때문에, 범죄 관련 항목은 과제 관련성을 보인다. 범죄 관련 항목은 드물게 나타

나고 이 항목을 재인하는 피험자에게는 의미 있게 된다. 범 죄를 저지른 범인에게 범죄 관련 정보는 의미 있는 중요한 정보이기 때문에 피부전도도가 증가하는 정향반응이 나타난다.

숨긴 정보 검사에서 관찰되는 심박률의 감소는 억제 (inhibition)에 의해 설명될 수 있다(Selle, Verschuere, Kindt, Meijer, & Ben-Shakhar, 2016). 억제는 집행기능으로 자동적이거나 미리 선점되어 있는 반응을 의도적으로 고의로 저지한다(Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000). 숨긴 정보 검사에서 억제는 반응 억제와 각성 억제로 언급 될 수 있다(Selle, Verschuere, Kindt, Meijer, & Ben-Shakhar, 2016). 기만적인 행동에서 기만은 미리 선점되어 있는 진실 반응을 억제하는 것을 포함한다. 진실은 자동적으로 활성화되는데 거짓말을 해야 할 동기가 있는 사람들은 진실과 거짓 간에 갈등이 나타나고 이때 진실 반응의 억제를 통해 갈등을 해결하고자 한다. 즉, 범죄 관련 항목에 대한 지식을 부인하는 것이 진실과 거짓반응 간에 충돌을 일으키는데 먼저 선점되어 있는 반응을 억제함으로써 이 문제를 해결하는 것이다(Seymour & Schumacher, 2009; Verschuere & De Houwer, 2011). 숨긴 정보 검사의 CIT 효과에 기여하는 생리적 각성의 억제는 정서 반응 조절과 관련되는데 정서 반응을 억제(억압)하는 피험자들에서 피부전도도가 증가하고 심박률이 감소하는 것으로 나타났다(Demaree, Schmeichel, Robinson, Pu, Everhart, & Berntson, 2006; Gross & Levenson, 1997).

숨긴 정보 검사는 재인 탐지 과제이다. 범죄자가 범죄 관련 정보의 재인을 숨기려고 노력했을 때 숨긴 정보 검사를 이용해서 생리적인 반응들을 측정할 수 있다. 최근의 숨긴 정보 검사 연구들은 숨김 관련 요소와 재인 관련 요소들을 나누고 수반되는 생리 반응들을 밝히고자 노력하고 있다(Matsuda & Nittono, 2018). 범죄 관련 정보의 단순한 재인이 정향 반응을 만드는데 정향 반응은 범죄 관련 정보가 범 죄자에게 의미 있다는 것을 가리킨다. 재인을 숨기려는 의도는 정향 반응을 증폭시키는데 숨기는 것이 범 죄자에게 해당 정보를 더 의미 있게 만든다는 것을 가리킨다. 재인을 숨기는 것은 생리적인 반응을 억제하는 인지적인 통제를 요구한다. 숨기는 것은 말과 행동으로 관찰해서 탐지하는 것이 어렵다. 숨기는 것은 몸 안에 다양한 생리적인 반응들을 일으킨다. 숨긴 정보 검사에서 숨기려는 의도는 생리적인 반응들을 증폭하고 다양화함으로써 재인을 탐지하는 정확도를 높 이는데 상반되는 효과를 보여준다.

1980년대 후반부터 중추신경계의 지표로서 숨긴 정보

검사에 사건관련전위를 사용하였고(Rosenfeld, Cantwell, Nasman, Wojdac, Ivanov, & Mazzeri, 1988; Farwell & Donchin, 1991), 2000년대에는 fMRI를 사용하였다(Langleben, Schroeder, Maldjian, Gur, McDonald, Ragland, O'Brien, & Childress, 2002; Nose, Murai, Taira, 2009). Gamer (2011a)는 fMRI를 사용한 숨긴 정보 검사 연구들을 메타 분석하였는데, 무관련 항목에 비해 관련 항목에서 우반구 중전두이랑(right middle frontal gyrus), 하전두이랑(inferior frontal gyrus), 우 측두두정접합(right temporoparietal junction)의 활동성이 증가하였다. 하 전두이랑과 측두두정접합은 복측 전두두정 네트워크(ventral frontoparietal network)를 형성하는데 특히 우반구 복측 전 두두정 네트워크는 기대하지 않았거나 드물게 나타나는 사건 을 탐지했을 때 활성화되는 것으로 알려졌다(Corbetta & Shulman, 2002). 숨긴 정보 검사에서 나타난 이러한 뇌 영역의 활성화는 정향반응을 반영하는 것으로 보고 되었다(Gamer, 2011a). 중전두이랑은 배외측 전전두 피질(dorsolateral prefrontal cortex)로도 불리는데 작업 기억(working memory)에서 인지적 표상(cognitive representation)을 추적 관찰하고 조종할 때 활성화되는 것으로 알려졌다(Barbey, Koenigs, & Grafman, 2013). 특히 우 반구 중 전두 영역의 활성화는 목표 지향적인 행동과 적응적인 의사결정을 가능하게 하는 인지 과정을 지원하고(Barbey et al., 2013), 반응 억제와도 관련 있다고 보고되었다(Shackman, McMenamin, Maxwell, Greischar, & Davidson, 2009). 우반구 하전두이랑의 활동성은 기억 인 출과 반응을 억제하는 것과 관련 있다고 여겨진다(Aron, Robbins, & Poldrack, 2014).

Hakun 등(2008)은 fMRI를 이용한 거짓말 탐지 연구(Langleben et al., 2002, 2005)들을 메타 분석하였는데, 거짓말 반응 동안 양측 하전두이랑(inferior frontal gyrus), 양측 하두정이랑(inferior parietal gyrus), 모서리위이랑(supramarginal gyrus), 전측 대상 피질(anterior cingulate cortex), 양측 중간측두이랑(middle temporal gyrus), 췌기 앞소엽(precuneus)에서 활동성이 증가한 것으로 나타났다. 또한, Hakun(2008) 등은 숨긴 정보 검사를 이용하여 fMRI 연구를 수행하였다. 거짓말반응과 진실반응 사이의 BOLD 신호 차이를 확인해보니 전전두-두정 영역의 활동성(prefrontoparietal activation)이 높게 나타났다. 모의범죄에 대한 특정한 정보를 알고 있는 것만으로 주의수준을 높여서 전두-두정 영역의 뇌 활동성이 증가되었다는 것을 보여준다. Kireev 등(2013)은 PET(positron emission tomography,

뇌 양전자 방사 단층 촬영법)과 fMRI를 이용하여 하전두 이랑, 중간전두이랑(middle frontal gyrus), 중심전두이랑(precentral gyrus), 미상핵(caudate nucleus), 하두정소엽(inferior parietal lobule)로 구성되는 전두-두정 네트워크(fronto-parietal brain network)가 거짓말의 처리과정에 관여한다는 것을 보여주었다. 전두-두정 네트워크에서 전두 피질은 주로 미리 선점된 진실 반응을 억제하는 데 관여하고 두정피질은 너무 자주 거짓말하는 것처럼 보이지 않기 위해서 실시간 계산을 하는데 관여한다고 한다(Spence et al., 2004). fMRI 연구뿐만 아니라 ERP 연구와 PET 연구에서도 거짓말과 관련해서 전두-두정 네트워크의 중요성은 지지되었다(Abe, 2011; Chist et al., 2009; Gamer, 2011a). Jung 등(2013)은 모의 범죄 상황에서 P300-기반 숨긴 정보 검사를 수행하여 탐침 정보를 알고 있는 유죄 집단과 탐침정보를 모르는 무죄 집단을 비교하였다. 탐침을 알고 있는 유죄집단의 경우 P300진폭이 증가하였고, P300이 뇌의 어느 영역에서 발생했는지를 sLORETA(standardized low-resolution electromagnetic tomography, 표준화된 저해상도 전자기 단층 촬영법) 방법으로 분석한 결과 전두-두정 영역(frontoparietal region)의 활동성이 증가하였다.

요약하면, 숨긴 정보 검사 효과는 유죄 용의자가 범죄 관련 항목을 재인함으로써 관련 항목과 무관련 항목 간에 다른 생리적인 반응을 보이는 것을 말하며 다른 생리적인 반응으로 교감신경계의 활성화와 전전두-두정 영역의 활동성 증가가 나타났다.

사건관련전위

사건관련전위는 자극제시후 나타난 뇌의 전기적 활동성을 나타내고 몇 가지 성분으로 구성된다. 기억 탐지 연구에서 사건관련전위는 전통적인 자율신경 측정치에 대한 대안으로 주목받고 있는데, 사건관련전위는 1000분의 1초인 ms 단위로 뇌 활동성을 빠르게 측정하고 과정 특정한 뇌 활동성을 측정하는 이점 때문에 다른 생리 측정치나 행동 측정치 보다 숨긴 정보 검사를 숙이려는 대응책에 대한 저항을 가지고 있다고 생각되었다(Ben-Shakhar, 2011; National Research Council, 2003). 실제로 폴리그래프에 의해서 측정되는 생리적인 측정치들은 물리적인 방법과 인지적인 방법에 의해서 의식적으로 변화 될 수 있기 때문에 대응책은 폴리그래프를 이용한 자율신경계-기반 숨긴 정보 검사의 정확도를 위협하고 있다(Peth, Suchotzki, & Gamer, 2016). 대응책에 대한 예로 피험자가 검사 중 발가락이나 손가락을 누르거나 움직이는 물리적인 방법 또는 마음속으로 엉뚱한 상상을 하는 인

지적인 방법 등을 들 수 있다(Rosenfeld, Soskins, Bosh, & Ryan, 2004; Rosenfeld, Labkovsky, Winograd, Lui, Vandenboom, & Chedid, 2008; Winograd & Rosenfeld, 2011).

대부분의 CIT 사건관련전위 연구에서 특정 사건과 관련 없는 무관련 자극보다 특정 사건과 관련된 탐침 자극에 대해 P300(또는 P3) 성분의 진폭이 증가되었다는 보고가 제시되었다(Rosenfeld, 2011). 몇몇 연구에서는 무관련 자극보다 탐침 자극에 대해 N200(또는 N2) 성분의 증가(Gamer & Berti, 2010; Hu, Pornpattananangkul, & Rosenfeld, 2013; Matsuda & Nittono, 2013), late positive potential(LPP)의 증가(Matsuda & Nittono, 2015), late posterior negativity(LPN)의 증가(Farwell, 2012; Hu, Bergström, Bodenhausen, & Rosenfeld, 2015)를 보고하였다.

P300

P300은 자극제시후 300 ms에서 900 ms 근방에서 나타나는 정적 전위 정점(positive peak)을 보이며 자극의 복잡성에 의존해서 나타난다. 과제 관련한 자극이 드물게 나타날 때 P300이 유발된다. 전형적인 오드볼 패러다임은 드물게 나타나는 목표 자극(target)을 빈번하게 나타나는 표준 자극(standard)에서 변별하도록 설계되었는데, P300은 빈번하게 나타나는 표준 자극에 비해서 낮은 빈도로 나타나는 목표 자극에 의해서 유발된다(Donchin, 1981; Donchin & Cole, 1988). 오드볼 패러다임에서 맥락에 따라 P300은 다른 두 개의 파동 형태를 나타낸다. P3a는 기대하지 않은 자극(또는 새로운 자극, 비목표 자극)에 의해서 나타나는데 전두엽 부위에서 최대 진폭을 보인다. P3b는 측두엽 부위에서 최대 진폭을 나타내며, 목표 자극이 처리되었을 때 나타난다(Squires, Squires, & Hillyard, 1975a). 자극의 구성이 목표 자극과 표준 자극으로 이루어진 오드볼 패러다임은 2-자극 패러다임으로 이때 목표 자극에 의해 나타나는 사건관련전위가 P3b이고, 목표 자극과 표준 자극이외에 드물게 나타나는 새로운 자극으로 구성된 3-자극 패러다임에서 새로운 자극에 의해 나타나는 사건관련전위가 P3a이다. P300은 자극제시후 300 ms에서 900 ms 근방에서 나타나는 정적 전위 정점(positive peak)으로 두정 영역(parietal-dominant) 두피 분포를 보이며 자극의 복잡성에 의존해서 나타난다. P300(특히 P3b) 진폭의 크기는 두피에서 다른 분포를 나타내는데 두정부(parietal)에 위치한 전극에서 가장 큰 진폭을 보이고, 중심부(central), 전두부(frontal)에 위치한 전극 순으로 P300의 진폭이 줄어든다. 오드볼 패러다임을 사용하여 P300을

조사한 연구들은 제시 확률이 높은 표준 자극보다는 제시 확률이 낮은 목표 자극에서 진폭이 큰 P300을 관찰하였다(Donchin, Karis, Bachore, Coles, & Gratton, 1986; Duncan-Johnson & Donchin, 1977). 일반적으로 목표자극은 5-20% 내외의 확률분포로 제시되는데 제시되는 확률이 낮을수록 P300 진폭의 크기가 커진다. 자극이 얼마만큼 의미 있는가에 따라서도 P300 진폭은 달라지는데, 피험자에게 의미 있는 자극일수록 더 큰 진폭을 나타낸다(Johnson, 1988; Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965). 과제의 사건자극에 대한 관련성이 피험자가 크면 클수록 P300의 진폭이 비례적으로 증가하게 된다(Donchin et al., 1986; Duncan-Johnson & Donchin, 1977; Squires, Squires, & Hillyard, 1975b).

P300은 과제 관련 자극과 의미 있는 자극의 제시로 나타나고 P300의 진폭은 과제 요구(task demand)와 관련 있는 것으로 보고되었다(Johnson, 1986). Bennington과 Polich (1999)는 목표 자극이 나올 때마다 버튼을 누르는 능동조건과 목표 자극과 표준 자극 모두에서 어떤 반응도 하지 않는 수동조건에서 각각 청각 자극과 시각 자극으로 구성된 목표 자극에 대한 사건관련전위를 제시하였는데, 능동조건이 수동조건에 비해서 큰 진폭의 P300이 나타나는 것을 보여주었다. P300은 과제 관련 자극의 기억 활동을 촉진하고(Polich, 2007), 자극 평가 과정과 관련되며 과제 수행에서 가용한 주의 자원(attention resources)의 측정치로 여겨진다(Donchin & Coles, 1988). 선행 연구들에서 P300이 선택적 주의력(Squires, Squires, & Hillyard, 1975a), 본보기 맞추기(template matching)(Hillyard, Squires, Bauer, & Lindsay, 1971), 의식에서의 정보의 양(Picton, 1992), 불확실감의 해소(Sutton et al., 1965)와 관련 있다고 보고되었다. Donchin과 Cole(1988)은 다양한 인지 활동으로 P300이 나타날 수 있는데 이러한 인지적 활동들의 공통적 기능은 정보처리라고 주장하며, P300의 맥락최신화 가설(context updating hypothesis)을 제안하였다. 이 가설에서 새로 유입된 자극이 이전 자극에 대한 신경 표상과 맞지 않으면 신경 표상을 새로운 자극에 맞게 변화시켜야만 맥락에 일치되는 모델을 유지할 수 있다고 하였다. 신경 표상이 변화되는 과정의 부산물로서 P300이 나타났는데 P300의 잠재시간은 자극이 평가되고 탐지되는데 걸린 시간을 반영한다고 보았다(Gracia-Larrea & Cezanne-Bert, 1998). P300이 나타나는 잠재기는 300 ms에서 900 ms까지의 범위를 포함하는데, 이렇게 잠재기의 범위가 넓은 것은 자극의 속성이 얼마나 복잡한가에 따라 자극이 처리되는데 걸린 시간에 차이가 나타나

수 있기 때문이다.

P300-기반 숨긴 정보 검사

1980년대 후반에 P300을 이용한 숨긴 정보 검사(Rosenfeld 등에 의해 수행되었는데, 피험자에게 상자 안에 들어있는 모르는 9개 물건 중에 한 개의 물건을 선택하고 그 물건을 없애서 훔친 것처럼 가장하게 하였다(Rosenfeld et al., 1988). 9개 물건의 이름을 단어로 컴퓨터 화면에 반복해서 무선적으로 섞어서 제시하면서 뇌파를 측정하여 사건관련전위를 도출하였다. 9개 물건이름 각각에 대한 사건관련전위를 분석한 결과 10명 중 7명의 피험자에서 본인이 각자 선택한 물건에 대해 P300 진폭이 증가하였다. 초기의 P300-기반 숨긴 정보 검사는 변형된 오드볼 패러다임으로 탐침 자극, 무관련 자극, 목표 자극의 3가지 종류 자극으로 구성되었다(Allen, Iacono, & Danielson, 1992; Farwell & Donchin, 1991; Rosenfeld et al., 1988). 전형적인 오드볼 패러다임에서 표본 자극 중 일부가 특정 사건과 관련된 자극으로 구성되고 이것을 탐침 자극으로 정한다. 탐침 자극은 범인과 피해자, 검사관, 수사관 같이 사건 관계자만이 알고 있는 숨겨진 정보를 포함한다. 표본 자극 중에서 탐침 자극을 제외한 자극들은 탐침 자극과 같은 범주이면서 해당 사건과 관련되지 않은 자극들로 무관련 자극이 된다. 목표 자극 또한 사건과 관련 없는 자극으로 구성되는데, 목표 자극은 탐침 자극, 무관련 자극과는 다른 반응을 하도록 지시되었다. 예로 목표자극이 나타날 때 마다 목표자극이 몇 번 나왔는지 속으로 숫자를 세거나 버튼을 누르는 과제를 수행하게 된다. 목표 자극에 대한 반응을 통해 숨긴 정보 검사에서 피험자가 자극에 대해 일정한 수준의 주의를 유지하는 지를 확인할 수 있게 된다. P300-기반 숨긴 정보 검사의 초기 연구들은 낮은 빈도의 목표 자극과 빈번하게 나타나는 무관련 자극 중에서 피험자는 목표 자극이 나타날 때 임의의 버튼을 누르고 무관련 자극이 나타날 때는 다른 버튼을 누르도록 지시하였다(Farwell & Donchin, 1991). 탐침 자극의 경우 목표자극과 같이 낮은 빈도로 제시되지만 무관련 자극에 사용된 버튼을 누르도록 하였다. 결백한 사람은 해당 범죄사건의 숨긴 정보를 알지 못하기 때문에 같은 범주의 자극들인 탐침 자극과 무관련 자극의 차이를 알지 못하는데 반해, 유죄인 사람은 숨긴 정보를 포함하는 탐침 자극이 나타날 때 마다 재인이 일어나서 무관련 자극과는 다른 정보처리를 하게 된다. 즉 무죄집단의 경우, 사건에 대한 특정한 숨긴 정보를 모르기 때문에 탐침 자극과 무관련 자극은 차이가 없게 되고 탐침 자극과 무관련 자극 사이에서는 전위차의 차이가 나타나

지 않고 탐침 자극이나 무관련 자극에 비해 목표 자극이 더 큰 P300 진폭을 나타낸다. 그러나 유죄집단에서는 목표 자극 뿐만 아니라 탐침 자극에서도 무관련 자극보다 더 큰 P300 진폭을 나타내는데, 목표 자극 보다는 탐침 자극의 P300 진폭이 비교적 작게 나타난다. 탐침 자극이 무관련 자극보다 더 큰 P300 진폭을 보이는 것은 피험자가 특정 사건과 관련된 탐침 자극의 숨긴 정보를 이미 알고 있었기 때문에 나타나는 뇌의 활동성을 반영한다. Soskins 등(2001)의 선행연구 결과에 기초해서 Rosenfeld(2011)은 숨긴 정보를 탐지하는 목적으로 P300 성분을 측정할 때 일반적으로 0.3 Hz high pass filter와 30 Hz low pass filter를 사용해서 peak-to-peak 방법을 이용하는 것을 추천하고 있다 (Rosenfeld, 2019).

많은 숨긴 정보 검사에서 한 개의 탐침 자극을 사용하는 데 한 블록에서 여러 개의 탐침 자극을 사용 했을 때 피험자의 기억 부담과 과제 요구가 증가해서 탐침 자극의 P300 진폭이 줄어들어 검사의 정확도가 떨어진다고 보고되었다(Rosenfeld, Shue, & Singer, 2007; Lui & Rosenfeld, 2008). Rosenfeld 등(2007)은 6개의 탐침 자극을 사용하는 것보다 1개 탐침 자극을 사용할 때 P300 탐지 민감도가 더 크고 탐침 자극으로 우연히 획득한 정보를 사용하는 것보다 자기참조적 정보를 사용하였을 때 P300 탐지 민감도가 더 크다고 발표하였다. 우연히 획득한 정보보다 자기참조적 정보가 개인적으로 더 큰 의미가 있기 때문에 탐침 자극에 대한 주의가 증가하고 6개 탐침 자극을 사용할 때 각각의 시행에서 더 큰 주의를 필요로 하기 때문에 인지적 자원의 요구가 커지고 피로도가 크기 때문에 P300 탐지 민감도가 감소하는 것으로 해석되었다. Lui와 Rosenfeld의 연구(2008)에서도 2개 탐침자극 집단의 정확도가 78.55%이고 3개 탐침 자극 집단의 정확도가 67.45%로 블록 내에 사용한 탐침의 숫자에 따라 정확도에 차이가 있다고 보고하였다. 유죄지식 집단에서 숨긴 정보를 가지고 있다고 탐지하는 확률(Hit율), 무죄집단에서 숨긴 정보를 가지고 있지 않다고 탐지하는 확률(Correct Rejection율, CR율), Hit율과 CR율의 평균을 정확도(Accuracy)로 정리되었다. 이러한 연구 결과들은 P300-기반 숨긴 정보 검사에서 한 블록 내에 탐침 자극의 숫자가 증가하면 검사 정확도가 떨어진다는 것을 보여준다.

상당한 수의 연구들은 P300-기반 숨긴 정보 검사가 거의 90%의 정확도를 나타낸다고 보고 하였다(Allen et al., 1992; Farwell & Donchin, 1991; Rosenfeld et al., 1988; Rosenfeld, Angell, Johnson, & Qian, 1991). P300-기반 숨긴 정보 검사는 P300을 숨기고자 하는 정보나 범죄의 중요

한 세부사항의 재인에 대한 지표로 사용한다. 정보의 재인은 뇌의 활동성을 통해서 나타나는데, 300ms 동안의 짧은 순간에 일어나는 P300 지표를 인위적인 대응책으로 조정하기 쉽지 않을 것이기 때문에 P300-기반 거짓말 탐지는 대응책에 어느 정도 저항을 가지고 있다고 기대되었다(National Research Council, 2003). 그러나 P300-기반 숨긴 정보 검사를 이용하여 대응책에 대한 영향이 실제로 연구되었는데 (Rosenfeld et al., 2004) 그 결과는 이러한 기대에 부흥하지 못하였다. 이 연구는 두 개의 실험으로 구성되었는데, 실험1에서는 범죄에 관한 6가지 세부사항을 가지고 6탐침 프로토콜을 사용하였다. 대응책으로 탐침 자극의 범주와 같은 범주의 무관련 자극이 나올 때마다 숨김 반응을 하도록 하였는데, 숨김 반응은 왼손을 다리위에 두고 미세하게 중지를 누르거나 검지를 누르기, 오른쪽 또는 왼쪽 엄지발가락을 미세하게 흔들기, 혹은 마음속으로 실험자가 피험자의 뺨을 때리는 것을 상상하는 것이었다. 유죄 집단의 거짓말 탐지하는 확률은 82%였지만 대응책 집단의 거짓말 탐지하는 확률은 18%로 현저히 낮아졌다. 실험2에서는 범죄에 관한 한 가지 세부사항을 검사하는 1탐침 프로토콜을 사용하여 유죄 집단을 3주에 걸쳐 실험하였다. 피험자내(within subject) 설계로 1주에는 유죄 집단으로 참여하고, 2주에는 대응책을 연습시켜서 대응책 집단으로 참여하고, 3주에는 대응책에 대한 지시 없이 유죄 집단으로 참여하였다. P300-기반 숨긴 정보 검사의 정확도가 1주는 92%, 2주는 50%, 3주는 58%로 나타났다, P300진폭에 기초한 숨긴 정보 검사가 비교적 쉽게 습득할 수 있는 대응책에 의해 왜곡될 수 있다는 것을 제시하였다. 3주차의 결과는 일단 대응책을 배우게 되면 대응책에 대한 특별한 언급이 없더라도 이후에는 쉽게 검사를 왜곡할 수 있게 된다는 것을 보여준다. P300-기반 거짓말 탐지 검사가 대응책에 저항성을 가질 것이라는 기대와는 달리, P300이 나타나는 원리를 이용한 대응책을 사용하였기 때문에 거짓말 탐지 결과가 대응책에 의해 왜곡되었다. P300-기반 숨긴 정보 검사에서 탐침 자극에 더 큰 P300 진폭이 나타난 것은 무관련 자극에 비해 더 많은 주의가 주어졌기 때문인데, 대응책을 무관련 자극이 나타날 때마다 사용하면 무관련 자극에 주의가 주어지게 되어 탐침 자극에 쓰이는 인지적 자원이 결과적으로 줄어들고 주의가 분산되어 탐침 자극과 무관련 자극간 P300 진폭 차이가 줄어들어 검사 정확도가 떨어지게 된다. Mertens와 Allen(2008) 역시 사건관련전위를 이용한 기억 탐지 과제가 대응책에 취약할 수 있다는 것을 보여주었다. 79명의 대학생을 대상으로 가상현실을 이용한 모의범죄에서 대응책을 사용하였을 때 P300-기반 숨긴

정보 검사의 정확도가 감소하는 것을 발표하였다. 거짓을 탐지하는 확률을 보면 대응책을 사용하지 않은 유죄집단은 분류법에 따라 27% - 47%이고 3종류의 대응책을 사용한 집단의 결과는 대응책에 따라 7%에서 27%로 나타났다. 이러한 연구들은 P300-기반 숨긴 정보 검사가 무관련 자극에 정신적인 또는 물리적인 숨김 반응을 함으로써 무관련 자극을 숨겨진 목표자극으로 변환하는 대응책에 취약하다는 것을 보여준다.

요약하면, 숨긴 정보를 탐지하는 목적으로 P300 성분을 측정할 때 일반적으로 0.3 Hz high pass filter와 30 Hz low pass filter를 사용해서 peak-to-peak 방법을 이용하는 것이 유리하고 탐침의 숫자가 1개와 같이 적을수록 P300-기반 숨긴 정보 검사의 정확도가 더 높게 나타났다. 탐침의 내용으로는 우연히 획득한 정보보다 자기참조적 정보가 더 높은 P300-기반 숨긴 정보 검사의 정확도를 나타냈다.

복합 시행 프로토콜

탐침 자극, 무관련 자극, 목표 자극을 무선적으로 제시하는 P300-기반 숨긴 정보 검사의 3-자극 프로토콜에서 암묵적 과제(implicit task)와 외현적 과제(explicit task)가 동시에 일어난다고 볼 수 있다(Rosenfeld, 2011). 암묵적 과제는 탐침 자극, 무관련 자극, 그리고 목표 자극의 세 자극이 무선적으로 제시될 때 숨긴 정보를 갖고 있는 피험자가 탐침 자극과 무관련 자극을 재인하는 과정에서 두 자극이 암묵적으로 변별되기 때문에 성립한다. 숨긴 정보를 갖고 있는 피험자는 암묵적 과제를 수행하는 동시에 목표 자극을 구별하여 지정된 특정 행동 반응을 해야 하는 외현적 과제(예, 탐침 자극과 무관련 자극과는 달리 목표 자극에만 특정한 버튼을 누르기)를 수행해야 한다. 외현적 과제의 목표 자극은 주의가 요구되기 때문에 P300이 나타나고 암묵적 과제의 탐침 자극은 숨긴 정보를 포함하기 때문에 P300이 나타나지만 3-자극 프로토콜은 동시에 두 과제를 수행하게 함으로써 정보 처리 과정에서 주의 자원의 분산이 일어난다. 3-자극 프로토콜의 P300-기반 숨긴 정보 검사에서 암묵적 과제와 외현적 과제가 동시에 일어나고 두 과제 간 경쟁이 일어나면(Donchin, Kramer, & Wickens, 1986) 탐침 자극의 P300이 줄어들어서 대응책에 취약해진다(Rosenfeld et al., 2008). 대응책에 취약한 구조의 3-자극 프로토콜의 P300-기반 숨긴 정보 검사에서 무관련 자극에 주의가 주어지는 대응책을 사용했을 때 이러한 주의 자원의 분산은 탐침 자극과 무관련 자극 간 P300 진폭의 감소로 나타나며 검사의 정확도를 낮추게 된다.

대응책의 효과를 줄이기 위한 시도로서 복합 시행 프로토

콜(Complex Trial Protocol, CTP)이 개발되었다(Rosenfeld et al., 2008). 복합 시행 프로토콜은 한 시행을 두 단계로 나누었는데 1단계에서는 탐침 자극이나 무관련 자극이 제시되고 2단계에서는 목표 자극이나 비목표 자극이 제시된다. 즉 한 시행 안에 탐침 자극 또는 무관련 자극이 제시되는 자극 1, 이후 목표 자극 또는 비목표 자극이 제시되는 자극 2로 구성되었다. 그림 1은 CTP 구조의 예를 보여주고 있는데 탐침 자극은 피험자에게만 의미가 있는 숨긴 정보(예, 피험자의 생일)가 포함되었으며 무관련 자극은 피험자에게 의미 없는 다른 날짜들로 구성되었다(Rosenfeld & Labkovsky, 2010). 피험자는 자극 1이 제시되면 “자극을 보았다(I saw it)”는 의미로 왼손의 다섯 개 버튼들 중 하나를 무선적으로 눌러 반응 1을 하게 된다. 이후 제시되는 자극 2인 목표 자극과 비목표 자극은 1에서 5의 숫자가 각각 다섯 번 씩 반복되어 제시되었다. 11111은 목표 자극으로 사용되어 오른손의 두 개의 버튼 중 오른쪽 버튼을, 나머지 22222, 33333, 44444, 55555는 비목표 자극으로 제시되어 오른손의 나머지 왼쪽 버튼을 눌러 반응 2를 하도록 지시하였다. 이와 같이 자극 1과 2를 분리시켜 한 시행 안에 두 단계로 나누어 제시하게 되면, 암묵적 과제와 외현적 과제를 각 단계로 분리시켜 두 과제 사이에서 주의가 나누어지지 않기 때문에, 탐침 자극에 대한 P300 진폭이 증가할 것으로 생각되었다(Rosenfeld et al., 2008).

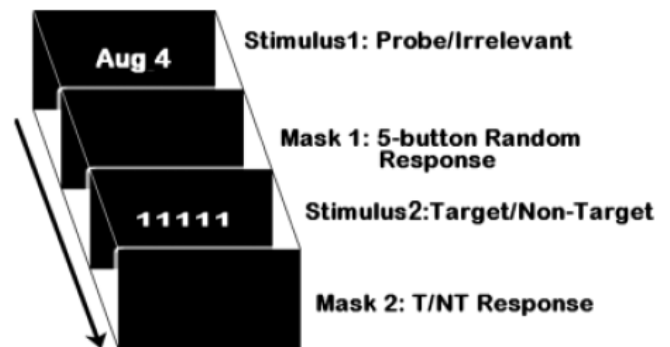


Figure 1. The complex trial protocol(CTP) (Rosenfeld & Labkovsky, 2010).

대응책의 기작(mechanism)

Rosenfeld 등(2008)은 복합 시행 프로토콜에서 숨긴 정보의 탐침 항목으로 피험자의 성(family name)이나 고향과 같이 개인적으로 의미 있는 정보를 사용하였다. 대응책 조건에서 피험자는 4개의 무관련 자극 각각에 물리적인 또는 정신적인 대응책을 사용하였다. 이 연구에서 대응책을 사용하지 않은 유죄 피험자의 검사 정확도는 100%로 나타났고 대응책

을 사용한 유죄 피험자의 정확도는 92%로 나타났다. 대응책 사용 피험자는 대응책을 사용하지 않은 유죄 피험자보다 탐침 자극의 P300 진폭이 오히려 더 증가하였다. Rosenfeld 등(2008)은 기존의 3-자극 프로토콜에서 복합 시행 프로토콜의 구조 변화가 대응책을 사용한 피험자들이 대응책을 사용하지 않은 피험자들 보다 탐침 자극에 더 많은 주의를 주도록 만들었다고 추측하였다. 복합 시행 프로토콜의 1단계(탐침 자극/무관련 자극 제시)에서 탐침 자극에는 대응책을 사용하지 않고 4개의 무관련 자극 각각에만 대응책을 사용하게 되면 탐침 자극이 대응책을 사용하지 않은 유일한 자극이 되는데 이러한 현저함은 탐침 자극이 가지고 있는 본연의 개인적 의미성("probe" effect)을 넘어서서 P300 진폭을 증가시키는 효과를 나타내는데 이러한 효과를 생략 효과("omit" effect)라고 하였다(Meixner & Rosenfeld, 2010). 복합 시행 프로토콜에 1단계에서 생략 효과는 무관련 자극에는 대응책을 사용하고 탐침 자극에는 대응책을 사용하지 않아서 대응책을 사용하지 않은 유일한 자극이 탐침 자극이 되었을 때 나타나고 그 결과 P300 진폭이 증가한다. 대응책을 사용하지 않은 유죄 피험자 보다 대응책을 사용한 유죄 피험자에서 탐침 자극의 P300이 증가한 것을 생략 효과로 설명할 수 있다.

대응책에 대한 취약성 때문에 Rosenfeld와 동료들은 기존의 3-자극 프로토콜에서 복합 시행 프로토콜을 개발하였는데, 복합 시행 프로토콜의 구조 변화로 탐침 자극에 대한 주의가 상대적으로 증가되고 대응책을 사용하더라도 탐침 자극을 무관련 자극에서 변별해냄으로서 대응책에 대한 저항성을 가진다고 주장하였다. 실제로 여러 연구에서 복합 시행 프로토콜을 사용하였을 때 대응책을 사용해도 정확도가 80% 이상을 유지한다고 보고되었다(Sokolovsky, Rothenberg, Labkovsky, Meixner, & Rosenfeld, 2011; Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld, Tang, Meixner, Winograd, & Labkovsky, 2009; Rosenfeld & Labkovsky, 2010; Hu et al., 2012; Meixner, Labkovsky, Rosenfeld, Winograd, Sokolovsky, Weishaar, & Ullmann, 2013; Winograd & Rosenfeld, 2011). Winograd와 Rosenfeld(2011)는 복합 시행 프로토콜을 이용하면 자서전적 정보뿐만 아니라 우연히 획득한 정보에 대해서도 대응책에 저항성을 가진다는 것을 보여주었고 대응책을 사용한 집단은 행동반응시간이 증가되었다고 보고하였다.

복합 시행 프로토콜의 선행연구들에서 행동반응시간과 관련된 결과들을 살펴보면, 대응책을 사용한 자극의 반응시간이 대응책을 사용하지 않은 자극의 반응시간보다 더 길게 나

타났다(Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld & Labkovsky, 2010; Winograd, & Rosenfeld, 2011). Olson 등(2018)은 유죄 지식의 신호인 P300과 함께 행동반응시간을 대응책 사용의 지표로써 함께 사용했을 때 숨긴 정보 검사에 대한 효율성을 높일 수 있다고 주장하였다.

복합 시행 프로토콜의 효율성을 높이는 방법에 대한 연구가 다각도로 이루어졌다. CTP의 1단계에서 자극제시 방법을 시각과 청각으로 제시하고 비교하였을 때, 시각 제시가 청각 제시보다 탐침 자극과 무관련 자극 사이에 P300 진폭 차이가 더 크게 나타났다(Rosenfeld, Ward, Frigo, Drapekin, & Labkovsky, 2015). CTP에서 자극을 청각보다 시각적으로 제시했을 때의 이점은 Deng 등(2016)의 연구에서도 지지되었다. 또한 Hu와 Rosenfeld(2012)는 P300-복합 시행-기반 숨긴 정보 검사와 반응시간-기반 자서전적 암묵적 연합 검사(reaction time-based autobiographical implicit association test)를 함께 사용할 때 숨긴 기억 탐지의 효율이 증가한다고 보고하였다.

Rosenfeld 등(2017)은 금전적인 인센티브의 동기 유무가 CTP에서 일화적 탐침 자극과 의미적 탐침 자극 모두의 P300에 영향을 주지 않는다고 보고하였다. 이로써 금전적인 인센티브의 제공에 상관없이 CTP가 안정적인 결과를 제공한다는 것을 보여주었다.

P900

Rosenfeld와 Labkovsky(2010)는 대응책에 대해 복합 시행 프로토콜이 저항성을 가진다는 것을 확인했을 뿐 아니라, 대응책과 관련해서 새로운 사건관련전위 성분 P900을 발견하였다(그림 2). 그림 2를 살펴보면, 유죄 집단(SG, simple guilty), 무죄 집단(Innocent), 대응책(CM, countermeasure) 집단의 세 집단으로 구성하여 실험을 진행하였는데, 대응책 집단은 4개의 무관련 자극(Iall-Red) 중 2개의 무관련 자극에 정신적인 대응책을 수행하였다. 정신적인 대응책으로는 2개의 무관련 자극이 나올 때마다 실험 참가자 본인 이름의 글자 이미지를 떠올리도록 지시하였다. 그 결과, 세 집단 중 대응책 집단에서만 탐침 자극(Probe-Black) 제시 후 약 900 ms 근방에서 양전위를 가지고 있는 정점이 전두영역과 중심영역에서 두드러지는 것을 확인하였다. 이 정점은 P900으로 정의되었으며 대응책 사용과 관련된 새로운 사건관련전위 성분으로 보고되었다. 대응책 집단의 탐침 자극에서만 P900이 나타난 원인에 대해, 피험자는 탐침 자극에서는 대응책을 수행하지 않기 때문에 피험자가 이번 시행에서 더 이상 수행해야 할 과제가 없다는 신호로 받아들여지게 되는데 그 신호의

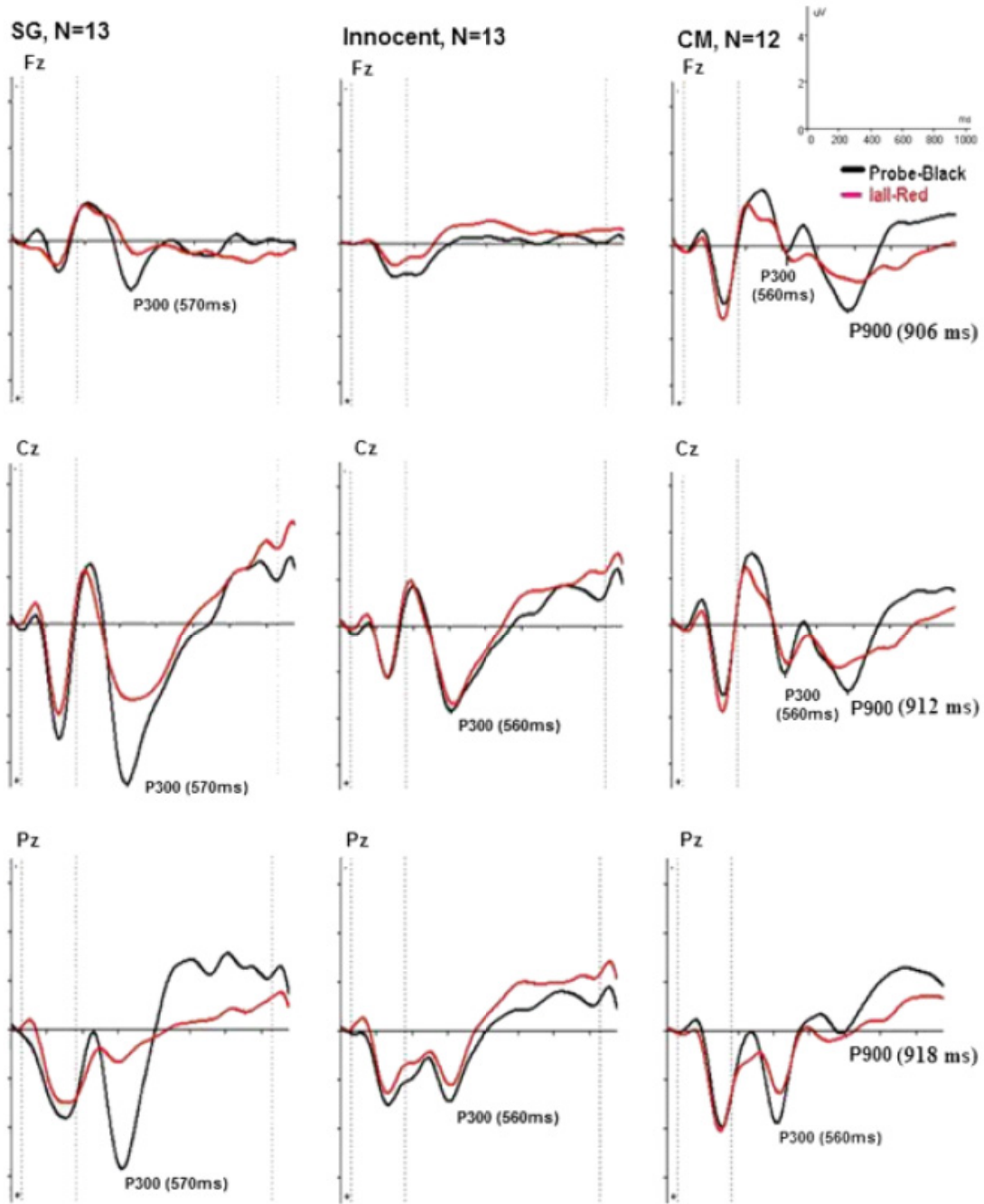


Figure 2. Superimposed probe and Iall ERPs at three scalp sites for each of three groups. Positive is down and each tic-tic interval on the y-axis represents 2 microV, and on the x-axis it represents 200 ms (Rosenfeld & Labkovsky, 2010).

반영이 P900으로 나타난다고 주장하였다(Meixner et al., 2013; Rosenfeld & Labkovsky, 2010). 이후에 Labkovsky와 Rosenfeld(2012a)는 정신적인 대응책을 사용하는 무관련 자극의 수에 따라 검사 정확도를 비교하였다. 4개의 무관련 자극 중 2-3개의 무관련 자극에 대응책을 사용했을 때 검사의 정확도를 낮추는 대응책 사용의 효과가 가장 높게 나타났다. 4개의 무관련 자극 중 2-3개의 무관련 자극에 대응책을 사용했을 때, 탐침 자극과 무관련 자극 간 P300 진폭의 차이가 거의 나타나지 않아서 숨긴 정보 검사의 정확도를 감소시

켰다. 이와는 달리 4개의 무관련 자극 중 1개 혹은 4개의 무관련 자극과 1개의 탐침 자극 모두에서 대응책을 사용할 때는 대응책 사용에 대한 효과가 나타나지 않았다. P900 진폭의 경우, 4개의 무관련 자극 중 2-3개 무관련 자극에 대응책을 사용했을 때 P900이 나타났는데, 1개 또는 4개의 무관련 자극과 1개의 탐침 자극 모두에서 대응책을 사용했을 때에는 P900이 나타나지 않았다(Labkovsky & Rosenfeld, 2012a). Meixner 등(2013)은 P900이 대응책 유사 반응을 한 무관련 자극에서는 유발되지 않고, 대응책 유

사 반응을 사용하지 않은 무관련 자극과 탐침 자극에서만 나타난다고 보고하였다. 이러한 결과는 오드볼의 유무가 P900을 유발하는데 필수적이지 않고, P900이 P300-기반 숨긴 정보 검사에서 대응책 사용의 지표가 될 수 있다는 것을 지지한다. 연구자들은 숨긴 정보 검사에서 유죄 지식을 가지고 있는 탐침 자극에 대해 P300이 나타나면서 대응책을 사용하지 않은 자극에 대한 반응으로 P900이 수반되면 유죄 지식을 가지고 있으면서 거짓말 탐지 검사를 속이고자 대응책 사용을 시도한 것으로 볼 수 있다고 주장하였다. 또한 선행연구들에서 탐침자극이 제시되면 피험자는 이번 시행에 특정 반응(대응책)을 수행하지 않아도 된다는 신호로 받아들여지고 그 신호의 반영이 P900으로 나타난다고 보고되었다 (Rosenfeld & Labkovsky, 2010; Labkovsky & Rosenfeld, 2012a).

두 개 탐침 복합 시행 프로토콜(dual probe complex trial protocol)

Labkovsky와 Rosenfeld(2012b, 2014)는 기존의 복합 시행 프로토콜을 변형하여 이중 복합 시행 프로토콜을 제안하였다. 기존의 복합 시행 프로토콜은 1단계에 탐침 자극/무관련 자극 이 제시되고 2단계에 11111, 22222와 같이 유죄 지식을 포함하지 않는 목표자극/비목표자극이 제시되었다. 즉, 기존의 복합 시행 프로토콜은 1단계에만 탐침 자극이 제시되어 유죄지식 유무를 검사하였다. 이에 반해, 이중 복합 시행 프로토콜은 1단계뿐만 아니라 2단계에서도 탐침 자극이 제시되었다. 2단계에 목표자극/비목표자극에서 비목표자극은 범죄관련내용의 또 다른 범주에서 나온 정보(두 번째 탐침 자극)가 사용되고 목표자극은 비목표자극과 같은 범주의 무관련 자극이 사용되었다. 이중 복합 시행 프로토콜은 한 개의 시행에서 두 개의 탐침 자극을 제시함으로써 두 가지 범주의 유죄 지식을 검사할 수 있게 된다. Labkovsky와 Rosenfeld(2014)는 이중 복합 시행 프로토콜을 이용하여 유죄 집단, 대응책 집단, 무죄 집단의 세 집단에서 숨긴 정보 검사를 수행하였다. 그 결과 탐침 자극과 무관련 자극의 P300 진폭 차가 유죄 집단과 대응책 집단에서만 유의미하게 나타났고 정확도가 94.7%로 나타났다. 이중 복합 시행 프로토콜의 각 단계에서 나타난 정확도 보다 두 단계를 합쳤을 때 정확도가 증가하였다. Rosenfeld 등(2013)의 연구에서도 이중 복합 시행 프로토콜의 각 단계에서 나타난 정확도 보다 두 단계를 합쳤을 때 정확도가 증가하는 결과가 제시되었다. 이러한 결과는 복합 시행 프로토콜보다 이중 복합 시행 프로토콜을 사용하는 것이 숨긴 정보 탐지의 효율이 증가한다는

것을 보여준다.

유죄 지식 검사에서 무죄 판단은 용의자가 실제로 결백한 무죄이거나, 검사 당시 범죄의 특이한 세부사항을 잊어버렸거나(범행시점과 검사시점 간 간격이 길어질 때 더 큰 가능성), 범죄 기억을 의도적으로 억제하고 실제 지식을 가장할 높은 동기가 있을 때 받을 수 있다. Bergstrom 등(2013)은 의도적인 기억 억제가 사건관련전위-기반 기억 탐지 검사에서 유죄 지식을 숨길 수 있다는 것을 보여주었다. 피험자가 범죄관련 기억의 인출을 억제하도록 동기가 주어지면, 그들의 기억 관련 ERP 효과는 유의미하게 감소하였다. 즉 의도적으로 기억 인출을 억제하도록 지시받은 조건에서 탐침 자극 P300 진폭이 유의미하게 감소하였다.

자율신경계-기반 숨긴 정보 검사에서 탐침의 자세한 정보에 노출된 무죄 집단의 허위긍정률(false-positive rates)을 살펴보면 25%에서 75%로 나타났다(Bradley, Barefoot, & Arsenault, 2011). 허위긍정(false positive)은 결백한 사람을 유죄 지식을 가지고 있다고 잘못 판단하는 것이고 허위부정(false negative)은 유죄 지식이 있는 사람을 유죄 지식이 없다고 잘못 판단하는 것이다. Winograd와 Rosenfeld(2014)는 P300 기반-숨긴 정보 검사에서도 이러한 허위긍정률이 나타나는지 알아보았는데, 복합 시행 프로토콜을 사용해도 허위긍정률이 높게 나타났다(Winograd & Rosenfeld, 2014). 탐침의 정보를 알고 있는가의 유무(informed/naive)와 모의 범죄를 저지른 지의 유무(guilty/innocent)에 따라 4개의 집단으로 나뉘어서 연구가 진행되었다. 그 결과 탐침의 정보를 가지고 있는 무죄 집단(innocent-informed)의 총 13명중 9명을 유죄로 잘못 분류하여 허위긍정률이 69%로 나타났다.

목격자 연구

숨긴 정보 검사에서 특정 사건에 해당하는 정보를 숨기는 것이 아니라 드러내는 경우에 생리적인 반응들을 연구한 논문들이 발표되었다. Klein Selle 등(2016)은 유죄집단을 용의자와 목격자로 나누어 용의자의 경우에는 관련 항목을 숨김으로서 거짓말 탐지를 피하도록 지시하였고 목격자의 경우에는 명시적인 행동을 보이지는 않지만 관련 항목을 드러냄으로서 거짓말 탐지 검사에서 신호가 탐지되도록 지시받았다. 용의자의 경우 관련 항목에서 피부전도도가 증가하고 심박률이 느려지고 호흡이 억제되는 것으로 나타나는데, 목격자의 경우 무관련 항목보다 관련항목에서 피부전도도가 더 크게 나타났는데 반해 심박률이 느려지거나 호흡이 억제되는 것은 나타나지 않았다. Kubo와 Nittono(2009)는 숨김 조건, 발신 조건, 무 비밀 조건, 통제 조건에서 실험을 수행하였는데 발

신 조건의 피험자에게 관련 항목에 뇌 반응을 높여서 실험자가 알 수 있도록 노력하라고 지시하였다. 드러내는 의도를 가진 발신 조건의 관련 항목이 무관련 항목 보다 더 큰 P300 진폭을 나타냈을 뿐만 아니라 숨기는 의도를 가진 숨김 조건의 관련 항목 보다 더 큰 P300 진폭을 나타냈다. Rosenfeld 등(2017)은 드러내는 의도를 가진 목격자 조건과 숨기려는 의도를 가진 용의자 조건 모두 두정 영역에서 탐침 자극의 P300 진폭이 무관련 자극 보다 더 크게 나타났다고 보고하였다. 탐침 자극과 무관련 자극 사이에 P300 진폭 차이는 목격자 조건 보다 용의자 조건에서 더 크게 나타났다. Kubo와 Nittono(2009)의 연구에서 발신 조건이 관련 항목과 무관련 항목간 P300 진폭 차이가 숨김 조건 보다 크게 나타났는데 반해, Rosenfeld 등(2017)의 연구에서는 용의자 조건이 탐침 자극과 무관련 자극간 P300 진폭차이가 목격자 조건 보다 크게 나타나서 서로 상반된 결과를 보여주었다. Rosenfeld 등(2017)의 연구에서 오직 용의자 조건에서만 전두영역에서 N200/N300 잠재기가 지연되는 반응이 나타났다. 이것은 잠재적인 억제 신호로 받아들여지는데, 목격자에게는 이러한 억제 반응이 나타나지 않는 것으로 여겨졌다. 관련 항목 또는 탐침 자극에 더 큰 반응을 해서 탐침 정보를 가지는 것을 드러내는 의도를 가지는 것이 부가적인 인지적 통제를 늘리게 하고(Matsuda & Nittono, 2018), 부가적인 인지적 통제와 관련한 독특한 생리적인 반응들이 나타날 수 있다. 재인을 드러내는 노력이 재인을 숨기는 노력만큼 어려울 수 있다(Kubo & Nittono, 2009). 어떤 의도로 과제를 수행하는 가는 생리적인 반응에 영향을 줄 수 있고(Bergstrom et al., 2013), 과제에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있기 때문에 이와 관련해서 더 활발한 연구가 필요하다고 보인다.

숨긴 정보 검사 관련 기타 사건관련전위 성분

N200(N2): 갈등 모니터링(conflict monitoring)

N200(N2)은 자극제시후 200 ms에서 300 ms 근방에서 나타나는 부정 전위 정점(negative peak)으로 전두중심영역의 두피분포를 보인다. N200은 주의, 새로움, 불일치와 관련될 뿐만 아니라 전략적 추적 관찰과 운동 반응의 통제와도 관련된다. 특히 전두중심영역의 N200이 갈등 모니터링과 관련 있으며(Amodio, Master, Yee, Taylor, 2008; Leue, Lange, & Beauducel, 2012a; Leue, Lange, & Beauducel, 2012b; Leue, Lange, & Beauducel, 2014; Nieuwenhuis, Yeung, Van Den Wildenberg, Ridderinkhof, 2003), 전측 대상 피

질에서 발생했다고 보고되었다(Amodio et al., 2008; Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Leue et al., 2012b; Nieuwenhuis et al., 2003). 또한, N200이 주의, 불일치, 통제 관련해서 하부성분(sub-components)으로 나누어질 수 있다고 보고되었다(Folstein & Van Petten, 2008). Suchotzki 등(2015)은 모의범죄 시나리오에서 거짓 반응이 진실 반응보다 N2 진폭이 증가하였다고 보고하였다. N200은 다른 자극들과 구분되는 자극을 탐지하는 것과 관련 있고 몇몇 숨긴 정보 검사 연구에서 주의 또는 통제와 관련한 N200이 관련 자극에 의해 유발된다고 보고되었다(Matsuda & Nittono, 2018). Gamer와 Berti(2010)는 숨긴 정보 검사에서 탐침 자극의 N2 진폭이 무관련 자극보다 높게 나타났는데, N2는 인지적 통제 처리의 지표 혹은 탐침 자극에 의해 개시된 주의 정향 처리(attention orienting processes)와 관련 있다고 주장하였다. 그러나 이와는 달리 Ganis 등(2016)은 숨긴 정보 검사에서 탐침 자극과 무관련 자극 사이의 전측(anterior) N2 진폭의 차이를 발견하지 못하였다. Hu 등(2013)은 숨긴 정보 검사에서 과제 수행에 대한 피드백을 고 인지조건과 저 인지조건으로 나누어 수행하였다. 고 인지 유죄조건은 범죄 관련 정보와 관련된 반응에 대해 피드백을 제공하였고 저 인지 유죄조건은 검사를 잘 받고 있다는 피드백을 제공하였는데, 탐침 P300과 탐침 N200의 반응이 달라지는 것을 보여주었다. 두정 영역의 탐침 P300은 고 인지 유죄조건과 저 인지 유죄조건 모두에서 무관련 자극 보다 진폭이 크게 나타났는데 반해, 전두-중심 영역의 탐침 N200은 고 인지 유죄조건에서만 무관련 자극 보다 진폭이 크게 나타났다. 고 인지 유죄조건에서만 전두-중심의 전극위치에서 탐침 자극의 N200이 무관련 자극 보다 큰 진폭을 나타냈고 저 인지 유죄조건과 무죄 조건에서는 발견되지 않았다. 저 인지 유죄조건에서는 탐침 N200 진폭이 증가하지 않았고 탐침 P300과 탐침 N200 사이에 유의미한 상관이 없었다는 점에서 탐침 P300과 탐침 N200이 서로 독립적이고 서로 다른 과정에 관여한다고 주장하였다. 숨긴 정보 검사나 Go/No-go 과제(Go 자극에 반응하고 No-go 자극에 반응하지 않는 과제)와 같이 갈등 모니터링을 포함하는 인지 통제 과제에서 전두-중심 N200이 발견되었고 전두-중심영역의 탐침 N200이 과제 수행이나 반응을 추적 관찰하는데 관여할 가능성이 제시되었다(Folstein & Van Petten, 2008; Gamer & Berti, 2010; Hu, Wu, & Fu, 2011; Wu, Hu, & Fu, 2009). Hu 등(2013)은 N200과 P300 각각을 가지고 숨긴 정보를 탐지하는 것보다 두 개 사건관련전위성분을 함께 사용했을 때 숨긴 정보를 탐지하는 효율이 증가한다고 제

시하였다. ROC(receiver operating characteristic) 분석에서 AUC(area under the curve) 지표를 비교해보면 Fz-N200이 .72이고 Pz-P300이 .79인데 N200-P300은 .91로 증가하였다. Kleene 등(2021)은 탐침 자극, 무관련 자극, 오정보 자극(실제 알려진 내용에서 적어도 하나의 세부사항이 달라진 정보)을 제시하는 변형된 3-자극 숨긴 정보 검사에서 전두영역 N2 성분이 숨긴 정보의 신뢰할 만한 지표가 될 가능성이 있다고 주장하였다. 이 연구에서 자극 조건당 사건관련전위 epoch가 25개일때 적어도 15개 이상의 epoch가 필요하고 진폭을 정량화하는 방법 중 peak-to-peak 방법으로 얻은 N2가 Cronbach Alpha coefficients .09 이상을 나타낸다고 보고하였다.

숨긴 정보 검사에서 정향 반응(orienting response)과 각성 억제(arousal inhibition)가 용의자와 목격자에 따라 다른 반응 패턴을 보인다고 보고되었다. Klein Selle 등(2016)은 숨긴 정보 검사에서 용의자의 경우 피부전도 반응이 증가하고 심박률이 떨어지고 호흡억제가 나타났는데 반해 목격자의 경우 피부전도 반응이 증가하는 변화만 유의미하게 나타났다. 피부 전도 반응이 올라가는 것은 정향 반응과 관련 있고 심박률의 감소와 호흡억제는 각성 억제와 관련 있다고 알려져 있기 때문에, 용의자와 목격자 모두 정향반응이 나타나지만 용의자에서만 각성 억제가 나타났다는 것을 보여준다. 용의자와 목격자 모두 유죄 지식을 가지고 있기 때문에 정향반응이 나타났지만 목격자는 숨긴 정보 검사에서 억제를 할 필요가 없기 때문에 각성억제가 나타나지 않았다고 주장하였다. P300-기반 숨긴 정보 검사에서도 용의자와 목격자가 반응 패턴에 차이가 나타났다(Rosenfeld, Ozsan, & Ward, 2017). 용의자 집단(n=15)과 목격자 집단(n=16) 모두 무관련 자극보다 탐침 자극의 P300 진폭이 증가한 것으로 나타났다. P300은 정향 반응과 같이 의미 있는 정보를 재인하는 신호로 여겨지고(Johnson, 1986, 1988, 1993), P300이 정향 반응과 관련 있다는 할 때(Donchin et al., 1984), 용의자와 목격자 두 집단 모두 정향반응이 나타났다는 것을 보여준다. 탐침 자극과 무관련 자극의 P300 진폭차를 나타내는 CIT 효과는 용의자에서만 유의미하게 높게 나타났다. 또한 용의자 집단에서만 좌반구 전두영역에 위치한 F3 전극위치에서 N200 반응이 지연되었다(Rosenfeld et al., 2017). Falkenstein 등(1999)은 시각적으로 제시된 no-go 자극이 유발한 전두 영역의 N200이 억제 처리와 관련된다고 보고하였고, van Gaal 등(2008)도 억제가 요구되는 no-go 자극이 자극제시후 180 ms에서 290 ms에 FCz(정중 전두-중심, midline fronto-central) 부적 정점의 사건관련전위가 나타났

다고 발표하였다. 선행연구들에서 억제처리와 N200 잠재기의 연결이 언급되었고 전두영역에서의 N200 반응 지연은 잠재적으로 억제의 신호로서 해석되었기 때문에, 용의자에서만 나타난 N200 반응 지연이 용의자들의 각성 억제와 관련 된다고 주장하였다(Rosenfeld et al., 2017).

거짓말하는 과정에는 갈등 탐지가 포함된다. 거짓말을 하는 동안 인지 과정은 현저한 자극의 재인이나 정신적인 노력(P300 관련)뿐만 아니라 갈등 모니터링과 인지적 통제를 포함한다(Gibbons, Schnuerch, Wittinghofer, Armbrrecht, & Stahl, 2018; Koeckritz, Beauducel, Hundhausen, Redolfi, & Leue, 2019; Leue, Lange, & Beauducel, 2012c). 모의 범죄와 같이 시켜서 한 거짓말과 스스로 결정해서 거짓말하는 것 사이에는 신경학적 처리에 차이가 있다고 보고되었다(Wu, Hu, & Fu, 2009). Cz(정중 중심, midline central) 전극위치에서 거짓 반응의 N2 진폭이 진실 반응보다 높게 나타났고, 시켜서 반응한 조건이 스스로 결정한 조건보다 N2 진폭이 증가하였다. 이 연구에서 N2가 갈등 탐지와 관련 있다고 보고하였다.

후기 성분들: LPP(Late Positive Potential)와 LPN(Late Posterior Negativity)

숨긴 정보검사에서 LPP 또는 서파(slow wave)는 자극 제시 후 500 ms에서 1000 ms 근방에서 전두영역에서는 부적 전위로 후측 영역에서는 정적 전위의 두피 분포를 나타낸다. Garcia-Larrea와 Cezanne-Bert(1998)는 LPP가 자극을 확인한 후에 정보 최신화(information updating)와 같은 부가적인 인지 조절이 요구되었을 때 나타난다고 하였다. 많은 선행연구에서 LPP 또는 서파가 정서 자극과 관련해서 나타난다고 보고되었는데(Weinberg, Ferri, & Hajcak, 2013), 이때의 LPP는 숨긴 정보 검사에서 나타나는 후두영역의 두피분포와는 다르게 중앙-두정 두피영역에서 정적 전위를 나타냈다. Matsuda와 Nittono(2015)는 숨긴 정보 검사에서 LPP가 사건관련 항목이 확인된 다음에 부가적인 인지 조절이 나타나는 것과 관련된다고 보고하였다. 유죄 집단은 사무실에 들어가서 밀봉되어 있는 봉투를 뜯어서 봉투 안에 들어 있는 사진을 확인하는 모의 범죄를 수행하였고 무죄 집단은 사무실에 들어가서 이러한 행동을 하지 않았다. 모의 범죄 후에 유죄집단에게 관련 자극(밀봉된 봉투 안에 사진으로 탐침 자극)을 알고 있다는 것을 숨기도록 지시하였다. 한 개의 정서 유발 사진과 5개의 비정서 사진으로 이루어진 오드볼 과제를 제시하였는데, 5개의 비정서 사진 중 한 개의 사진이 관련 자극으로 구성 되었다. 두 개의 LPP가 도출되었는데 정

서 유발 사진은 중심-두정 영역에서 LPP가 나타났고 탐침 자극은 후두 영역에서 LPP가 나타났다. 중심-두정 영역의 LPP가 동기화된 주의 처리와 관련 있고 후두 영역에서 나타난 탐침 자극의 LPP는 노력의 통제 처리와 관련되며, 전자는 자극의 정서 처리와 관련되고 후자는 자극의 인지 처리와 관련된다고 주장하였다. Herring 등(2019)은 LPP-기반 오드볼 패러다임으로 유명인사에 대한 호불호 평가를 탐지하였는데 LPP 진폭은 유명인사 사진에 대한 개인적인 평가가 일치할 때 보다 불일치할 때 더 크게 나타났다. 통제 자극에서는 호불호 평가를 진실하게 보고하고 탐침자극에서는 호불호 평가를 틀리게 잘못 보고하도록 지시되었다. 유명인사의 사진에 대해 호불호를 진실 되게 보고할 때의 민감도가 80%인 반면 유명인사의 사진에 대해 호불호를 잘못 보고할 때(탐침 자극에서 진실을 숨길 때)의 민감도가 35%로 현저하게 줄어들었다고 보고하였다. 이 연구에서 민감도는 큰 LPP 진폭을 도출하는 불일치 자극의 확률로 계산되었다.

LPN(late negative potential)은 자극제시후 1200 ms 근방에서 나타나는 두정 영역 두피분포의 부정 전위 정점을 나타낸다. LPN은 높은 단계의 반응 충돌에서 기인해서 나타나는 활동 모니터링을 반영한다(Johansson & Mecklinger, 2003). 숨긴 정보 검사에서 LPN의 진폭증가는 자동적인 인지 과정들과 하향식 억제(top-down suppression)간에 반응 충돌을 추적 관찰하는 요구가 증가하는 것을 반영한다고 보고되었다(Hu et al., 2015). Hu 등(2015)은 반지를 훔치는 모의 범주를 실시하고 유죄 집단(standard-guilt group), 무죄 집단(innocent group), 유죄 억제 집단(suppressed-guilt group)에서 숨긴 정보 검사 동안 사건관련전위를 분석하였다(그림 3). 유죄 억제 집단은 뇌파-기반 숨긴 정보 검사에서 유죄 탐지를 할 수 없게 하기 위해 모의범죄의 기억을 억제하도록 지시 받았다. 무죄 집단은 탐침 자극과 무관련 자극 간 P300 진폭차이가 나타나지 않는데 반해, 유죄 집단과 유죄 억제 집단 모두 모의 범죄를 수행하여 탐침 자극(반지)에 대한 P300 진폭이 무관련 자극에 대한 P300 진폭 보다 높게 나타났다. 유죄 집단의 탐침 자극과 무관련 자극 간 P300 진폭 차이보다 유죄 억제 집단의 탐침 자극과 무관련 자극 간 P300 진폭차이가 급격하게 줄어들어 원치 않는 기억을 억제할 때 P300 진폭은 무죄 피험자와 유죄 피험자간 변별을 하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 반해 LPN(late-posterior-negative slow wave)은 유죄 집단 뿐만 아니라 유죄 억제 집단에서도 탐침 자극의 LPN이 무관련 자극 보다 현저하게 높은 진폭을 나타냄으로써 LPN이 유죄 억제 집단과 무죄 집단을 변별하는데 더 높은 정확도를 나타냈다. Hu

등(2015)은 LPN이 자동적인 인지 처리와 수의적인 억제사이에서 일어난 반응 충돌을 추적 관찰하기 위한 요구를 반영한다고 주장하였다.

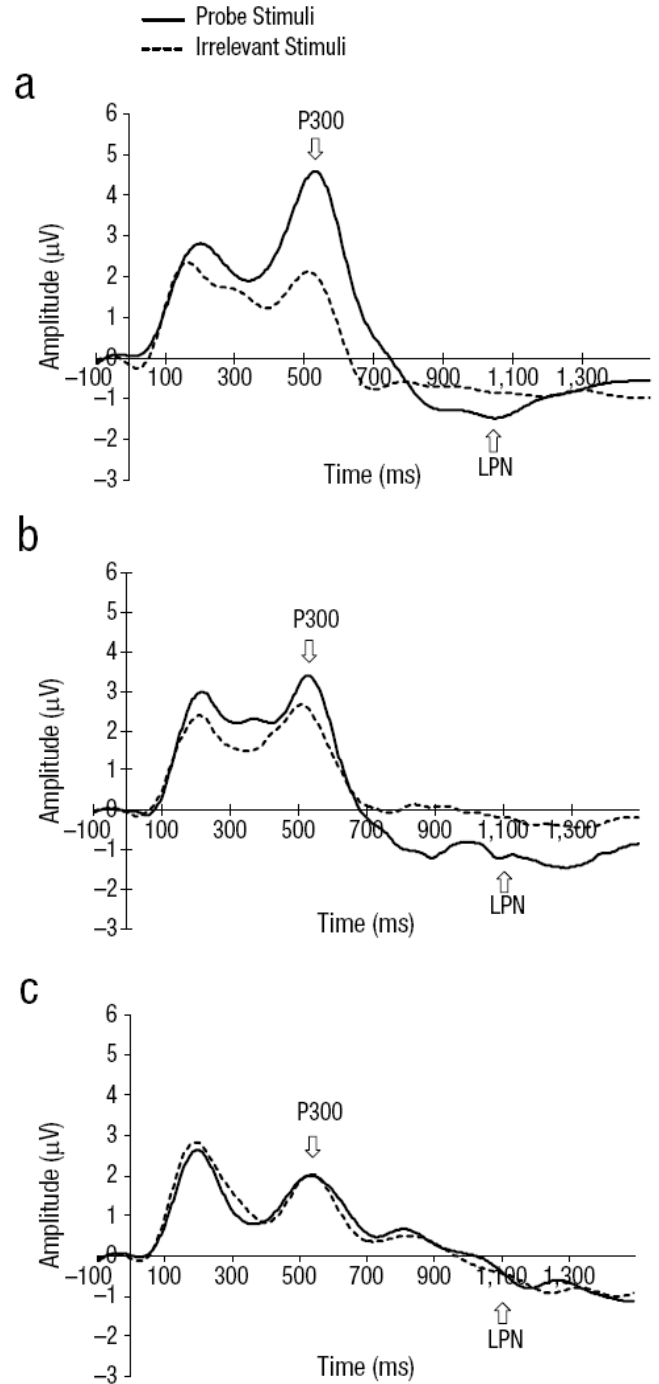


Figure 3. Grand average ERPs for the (a) standard-guilt, (b) suppressed-guilt, and (c) innocent groups in response to each stimulus type. Data were recorded at the Pz site. Two components of interest—the P300 and late posterior negativity (LPN)—are indicated (Hu et al., 2015).

feedback-evoked ERPs: feedback-related negativity (FRN)와 feedback P3

Sai 등(2014, 2016, 2020)은 유사한 실험설계를 통해 숨긴 정보 검사에서 진실반응 또는 거짓반응에 대한 피드백을 제공했을 때 피드백 관련 사건관련전위(feedback related event-related potentials)가 나타난다고 발표하였다. 탐침 자극, 무관련 자극, 목표자극의 3-자극 숨긴 정보 검사에서 탐침 자극이나 무관련 자극 제시후 피험자가 반응을 하고 난 뒤 별표가 제시되었는데, 그 후에 +4 또는 -2를 피드백으로 제시하였다(Sai et al., 2020). 피험자에게는 별표가 나타날 때 과제 동안의 본인의 뇌파가 분석되는데 분석 결과 +4는 성공 피드백으로 “당신은 진실을 말하고 있다”를 의미하고 -2는 실패 피드백으로 “당신은 거짓말을 하고 있다”를 의미한다고 알려주었다. 실제로는 탐침 자극이나 무관련 자극 제시후 +4와 -2의 피드백은 뇌파 분석과 상관없이 무선적으로 제시되었다. 유죄 집단에서만 피드백 제시후 300 ms 근방에 두 개의 피드백 관련 사건관련전위가 나타났는데, 전두 영역의 FRN(feedback-related negativity)과 두정영역의 피드백 P3(feedback P3)이었다(Sai et al., 2016; Sai et al., 2020).

두 연구 모두 무죄집단에서는 탐침 자극 제시 후 피드백과 무관련 자극 제시후 피드백간 FRN과 피드백 P3 진폭차이가 나타나지 않은데 반해, 유죄집단에서는 탐침 자극 제시 후 피드백에서 FRN과 피드백 P3 진폭이 무관련 자극 제시후 피드백보다 높게 나타났다. 그림 4를 살펴보면, 무죄 집단(Innocent)에서는 탐침 자극 제시 후 피드백(성공 또는 실패, Probe-success, Probe-failure)과 무관련 자극 제시후 피드백(성공 또는 실패, Irrelevant-success, Irrelevant-failure) 자극 유형 간에 FRN과 피드백 P3 진폭이 차이가 나타나지 않은데 반해, 유죄 집단(Guilty)에서는 탐침 자극 제시 후 피드백(성공 또는 실패) 자극 유형이 FRN과 피드백 P3 진폭에서 무관련 자극 제시후 피드백(성공 또는 실패) 자극 유형보다 높게 나타났다(Sai et al., 2016). Sai 등(2020)은 피드백 유무(피드백 제시 집단 / no 피드백 집단)와 숨긴 정보 제시 유무(유죄 집단 / 무죄 집단)에 따라 4개 집단으로 나누어 숨긴 정보 검사에서 반응에 대한 피드백을 제공한 것이 탐침 자극의 재인 관련한 P300에는 어떠한 영향도 미치지 않았다는 것을 보여주었다. 따라서 탐침 자극의 재인 관련한 P300과 탐침 자극 제시후 피드백에 대한 사건관련전위 성분인

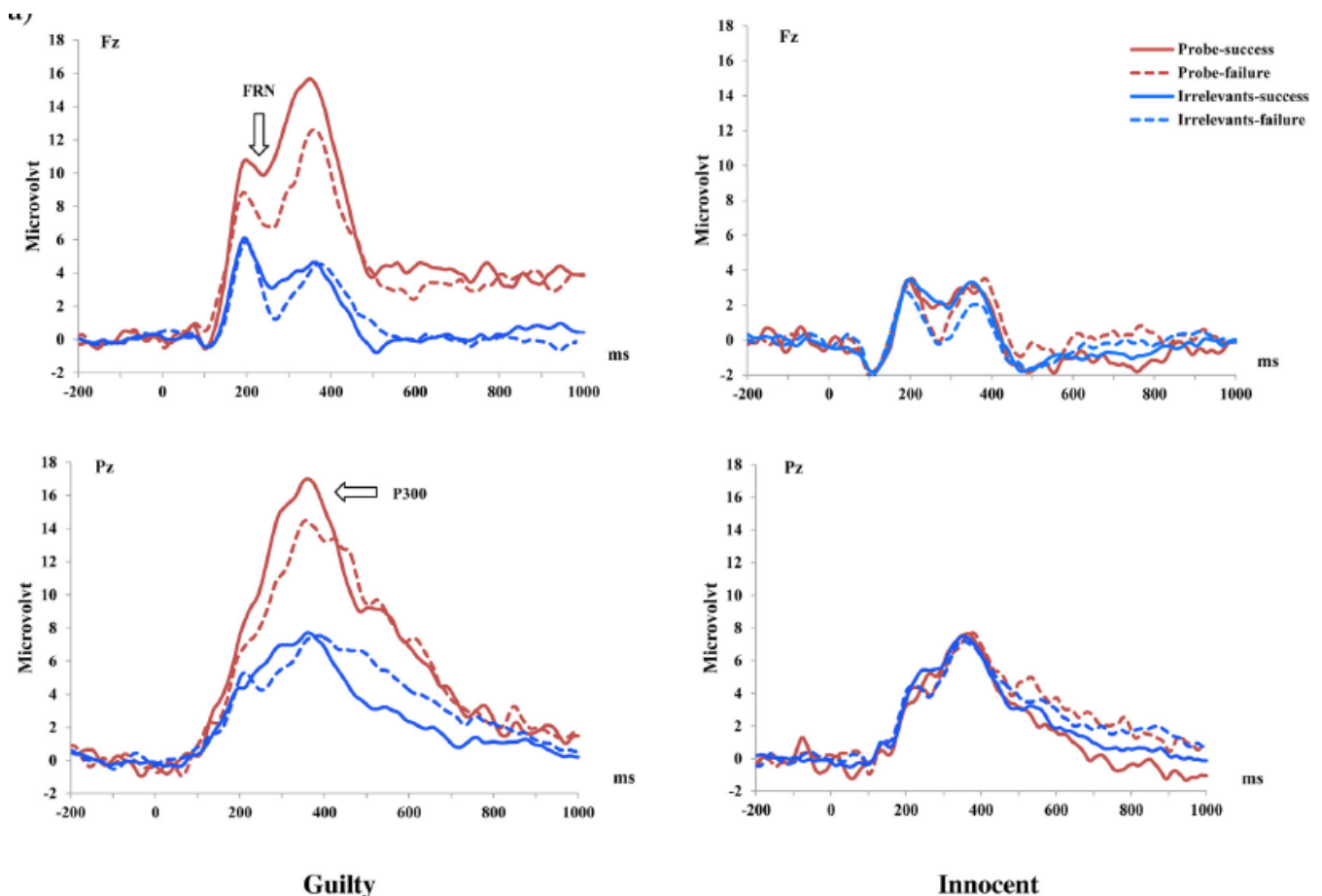


Figure 4. Grand average ERPs during feedback stage (Sai et al., 2016).

FRN과 피드백 P300은 서로 독립적으로 나타나는데, 모두 유죄 집단에서 탐침 자극에 대해 무관련 자극 보다 높은 진폭을 나타내기 때문에, 무죄 피험자에서 유죄 피험자를 변별하는 효율을 높일 수 있다고 보고되었다(Sai et al., 2020).

FRN은 피드백 자극제시후 200-350 ms에 전두영역에 나타나고, 실패(loss)의 부정적인 피드백 신호나 오반응이 성공(win)의 긍정적인 피드백 신호나 정반응 보다 더 큰 진폭의 FRN을 나타냈다(Di Gregorio, Ernst, & Steinhauser, 2019; Gehring & Willoughby, 2002; Yeung & Sanfey, 2004). FRN은 배측 전측 대상 피질(dorsal anterior cingulate cortex)에서 기원하며 결과가 예상한 것보다 좋지 않을 때를 가리키는 보상 예상 오류를 반영한다(Gehring & Willoughby, 2002). 그러나 Foti 등(2011)은 FRN이 부정적인 피드백에서 나타나는 부정적인 전위(negative potentials)가 아니라, 긍정적인 피드백에서 나타난 보상 관련 정적전위(reward-related positivity)로 부정적인 피드백에서 진폭이 줄어든다고 주장하였다.

피드백 P3은 피드백 자극 제시후 300 ms에서 500 ms 근방에 두정영역에서 나타나는 정적전위(positivity)이다. FRN이 손실이나 획득 중 어느 쪽인지의 결과 방향(outcome valence)에 영향 받는다면 피드백 P3은 결과의 크기(outcome magnitude)에 민감하기 때문에 피드백 P3과 FRN은 기능적으로 구분될 수 있다(Sato, Yasuda, Ohira, Miyawaki, Nishikawa, Kumano, & Kuboki, 2005; Yeung, Holroyd, & Cohen, 2005; Peterburs, Suchan, & Bellebaum, 2013). Sai 등(2014, 2016, 2020)의 연구들에서 FRN과 피드백 P3이 무죄피험자에서 유죄피험자를 효율적으로 변별해낼 수 있다고 보여주었다. 유죄피험자는 탐침을 숨기려는 동기를 가지고 있다. 따라서 탐침 자극이 제시된 다음에 나타나는 피드백에서 무관련 자극이 제시된 다음에 나타나는 피드백보다 진폭이 더 큰 FRN과 피드백 P300이 나타난다. 이에 반해 무죄피험자는 탐침을 숨기려는 동기를 가지지 않기 때문에 탐침 자극이 제시된 다음에 나타나는 피드백과 무관련 자극이 제시된 다음에 나타나는 피드백이 같은 처리과정으로 두 피드백간 FRN과 피드백 P300의 진폭은 비슷하다. Sai 등(2014)은 피드백 관련 사건관련전위가 기만이나 정보를 숨기는 동안 피드백이나 결과 평가의 동기적 의미 또는 결과 평가의 동기와 관련되기 때문에 동기 처리 과정을 반영한다고 주장하였다. 그러나 숨긴 정보 검사에서 피드백을 사용한 다른 연구들에서 피드백 관련 사건관련전위를 보고하지 않았기 때문에(Leue, Lange, & Beauducel, 2012b; Scheuble & Beauducel, 2020), 이와 관련된 연구는 좀 더

이루어져야 한다(Sai et al., 2020).

MFN(medial frontal negativity): 숨긴 정보 검사에서 반응 충돌(response conflicts)의 지표

숨긴 정보 검사에서 P300이 현저성(salience)의 지표라면 MFN(medial frontal negativity)은 반응 충돌의 지표이다(Scheuble, Mildenerger, & Beauducel, 2021). 거짓말을 할 때 인지적 통제에 대한 요구가 증가되는데 인지적 통제는 정신 자원을 할당하고 이미 선점되어 있는 진실반응을 억제하고 반응 충돌을 해소하는데 필수적이다(Botvink et al., 2001). 거짓말을 할 때 전전두 피질에 활동성이 증가하는데 이들 영역이 인지적 통제에 중요하게 관여한다고 보고되었다(Christ et al., 2009; Ganis, Kosslyn, Stose, Thompson, & Yurgelun-Todd, 2003; Langleben et al., 2002). 거짓말에 전두엽 기반 통제 처리와 관련한 사건관련전위 성분으로 MFN이 알려져 있다(Johnson, Barnhardt, & Zhu, 2005; Johnson, Henkell, Simon, & Zhu, 2008). 기만과 관련된 사건관련전위인 MFN은 숨긴 정보에 대한 연구들에서 분석되었다(Johnson et al., 2008; Leue et al., 2012c; Scheuble & Beauducel, 2020). 기만이 아닌 상황에서는 MFN은 N450 또는 ERN(error related negativity)로 또한 알려졌는데 자극제시후 450 ms 근방에서 정점을 나타내는 진폭을 보이거나(West, Jakubek, Wymbs, Perry, & Moore, 2005) 오반응 이후 70 ms에 나타나는 것으로 알려져 있다(Falkenstein, Hoormann, Christ, & Hohnsbein, 2000; Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993; Scheffers & Coles, 2000). MFN은 전두-중심 전극에서 행동 반응 후에 매우 짧게 나타나는 부적 전위이다(Gehring & Willoughby, 2004; Johnson, 2014). MFN은 반응 모니터링 뿐만 아니라 반응 충돌과 관련 있는 것으로 알려져 있다(Carter et al., 1998; Gehring & Willoughby, 2004). MFN은 전측 대상 피질이나 그 주변에서 기원할 것으로 추측되고 있다(Gehring & Willoughby, 2004; Nieuwenhuis et al., 2004). 전측 대상 피질은 소스사이의 인지적인 충돌을 탐지하거나 추적 관찰하는 것과 관련해서 활성화되고 거짓 반응 동안 활성화가 증가되었는데, 전측 대상 피질의 활성화가 정보의 소스들간의 충돌이 있을때 통제에 대한 필요성이 증가되는 것과 관련된다고 보고되었다(Abe et al., 2006). 거짓은 진실을 말하는 것에 비교하면 부가적인 인지적 처리과정에 의존한다. 거짓말을 하기 위해서는 진실을 억제해야하고 반대반응을 만들어내야 하고 있을수 있는 불일치를 모니터링해야한다(Gombos, 2006; Sip, Roepstorff, McGregor, &

Frith, 2008). 기만 연구에서 진실한 답변에서 보다 거짓 반응에서 MFN 진폭의 증가가 나타났고, 이것은 진실 반응에 비교해서 거짓반응에 부가적인 반응 충동을 가리킨다고 보고되었다(Johnson et al., 2005; Johnson et al., 2008; Leue et al., 2012c; Scheuble & Beauducel, 2020). Scheuble 등 (2021)은 숨긴 정보 검사에서 무관련 자극에 비해 탐침 자극에서 MFN의 진폭이 증가한 것을 제시하면서 탐침 자극에 대해 거짓으로 답변했을 때 반응 충동이 나타나는 것을 가리킨다고 주장하였다. 거짓문장에서 더 큰 진폭의 MFN 반응이 기억에서 거짓정보로부터 진실을 분리할 때 전두엽 기반 처리에 대한 증가된 요구와 관련될 가능성이 언급되었다(Paige, Fields, & Gutchess, 2019). 여러 연구자들은 MFN 진폭이 집행된 반응과 관련해서 나타난 충동의 전체적 수준을 나타낸다는 의견을 지지하였다(Johnson, 2014). 전측 대상 피질 관련해서 MFN 성분이 반응에 따른 사건관련전위를 나타낸다면, 중심-전두 N2 성분이 자극에 따른 사건관련전위를 나타낸다고 보고되었다(Bartholow et al., 2005; Folstein and Van Petten, 2008). Hu 등(2011)은 개인적인 의미 기억(이름, 생일, 고향)에 대한 거짓 조건에서 N2 진폭의 증가가 나타났는데, 의미 기억을 나타내는 자극들에서 N2 진폭의 증가는 타인에 대한 거짓보다 자기-참조적 거짓에서 현저히 커졌다고 보고하였다.

결론

P300-기반 숨긴 정보 검사는 30년 가까이 활발하게 연구되고 있다. 특정 사건과 관련된 숨긴 정보를 포함하는 탐침 자극, 숨긴 정보를 포함하지 않는 무관련 자극, 숨긴 정보를 포함하지 않으면서 일정한 수준의 주의를 유지하는지 확인할 수 있는 목표 자극으로 구성된 숨긴 정보 검사에서 무관련 자극 보다 탐침 자극의 P300 진폭이 증가하였다. 자극에 따른 사건관련전위로 두정영역의 P300은 선택적 주의 또는 의미 있는 자극에 대한 정보 처리와 관련되고 전두영역의 N200은 갈등 탐지와 관련되며 후두영역의 LPP는 부가적인 인지 조절을 반영한다고 보고되었다. 숨긴 정보 검사에서 진실반응 또는 거짓반응에 대한 피드백을 제공했을 때 피드백 관련 사건관련전위로 전두 영역의 FRN과 두정영역의 피드백 P3이 몇몇 연구에서 보고되었다. 또한 숨긴 정보 검사에서 행동 반응을 하고 난 후에 전두-중심 영역에서 MFN이 나타났는데 반응 모니터링뿐만 아니라 반응 충동과 관련 있는 것으로 알려졌다. 대응책에 취약하다고 밝혀진 P300-기반 숨긴 정보 검사를 보완하는데 복합 시행 프로토콜의 개발

은 도움이 되었는데, 대응책에 대해 복합 시행 프로토콜이 저항성을 가진다는 것과 대응책과 관련해서 사건관련전위 성분 P900이 제시되었다.

최근 들어 기억 탐지에서 나이, 성격 등의 개인차 요인 연구(Paige et al., 2019), 소급적인 기억 간섭의 효과(Ward, Rosenfeld, Sitar, & Wasserman, 2020)나 허위 긍정을 줄일 수 있는 소급적인 기억 간섭(Kim, Kim, Lee, Song, Chang, Kim, & Kim, 2022)에 대한 숨긴 정보 검사 관련 연구들이 활발히 발표되고 있다. 모의 범주가 끝나고 나서 기억 부호화(encoding)이후에 새로운 정보를 획득하였을 경우 소급적인 기억 간섭이 P300-기반 복합 시행 프로토콜의 정확도를 위협하지 않으며(Ward et al., 2020), 소급적인 기억 간섭이 유죄지식을 갖고 있는 무죄 피험자(informed innocent)의 허위 긍정율을 줄일 가능성이 있다고 보고되었다(Kim et al., 2022). 숨긴 정보 검사에서 진실하게 말하거나 반응하는 것에 비해 진실을 숨기거나 왜곡시키고 거짓반응을 하는 동안 정서 상태, 인지적인 부과 효과(cognitive load effect), 사건과 검사사이의 시간간격의 영향, 범죄 기억을 억제 또는 숨기려는 의도, 지식을 가장하거나 왜곡시키려는 동기, 숨긴 정보 검사에서 자극의 종류와 자극을 제시하는 방법, 사건관련전위 기반 사건관련전위를 분석하고 결과를 분류하는 진단 방법, 함께 수행했을 때 숨긴 정보 검사의 효율을 높일 수 있는 다른 검사의 유형, 목격자에 대한 연구들은 보다 효과적인 숨긴 정보 검사를 실시하는데 기여할 수 있을 것이다. 더불어 대응책의 효과와 숨긴 정보 검사에서 인지 처리 과정을 명확히 이해하고 목격자를 비롯한 유죄지식을 갖고 있는 무죄 피험자를 유죄 집단으로부터 변별해낼 수 있다면 숨긴 정보 검사의 정확도를 높이고 그 결과를 보다 더 신뢰할 수 있을 것이다.

References

Abe, N. (2011). How the brain shapes deception: an integrated review of the literature. *Neuroscientist, 17*, 560-574.

Abe, N., Suzuki, M., Tsukiura, T., Mori, E., Yamaguchi, K., Itoh, M., & Fujii, T. (2006). Dissociable roles of prefrontal and anterior cingulate cortices in deception. *Cerebral Cortex, 16*(2), 192-199.

Allen, J. J. B. (2011). Clinical applications of the Concealed Information Test. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test* (pp. 231-252). New York,

- NY: Cambridge University Press.
- Allen, J., Iacono, W. G., & Danielson, K. D. (1992). The identification of concealed memories using the event-related potential and implicit behavioral measures: A methodology for prediction in the face of individual differences. *Psychophysiology*, *29*, 504-522.
- Amodio, D. M., Master, S. L., Yee, C. M., & Taylor, S. E. (2008). Neurocognitive components of the behavioral inhibition and activation systems: Implications for theories of self-regulation. *Psychophysiology*, *45*(1), 11-19.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*, 177-185.
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*, *49*, 1195-1205.
- Bartholow, B. D., Pearson, M. A., Dickter, C. L., Sher, K. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2005). Strategic control and medial frontal negativity: Beyond errors and response conflict. *Psychophysiology*, *42*, 33-42.
- Benington, J. Y., & Polich, J. (1999). Comparison of P300 from passive and active tasks for auditory and visual stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, *34*, 171-177.
- Ben-Shakhar, G. (1977). A further study on the dichotomization theory in detection of information. *Psychophysiology*, *14*, 408-441.
- Ben-Shakhar, G. (2002). A critical review of the Control Questions Test (CQT). In M. Kleiner (Ed.), *Handbook of polygraph testing* (pp. 103-126). New York: Academic Press.
- Ben-Shakhar. (2011). Countermeasures. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test* (pp. 200-214). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bergstrom, Z. M., Anderson, M. C., Buda, M., Simons, J. S., & Richardson-Klavehn, A. (2013). Intentional retrieval suppression can conceal guilty knowledge in ERP memory detection tests. *Biological Psychology*, *94*, 1-11.
- Berntson, G. G., & Cacioppo, J. T. (2007). Integrative physiology: Homeostasis, allostasis, and the orchestration of systemic physiology. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychology*. New York: Cambridge University Press.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*(3), 624-652.
- Bradley, M. M. (2009). Natural selective attention: Orienting and emotion. *Psychophysiology*, *46*, 1-11.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2007). Motivation and emotion. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 581-607). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bradley, M. M., Keil, A., & Lang, P. J. (2012). Orienting and emotional perception: Facilitation, attenuation, and interference. *Frontiers in Psychology*, *3*, 493-493.
- Bradley, M. T., Barefoot, C. A., & Arsenault, A. M. (2011). Leakage of information to innocent suspects. In: Verschuere, B., Ben-Shakhar, G., Meijer, E. (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test* (pp. 187-199). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, *280*(5364), 747-749.
- Christ, S. E., Van Essen, D. C., Watson, J. M., Brubaker, L. E., & McDermott, K. B. (2009). The contributions of prefrontal cortex and executive control to deception: Evidence from activation likelihood estimate meta-analyses. *Cerebral Cortex*, *19*(7), 1557-1566.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 201-215.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Fillion, D. L. (2007). The electrodermal system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology*. New York: Cambridge University Press.
- Demaree, H. A., Schmeichel, B. J., Robinson, J. L., Pu, J., Everhart, D. E., & Berntson, G. G. (2006). Up- and downregulating facial disgust: Affective, vagal, sympathetic, and respiratory consequences. *Biological Psychology*, *71*, 90-99.
- Deng, X., Rosenfeld, J. P., Ward, A., & Labkovsky, E. (2016). Superiority of visual (verbal) vs. auditory test presentation modality in a P300-based CIT: The Complex Trial Protocol for concealed autobiographical memory detection. *International Journal of Psychophysiology*, *105*, 26-34.
- Di Gregorio, F., Ernst, B., & Steinhauser, M. (2019). Differential

- effects of instructed and objective feedback reliability on feedback-related brain activity. *Psychophysiology*, 56(9), e13399.
- Donchin, E. (1981). Surprise!. . . Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Donchin, E., & Cole, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral Brain Science*, 11, 357-374.
- Donchin, E., Heffley, E., Hillyard, S. A., Loveless, N., Maltzman, I., Ohman, A., Rosler, F., Ruchkn, D., & Siddle, D. (1984). Cognition and event-related potentials II. The orienting reflex and P300. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425(1), 39-57.
- Donchin, E., Karis, D., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., & Gratton, G. (1986). Cognitive psychophysiology and human information processing. In M. G. H. Coles, E. Donchin, & S. W. Porges(Eds.), *Psychophysiology: systems, processes and applications*. New York: Guilford press.
- Donchin, E., Kramer, A., & Wickens, C. (1986). Applications of brain event related potentials to problems in engineering psychology. In M. Coles, S. Porges, & E. Donchin (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes and applications* (pp. 702-710). New York: Guilford.
- Duncan-Johnson, C. C., & Donchin, E. (1977). On quantifying surprise : The variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14, 456-467.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., & Hohnsbein, J. (1999). ERP components in go/nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychologica*, 101(2), 267-291.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: A tutorial. *Biological Psychology*, 51(2), 87-107.
- Farwell, L. A. (2012). Brain fingerprinting: A comprehensive tutorial review of detection of concealed information with event-related brain potentials. *Cognitive Neurodynamics*, 6, 115-154.
- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1991). The truth will out: interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 28, 531-547.
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45, 152-170.
- Foti, D., Weinberg, A., Dien, J., & Hajcak, G. (2011). Event-related potential activity in the basal ganglia differentiates rewards from nonrewards: Temporospatial principal components analysis and source localization of the feedback negativity. *Hum. Brain Mapp.*, 32(12), 2207-2216.
- Gamer, M. (2011). Detecting of deception and concealed information using neuroimaging techniques. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, and E. Meijer (eds.), *Memory Detection: Theory and Application of the Concealed Information Test* (pp. 90-113). New York, NY; Cambridge University Press.
- Gamer, M. (2011a). Detecting concealed information using autonomic measures. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the concealed information test* (pp. 27-45). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gamer, M., & Berti, S. (2010). Task relevance and recognition of concealed information have different influences on electrodermal activity and event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 47(2), 355-364.
- Ganis, G., Bridges, D., Hsu, C. W., & Schendan, H. E. (2016). Is anterior N2 enhancement a reliable electrophysiological index of concealed information? *Neuroimage*, 143, 152-165.
- Ganis, G., Kosslyn, S. M., Stose, S., Thompson, W. L., & Yurgelun-Todd, D. A. (2003). Neural correlates of different types of deception: An fMRI investigation. *Cerebral Cortex*, 13(8), 830-836.
- Garcia-Larrea, L., & Cezanne-Bert, G. (1998). P3, positive slow wave and working memory load: a study on the functional correlates of slow wave activity. *Electroencephalogram and Clinical Neurophysiology*, 108, 260-273.
- Gehring, W. J., & Willoughby, A. R. (2002). The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science*, 295(5563), 2279-2282.
- Gehring, W. J., & Willoughby, A. R. (2004). Are all medial frontal negativities created equal? Toward a richer empirical basis for theories of action monitoring. In M. Ullsperger, & M. Falkenstein (Eds.), *Errors, conflicts, and the brain: Current opinions on performance monitoring* (pp. 14-20). Leipzig: Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4(6), 385-390.
- Gibbons, H., Schnuerch, R., Wittinghofer, C., Armbrrecht, A. S.,

- & Stahl, J. (2018). Detection of deception: Event-related potential markers of attention and cognitive control during intentional false responses. *Psychophysiology*, *55*(6), Article e13047.
- Gombos, V. A. (2006). The cognition of deception: The role of executive processes in producing lies. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, *132*(3), 197-214.
- Gross, J. J., & Levenson, R. W. (1997). Hiding feelings: The acute effects of inhibiting negative and positive emotion. *Journal of Abnormal Psychology*, *106*, 95-103.
- Hakun, J. G., Seelig, D., Ruparel, K., Loughead, J. W., Busch, E., Gur, R. C., & Langleben, D. D. (2008). fMRI investigation of the cognitive structure of the Concealed Information Test. *Neurocase*, *14*, 59-67.
- Herring, D. R., Allen, John J. B., Guereca, Y. M., & Crites Jr, S. L. (2019). An intra-individual approach for detecting evaluation with event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, *141*, 65-75.
- Hillyard, S. A., Squires, K. C., Bauer, J. W., & Lindsay, P. H. (1971). Evoked potential correlates of auditory signal detection. *Science*, *172*, 1357-1360.
- Hu, X., & Rosenfeld, J. P. (2012). Combining the P300-complex trial-based concealed information test and the reaction time-based autobiographical implicit association test in concealed memory detection. *Psychophysiology*, *49*, 1090-1100.
- Hu, X., Bergström, Z. M., Bodenhausen, G. V., & Rosenfeld, J. P. (2015). Suppressing unwanted autobiographical memories reduces their automatic influences: Evidence from electrophysiology and an implicit autobiographical memory test. *Psychological Science*, *26*, 1098-1106.
- Hu, X., Hegeman, D., Landry, E., & Rosenfeld, J. P. (2012). Increasing the number of irrelevant stimuli increases ability to detect countermeasures to the P300 based Complex Trial Protocol for concealed information detection. *Psychophysiology*, *49*, 85-95.
- Hu, X., Pornpattananakul, N., & Rosenfeld, J. P. (2013). N200 and P300 as orthogonal and integrable indicators of distinct awareness and recognition processes in memory detection. *Psychophysiology*, *50*, 454-464.
- Hu, X., Wu, H., & Fu, G. (2011). Temporal course of executive control when lying about self- and other-referential information: An ERP study. *Brain Research*, *1369*, 149-157.
- Johansson, M., & Mecklinger, A. (2003). The late posterior negativity in ERP studies of episodic memory: Action monitoring and retrieval of attribute conjunctions. *Biological Psychology*, *64*, 91-117.
- Johnson, R. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, *23*, 367-384.
- Johnson, R. (1988). The amplitude of the P300 component of the event related potential: Review and synthesis. *Advances in Psychophysiology*, *3*, 69-137.
- Johnson, R. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, *30*, 90-97.
- Johnson, R. (2014). The neural basis of deception and credibility assessment: A cognitive neuroscience perspective. *Credibility assessment: Scientific research and applications* (pp. 217-300). Oxford: Elsevier.
- Johnson, R., Barnhardt, J., & Zhu, J. (2005). Differential effects of practice on the executive processes used for truthful and deceptive responses: An event-related brain potential study. *Cognitive Brain Research*, *24*(3), 386-404.
- Johnson, R., Henkell, H., Simon, E., & Zhu, J. (2008). The self in conflict: The role of executive processes during truthful and deceptive responses about attitudes. *NeuroImage*, *39*(1), 469-482.
- Jung, E. K., Kang, K. Y., & Kim, Y. Y. (2013). Frontoparietal activity during deceptive responses in the P300-based guilty knowledge test: An sLORETA study. *NeuroImage*, *78*, 305-315.
- Kim, S. C., Kim, H., Lee, K. E., Song, I., Chang, E. H., Kim, S., & Kim, H. T. (2022). Retroactive memory interference reduces false positive outcomes of informed innocents in the P300-based concealed information test. *International Journal of Psychophysiology*, *173*, 9-19.
- Kireev, M., Korotkov, A., Medvedeva, N., & Medvedev, S. (2013). Possible role of an error detection mechanism in brain processing of deception: PET-fMRI study. *Int. J. Psychophysiol.*, *90*, 291-299.
- Kleene, V., Lang-Keller, N., Steffen, M., Dreismann, V., & Leue, A. (2021). Reliability of the N2-component in a modified 3-stimulus concealed information test: On the importance of excellent measurement accuracy. *Biological Psychology*, *159*, 108026.
- klein Selle, N., Verschuere, B., Kindt, M., Meijer, E., & Ben-Shakhar, G. (2016). Orienting versus inhibition in the Concealed Information Test: Different cognitive mechanisms

- drive different physiological measures. *Psychophysiology*, *53*, 579-590.
- Koeckritz, R., Beauducel, A., Hundhausen, J., Redolfi, A., & Leue, A. (2019). Does concealing familiarity evoke other processes than concealing untrustworthiness?-Different forms of concealed information modulate P3 effects. *Personality Neuroscience*, *2*, e2, 1-14.
- Kubo, K., & Nottono, H. (2009). The Role of Intention to Conceal in the P300-based Concealed Information Test. *Applied psychophysiology and biofeedback*, *34*(3), 227-235.
- Kugelmass, S., Lieblich, I., & Bergman, Z. (1967). The role of "lying" in psychophysiological detection. *Psychophysiology*, *3*, 312-315.
- Labkovsky, E., & Rosenfeld, J. P. (2012a). The P300-based, complex trial protocol for concealed information detection resists any number of sequential countermeasures against up to five irrelevant stimuli. *Applied psychophysiology and biofeedback*, *37*, 1-10.
- Labkovsky, E., & Rosenfeld, J. P. (2012b). Detection of concealed information in a mock crime scenario with a novel Dual Probe Complex Trial Protocol (DPCTP) and pictorial stimuli. [Poster Abstract] *Psychophysiology* *49*(S1), S94.
- Labkovsky, E., & Rosenfeld, J. P. (2014). A novel dual probe complex trial protocol for detection of concealed information. *Psychophysiology*, *51*, 1122-1130.
- Langleben, D. D., Loughhead, J. W., Bilker, W. B., Ruparel, K., Childress, A. R., Busch, S. I., & Gur, R. C. (2005). Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI. *Hum. Brain Mapp.*, *26*, 262-272.
- Langleben, D. D., Schroeder, L., Maldjian, J. A., Gur, R. C., McDonald, S., Ragland, J. D., O'Brien, C. P., & Childress, A. R. (2002). Brain activity during simulated deception: an event-related functional magnetic resonance study. *Neuroimage*, *15*(3), 727-732.
- Lefebvre, C. D., Marchand, Y., Smith, S. M., & Connolly, J. F. (2007). Determining eyewitness identification accuracy using event-related brain potentials (ERPs). *Psychophysiology*, *44*, 894-904.
- Leue, A., Lange, S., & Beauducel, A. (2012a). Reinforcement sensitivity and conflict processing. *Journal of Individual Differences*, *33*, 160-168.
- Leue, A., Lange, S., & Beauducel, A. (2012b). Modulation of the conflict monitoring intensity: The role of aversive reinforcement, cognitive demand, and trait-BIS. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *12*(2), 287-307.
- Leue, A., Lange, S., & Beauducel, A. (2012c). "Have you ever seen this face?"- individual differences and event-related potentials during deception. *Frontiers in Psychology*, *3*, 570.
- Leue, A., Weber, B., & Beauducel, A. (2014). How do working-memory-related demand, reasoning ability and aversive reinforcement modulate conflict monitoring? *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 210.
- Lieblich, I., Kugelmass, S., & Ben Shakhar, G. (1970). Efficiency of GSR detection of information as a function of stimulus set size. *Psychophysiology*, *6*, 601-608.
- Lui, M., & Rosenfeld, J. P. (2008). Detection of deception about multiple, concealed, mock crime items, based on a spatial-temporal analysis of ERP amplitude and scalp distribution. *Psychophysiology*, *45*, 721-730.
- Lykken, D. T. (1959). The GSR in the detection of guilt. *Journal of Applied Psychology*, *43*, 385-388.
- Lykken, D. T. (1974). Psychology and the lie detector industry. *American Psychologist*, *29*, 725-739.
- Matsuda, I., & Nittono, H. (2015). Motivational significance and cognitive effort elicit different late positive potentials. *Clinical Neurophysiology*, *126*, 304-313.
- Matsuda, I., & Nittono, H. (2018). Physiological Responses in the Concealed Information Test: A Selective Review in the Light of Recognition and Concealment. Detecting concealed information and deception (pp. 77-96). Elsevier Inc.
- Matsuda, I., Nittono, H., & Ogawa, T. (2013). Identifying concealment-related responses in the concealed information test. *Psychophysiology*, *50*, 617-626.
- Matsuda, I., Nittono, H., Hirota, A., Ogawa, T., & Takasawa, N. (2009). Event-related brain potentials during the standard autonomic-based concealed information test. *International Journal of Psychophysiology*, *74*(1), 58-68.
- Meixner, J. B., & Rosenfeld, J. P. (2010). Countermeasure mechanisms in a P300-based concealed information test. *Psychophysiology*, *47*, 57-65.
- Meixner, J. B., Labkovsky, E., Rosenfeld, J. P., Winograd, M., Sokolovsky, A., Weishaar, J., & Ullmann, T. (2013). P900: a putative novel ERP component that indexes countermeasure use in the P300-based concealed information test. *Applied psychophysiology and biofeedback*, *38*, 121-132.
- Mertens, R., & Allen, J. J. B. (2008). The role of psychophysiology in forensic assessments: Deception

- detection, ERPs, and virtual reality mock crime scenarios. *Psychophysiology*, *45*, 286-298.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100.
- National Research Council. (2003). *The polygraph and lie detection*. Washington, DC: National Academics Press.
- Nieuwenhuis, S., Holroyd, C. B., Mol, N., & Coles, M. G. H. (2004). Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: Origins and functional significance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *28*(4), 441-448.
- Nieuwenhuis, S., Yeung, N., Van Den Wildenberg, W., & Ridderinkhof, K. R. (2003). Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/no-go task: Effects of response conflict and trial type frequency. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *3*(1), 17-26.
- Nose, I., Murai, J., & Taira, M. (2009). Disclosing concealed information on the basis of cortical activations. *Neuroimage*, *44*, 1380-1386.
- Olson, J., Rosenfeld, J. P., Kim, T., & Perrault, E. (2018). The effect of countermeasures against the reaction time based concealed information test on the P300 index of knowledge recognition: A combined RT and P300-based test. *International Journal of Psychophysiology*, *134*, 9-14.
- Paige, L. E., Fields, E. C., & Gutchess, A. (2019). Influence of age on the effects of lying on memory. *Brain and Cognition*, *133*, 42-53.
- Peterburs, J., Suchan, B., & Bellebaum, C. (2013). You do the math: coding of bets and outcomes in a gambling task in the feedback-related negativity and P300 in healthy adults. *PLoS One*, *8*(11), e81262.
- Peth, J., Suchotzki, K., & Gamer, M. (2016). Influence of countermeasures on the validity of the Concealed Information Test. *Psychophysiology*, *53*, 1429-1440.
- Peth, J., Vossel, G., & Gamer, M. (2012). Emotional arousal modulates the encoding of crime-related details and corresponding physiological responses in the concealed information test. *Psychophysiology*, *49*, 381-390.
- Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, *9*, 456-479.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*, 2128-2148.
- Raskin, D. C., & Kircher, J. C. (2014). Validity of polygraph techniques and decision methods. In D. C. Raskin, C. R. Honts, & J. C. Kircher (Eds.), *Credibility assessment: Scientific research and applications* (pp. 63-129). San Diego: Academic Press.
- Reid, J. E., Inbau, F. E., 1977. *Truth and Deception: The Polygraph ("Lie Detection") Technique*. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Rosenfeld, J. P. (2011). P300 in detecting concealed information. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the concealed information test* (pp. 63-89). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Rosenfeld, J. P. (2019). P300 in detecting concealed information and deception: A review. *Psychophysiology*. e13362.
- Rosenfeld, J. P., Angell, A., Johnson, M., & Qian, J-H. (1991). An ERP-based, control-question lie detector analog: Algorithms for discriminating effects within individuals' average waveforms. *Psychophysiology*, *28*, 319-335.
- Rosenfeld, J. P., & Labkovsky, E. (2010). New P300 based protocol to detect concealed information: Resistance to mental countermeasures against only half the irrelevant stimuli and a possible ERP indicator of countermeasures. *Psychophysiology*, *47*, 1002-1010.
- Rosenfeld, J. P., Cantwell, B., Nasman, V. T., Wojdac, V., Ivanov, S., & Mazzeri, L. (1988). A modified, event-related potential-based guilty knowledge test. *International Journal of Neuroscience*, *24*, 157-161.
- Rosenfeld, J. P., Hu, X., Labkovsky, E., Meixner, J. B., & Winograd, M. (2013). Review of recent studies and issues regarding the P300-based complex trial protocol for detection of concealed information. *International Journal of Psychophysiology*, *90*, 118-134.
- Rosenfeld, J. P., Labkovsky, E., Davydova, E., Ward, A., & Rosenfeld, L. (2017). Financial incentive does not affect P300 (in response to certain episodic and semantic probe stimuli) in the Complex Trial Protocol (CTP) version of the Concealed Information Test (CIT) in detection of malingering. *Psychophysiology*, *54*, 764-772.
- Rosenfeld, J. P., Labkovsky, E., Winograd, M., Lui, M. A., Vandenoorn, C., & Chedid, E. (2008). The Complex Trial Protocol (CTP): A new, countermeasure resistant, accurate, P300 based method for detection of concealed information.

- Psychophysiology*, 45, 906-919.
- Rosenfeld, J. P., Ozsan, I., & Ward, A. C. (2017). P300 amplitude at Pz and N200 N300 latency at F3 differ between participants simulating suspect versus witness roles in a mock crime. *Psychophysiology*, 54, 640-648.
- Rosenfeld, J. P., Shue, E., & Singer, E. (2007). Single versus multiple probe blocks of P300-based concealed information tests for self-referring versus incidentally obtained information. *Biological Psychology*, 74, 396-404.
- Rosenfeld, J. P., Soskins, M., Bosh, G., & Ryan, A. (2004). Simple, effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information. *Psychophysiology*, 41, 205-219.
- Rosenfeld, J. P., Tang, M., Meixner, J., Winograd, M., & Labkovsky, E. (2009). The effects of asymmetric vs. symmetric probability of targets following probe and irrelevant stimuli in the complex trial protocol for detection of concealed information with P300. *Physiology & behavior*, 98(1), 10-16.
- Rosenfeld, J. P., Ward, A., Frigo, V., Drapekin, J., & Labkovsky, E. (2015). Evidence suggesting superiority of visual (verbal) vs. auditory test presentation modality in the P300-based, Complex Trial Protocol for concealed autobiographical memory detection. *International Journal of Psychophysiology*, 96(1), 16-22.
- Sai, L., Li, H., Wnag, C., Rosenfeld, J. P., Lin, X., & Fu, G. (2020). Feedback does not influence the recognition-related P300 in a novel concealed information test while feedback-evoked P300 shows promising diagnostic accuracy. *International Journal of Psychophysiology*, 157, 32-41.
- Sai, L., Lin, X., Hu, X., & Fu, G. (2014). Detecting concealed information using feedback related event-related brain potentials. *Brain and Cognition*. 90, 142-150.
- Sai, L., Lin, X., Rosenfeld, J. P., Sang, B., Hu, X., & Fu, G. (2016). Novel, ERP-based, concealed information detection: Combining recognition-based and feedback-evoked ERPs. *Biological Psychology*, 114, 13-22.
- Sato, A., Yasuda, A., Ohira, H., Miyawaki, K., Nishikawa, M., Kumano, H., & Kuboki, T. (2005). Effects of value and reward magnitude on feedback negativity and P300. *Neuroreport*, 16(4), 407-411.
- Scheffers, M. K., & Coles, M. G. (2000). Performance monitoring in a confusing world: Error-related brain activity, judgments of response accuracy, and types of errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 141.
- Scheuble, V., & Beauducel, A. (2020). Individual differences in ERPs during deception: Observing vs. demonstrating behavior leading to a small social conflict. *Biological Psychology*, 150, p.107830-107830.
- Scheuble, V., Mildenerger, M., & Beauducel, A. (2021). The P300 and MFN as indicators of concealed knowledge in situations with negative and positive moral valence. *Biological Psychology*, 162, 108093.
- Selle, N. K., Verschuere, B., Kindt, M., Meijer, E., & Ben-Shakhar, G. (2016). Orienting versus inhibition in the concealed information test: Different cognitive processes drive different physiological measures. *Psychophysiology*, 53, 579-590.
- Seymour, T. L., & Fraynt, B. R. (2009). Time and encoding effects in the concealed knowledge test. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 34, 177-187.
- Seymour, T. L., & Schumacher, E. H. (2009). Electromyographic evidence for response conflict in the exclude recognition task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9, 71-82.
- Shackman, A. J., McMenamin, B. W., Maxwell, J. S., Greischar, L. L., & Davidson, R. J. (2009). Right dorsolateral prefrontal cortical activity and behavioral inhibition. *Psychological Science*, 20, 1500-1506.
- Sip, K. E., Roepstorff, A., McGregor, W., & Frith, C. D. (2008). Detecting deception: The scope and limits. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(2), 48-53.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. New York, NY: Macmillan.
- Sokolovsky, A., Rothenberg, J., Labkovsky, E., Meixner, J., & Rosenfeld, J. P. (2011). A novel countermeasure against the reaction time index of countermeasure use in the P300-based complex trial protocol for detection of concealed information. *International Journal of Psychophysiology*, 81, 60-63.
- Soskins, M., Rosenfeld, J. P., & Niendam, T. (2001). Peak to peak measurement of P300 recorded at .3 Hz high pass filter settings in detection of deception. *International Journal of Psychophysiology*, 40, 173-180.
- Spence, S. A., Hunter, M. D., Farrow, T. F., Green, R. D., Leung, D. H., Hughes, C. J., & Ganesan, V. (2004). A cognitive neurobiological account of deception: evidence

- from functional neuroimaging. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 359, 1755-1762.
- Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975a). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalogram and Clinical Neurophysiology*, 38, 387-401.
- Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975b). Decision-related cortical potentials during an auditory signal detection task with cued intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 268-279.
- Suchotzki, K., Crombez, G., Smulders, F. T., Meijer, E., & Verschuere, B. (2015). The cognitive mechanisms underlying deception: An event-related potential study. *International Journal of Psychophysiology*, 95(3), 395-405.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., Fahrenfort, J. J., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. (2008). Frontal cortex mediates unconsciously triggered inhibitory control. *Journal of Neuroscience*, 28(32), 8053-8062.
- Verschuere, B., & Ben-Shakhar, G. (2011). Theory of the concealed information test. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the concealed information test* (pp. 128-148). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Verschuere, B., & De Houwer, J. (2011). Detecting concealed information in less than a second: Response latency-based measures. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test* (pp. 46-63). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Verschuere, B., Ben-Shakhar, G., & Meijer, E. (2011). *Memory detection: Theory and application of the concealed information test*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Verschuere, B., Crombez, G., Smolders, L., & De Clercq, A. (2009). Differentiating orienting and defensive responses to concealed information: The role of verbalization. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 34, 237-244.
- Vrij, A. (2008). *Detecting lies and deceit: Pitfalls and opportunities* (2nd ed.). Chichester: John Wiley and Sons.
- Ward, A. C., Rosenfeld, J. P., Sitar, E. J., & Wasserman, J. D. (2020). The effect of retroactive memory interference on the P300-based Complex Trial Protocol (CTP). *International Journal of Psychophysiology*, 147, 213-223.
- Weinberg, A., Ferri, J., & Hajcak, G. (2013). Interactions between attention and emotion. In M. D. Robinson, E. R. Watkins, & E. Harmon-Jones (Eds.), *Handbook of cognition and emotion* (pp. 35-54). New York: The Guilford Press.
- West, R., Jakubek, K., Wymbs, N., Perry, M., & Moore, K. (2005). Neural correlates of conflict processing. *Experimental Brain Research*, 167(1), 38-48.
- Winograd, M. R., & Rosenfeld, J. P. (2011). Mock crime application of the Complex Trial Protocol (CTP) P300 based concealed information test. *Psychophysiology*, 48, 155-161.
- Winograd, M., & Rosenfeld, J. P. (2014). The impact of prior knowledge from participant instructions in a mock crime P300 Concealed Information Test. *International Journal of Psychophysiology*, 94, 473-481.
- Wu, H., Hu, X., & Fu, G. (2009). Does willingness affect the N2-P3 effect of deceptive and honest responses? *Neuroscience Letters*, 467, 63-66.
- Yeung, N., & Sanfey, A. G. (2004). Independent coding of reward magnitude and valence in the human brain. *J. Neurosci.*, 24(28), 6258-6264.
- Yeung, N., Holroyd, C. B., & Cohen, J. D. (2005). ERP correlates of feedback and reward processing in the presence and absence of response choice. *Cereb. Cortex*, 15(5), 535-544.

숨긴 정보 탐지에서 사건관련전위에 관한 개관

김영운¹

¹경기대학교 범죄심리학과

본 논문은 숨긴 정보 탐지를 목적으로 사건관련전위를 이용한 연구들을 개관하였다. 먼저, 숨긴 정보 검사와 사건관련전위의 개념과 P300의 특성을 알아보았다. P300은 의미 있는 정보의 재인에 피질 신호로 여겨지며 숨긴 정보 탐지에 적용되었다. P300-기반 숨긴 정보 검사와 복합시행프로토콜을 이용한 선행 연구들의 주요 결과들을 살펴보고 P300-기반 거짓말 탐지에서 대응책의 효과를 알아보았다. 숨긴 정보를 탐지하는데 N200, LPP, LPN, 피드백 P3, MFN과 같은 사건관련전위 성분들의 선행연구들을 살펴보았다. 마지막으로 사건관련전위를 이용한 숨김 정보 탐지의 추후 연구 방향을 제안하였다.

주제어: 사건관련전위, 숨긴 정보, P300, 복합시행 프로토콜, 대응책, 거짓말 탐지