

ERP와 동공 반응을 이용한 숨긴정보검사*

Concealed information test using ERPs and pupillary responses*

엄진섭^{**,***}, 박광배^{**}, 손진훈^{***†}

Jin-Sup Eom^{**,***}, Kwangbai Park^{**}, Jin-Hun Sohn^{***†}

충북대학교 심리학과^{**}

Department of Psychology, Chungbuk National University^{**}

충남대학교 심리학과/뇌과학연구소^{***}

Department of Psychology, Brain Research Institute, Chungnam National University^{***}

Abstract

In a P300-based concealed information test (P300 CIT), the result of the test is greatly affected by the value of the probe stimulus. With a probe stimulus of low value, the detection rate decreases. The aim of this study was to determine whether the pupil-based concealed information test (Pupil CIT) could be used in addition to the P300 CIT for the probes of low value. Participants were told to choose one card from a deck of five cards (space 2, 3, 4, 5, 6), Then a P300 CIT and a Pupil CIT for the selected card were administered. P300s were measured at 3 scalp sites (Fz, Cz, and Pz), and the pupil sizes of left and right eyes were recorded. The P300 amplitude measured at Fz, Cz, and Pz was significantly different between the probe and irrelevant stimuli. And, in the Pupil CIT, the pupil size was also different between the two stimuli for both eyes. The detection rates of the P300 CIT were 44% at Fz and Cz sites and 36% at Pz site. And the detection rates of the Pupil CIT were 52% for the left eye and 60% for the right eye. There is a trend that the detection rate of the Pupil CIT was higher than that of the P300 CIT, but the difference didn't reach significance partly because of the relatively small sample size. The correlation between the decision based on the P300 CIT and that based on the Pupil CIT was not significant. As a conclusion, it is recommended to use a Pupil CIT instead of a P300 CIT when the value of the probe is low. And a combination of the measures may be superior to either one of them in detection rate.

Keywords : ERP, P300, pupillary response, lie detection, concealed information test

요약

P300-기반 숨긴정보검사(P300 CIT)에서, 조사대상자에게 관련자극이 가치가 있는 정도는 검사결과에 큰 영향을 미친다. 관련자극의 가치가 낮을 경우, P300 CIT의 정확판단율은 낮아진다. 본 연구의 목적은 관련자극의 가치가 낮은 경우, 동공-기반 숨긴정보검사(Pupil CIT)가 P300 CIT를 보완하는 검사로 사용될 수 있는지를 파악

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. 2011-0003012), 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011K000658).

† 교신저자 : 손진훈 (충남대학교 사회과학대학 심리학과 및 뇌과학연구소)

E-mail : jhsohn@cnu.ac.kr

TEL : 042-821-6369

FAX : 042-821-8875

하는 것이다. 25명의 실험참여자에게 5장(스페이드 2, 3, 4, 5, 6)의 카드 중 한 장을 뽑도록 한 다음, 실험참여자가 뽑은 카드를 숨기정보로 사용한 P300 CIT와 Pupil CIT를 실시하였다. P300은 Fz와 Cz, Pz에서 측정하였으며, 동공크기는 양쪽 눈에서 모두 측정하였다. P300 CIT에서, Fz와 Cz, Pz에서 측정한 관련자극의 P300 진폭은 무관련자극의 P300 진폭보다 통계적으로 유의하게 더 컸다. Pupil CIT에서, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 동공크기는 무관련자극이 제시되었을 때보다 관련자극이 제시되었을 때 더 컸다. P300 CIT의 정확판단율은 Fz와 Cz에서 44%였으며, Pz에서 36%였다. Pupil CIT의 정확판단율은 왼쪽 눈의 동공크기를 이용한 경우 52%였으며, 오른쪽 눈의 동공크기를 이용한 경우 60%였다. 전체 사례수가 크지 않아 통계적으로 유의하지는 않았지만, Pupil CIT의 정확판단율이 P300 CIT의 정확판단율보다 높은 경향이 있었다. P300 CIT의 판단과 Pupil CIT의 판단 간의 상관관계는 통계적으로 유의하지 않았다. 결과적으로, 조사대상자에게 관련자극의 가치가 높지 않을 경우에는 P300 CIT 보다는 Pupil CIT를 사용하는 것이 더 좋을 것이다. 그리고 두 가지 검사방식을 결합한다면, 더욱 높은 정확도를 가진 숨긴정보검사를 구성할 수 있을 것이다.

주제어 : 사건관련전위, P300, 동공반응, 거짓말 탐지, 숨기정보검사

1. 서론

피부전도수준과 혈압, 호흡 등의 자율신경계 반응을 종속측정치로 사용하는 거짓말 탐지 방법을 보완(또는 대체)하기 위하여, 1991년 Farwell과 Donchin이 사건관련전위(event related potentials: ERP)를 이용한 거짓말 탐지 연구결과를 발표하였다. 그 이후 현재까지 뇌파(electroencephalogram: EEG)를 이용한 거짓말 탐지 연구가 활발히 진행되고 있다. EEG를 이용한 거짓말 탐지 연구들은 거의 대부분 ERP를 사용하며, ERP의 여러 성분들 중 P300의 진폭을 가장 많이 사용한다(Cutmore et al, 2009; Farwell & Donchin, 1991; Rosenfeld et al., 1991).

자율신경계 반응은 비교질문검사(comparison question test: CQT)와 숨긴정보검사(concealed information test: CIT)¹⁾에서 모두 사용되는 반면, ERP의 P300 성분은 거의 CIT에서 사용된다. P300을 이용한 CIT를 P300-기반 숨긴정보검사(P300 CIT)라고 한다.

CQT는 조사 중인 사안과 직접적으로 관련된 질문(예; 관련질문: 당신이 ○○에서 돈을 훔쳤습니까?)과 직접적으로 관련되지 않은 질문(예; 비교질문: 당신은 과거에 다른 사람의 돈을 훔친 적이 있습니까?)에 대한 반응을 비교한다. CIT는 조사 중인 사안과 관련된 구체적인 사실(예; 도난당한 돈의 액수인 150만원)을 조사대상자가 알고 있는지의 여부를 파악하기 위하여, 조사 중인 사안과 직접 관련된 자극(예; 관련자극: 150만원)과 직접 관련되지 않은 자극(예; 무관련자극: 50만원, 100만원, 200만원, 250만원 등)에 대한 반응을

비교한다.

Lykken(1959)에 의해 고안된 CIT는 CQT에 비하여 장점이 많은 것으로 알려져 있지만(Ben-Shakher & Elaad, 2002), 자율신경계 반응에 기반한 CIT는 정신적 대응수단(mental countermeasures)에 의한 오류 부정의 가능성이 높다는 단점을 가진다(Honts et al., 1996). P300 CIT는 이 단점을 극복하기 위하여 Farwell과 Donchin(1991)에 의해 개발되었다²⁾.

P300 CIT의 정확판단율에 영향을 미치는 요인으로 는 검사에 사용되는 자극의 유형, 대응수단, P300의 크기를 평가하는 방법, 개인별 진단방법, 측정 패러다임 등이 있다(Eom, 2010). P300 CIT에 관한 대표적인 연구들이 80% 이상의 정확판단율을 보고하고 있기는 하지만(Abootalebi, Noradi, & Khalilzadeh, 2006; Allen, Iacono, & Danielson, 1991; Farwell & Donchin, 1991; Rosenfeld et al., 1991), 낮은 정확판단율을 보고하는 연구도 있다.

Cutmore 등(2009)의 연구에서는 실험참여자들은 한 여성의 지갑을 훔치는 모의 범죄를 수행한 후, P300 CIT를 받았다. 범죄와 직접 관련된 자극은 지갑과 그 여성의 얼굴사진이었다. 검사결과, 지갑을 사용한 P300 CIT의 정확판단율은 82%였지만, 여성의 사진을 사용한 P300 CIT의 정확판단율은 59%로 상대적으로 낮았다. Rosenfeld, Biroshchak와 Furedy(2006)의 연구에서는 실험참여자에게 자연스러운 상황에서 실험자의 이름을 수차례 알려준 후, 실험참여자의 이름과 실험자의 이름을 숨긴정보로 사용한 P300 CIT를 수행하였다. 실험참여자의 이름에 대해서는 90%의

1) 유죄지식검사(guilty knowledge test: GKT)라고도 한다.

2) CIT와 CQT에 대해서는 Kleiner(2002)를 참고하면 된다.

정확률로 탐지할 수 있었지만, 실험자의 이름에 대해서는 40%의 탐지율을 보였다. Meijer 등(2007)의 연구에서는 개인적으로 상당히 친숙한 얼굴사진(형제와 친한 친구)과 개인적으로 덜 친숙한 얼굴사진(이전 학기에 수강한 경험이 있는 과목의 교수)을 사용한 P300 CIT를 수행하였다. 검사결과 친숙한 얼굴사진에 대해서는 정확판단율이 92%로 매우 높았지만, 친숙하지 않은 얼굴사진에 대해서는 불과 17%의 정확판단율을 보였다.

위 연구들을 종합하여 보면, 실험참여자에게 관련 자극이 중요한 의미를 가지는 경우에는 P300 CIT의 정확판단율이 높지만, 관련자극의 중요성 또는 친숙성이 낮아질수록 P300 CIT의 정확판단율이 낮아진다고 할 수 있다.

P300의 진폭은 세 가지 요인에 의해서 결정되는 것으로 알려져 있으며, 이를 삼요인 모형이라고 한다(Johnson, 1986). 첫 번째 요인은 '주관적 확률'로 특정 자극이 나타날 전반적 확률과 자극이 나타는 순서에 대한 기대가 P300의 진폭을 결정한다. 두 번째는 '자극의 의미' 요인으로 과제의 복잡성과 자극의 복잡성, 자극의 가치가 여기에 포함된다. 세 번째는 실험참여자에게 '진달된 정보량'으로 자극의 모호성과 주의할당이 이 요인에 포함된다. 삼요인 모형에 따르면, 범죄 관련 자극의 중요성이나 친숙성이 낮을 때 범죄 관련 자극에 대한 P300 진폭이 충분히 크게 나타나지 않는 것은 '자극의 의미' 요인 중 자극의 가치가 크지 않기 때문인 것으로 파악된다.

FBI의 폴리그래프 검사 기록을 검토한 Podlesny(1993)에 따르면, 전체 검사의 13.1% 만이 CIT를 사용할 수 있는 상황이었다고 한다. 그 이유는 적절한 검사 자극을 구성하기가 어렵기 때문이었다. 즉, 조사대상자에게 조사 중인 사안과 관련하여 중요성이 높은 자극을 구성하기가 쉽지 않다는 것을 의미하며, 이러한 사실은 조사대상자에게 중요성이나 친숙성이 낮은 자극을 P300 CIT에 사용할 가능성이 있음을 암시한다.

거짓말 탐지의 종속 측정치로 동공반응을 이용할 수 있다. 동공의 팽창 또는 축소는 주의(attention)의 지표가 되며(Kahneman, 1973), 각성수준(Goldwater, 1972), 인지적 작업부하(Taylor, 1981)와 관련되어 있다. 조사 중인 사안이나 범죄와 관련된 구체적인 사실을 알고 있는 유죄인 조사대상자가 조사 중인 사안에 관련된 자극을 접하게 되면, 주의 수준과 각성 수준이 높아지며, 모르는 자극인 것처럼 행동하기 위해

(즉 거짓을 말하기 위해) 작업부하가 증가하게 된다.

동공반응을 이용한 소수의 CIT(이후 Pupil P300이라 부름) 연구가 있다. Bradley와 Janisse(1979) 그리고 Janisse와 Bradley(1980)의 연구에서는 카드를 이용한 CIT(CIT를 통하여 여러 장의 카드 중 실험참여자가 뽑은 카드를 맞추는 검사)를 수행하였는데, 실험조건에 따라서 60%~73%의 정확판단율을 보고하였다. Lubow와 Fein(1996)의 연구에서는 모의범죄를 수행한 후 Pupil CIT를 수행하였으며, 실험조건에 따라 유죄인 집단에 대하여 50%~70%의 정확판단율을 보였으며, 특히 무죄인 집단에 대하여는 100%의 정확판단율을 보였다.

위에서 살펴본 바와 같이, Pupil CIT의 정확판단율은 일반적인 P300 CIT의 정확판단율에 비해서는 다소 낮은 편이지만, 관련자극의 가치가 크지 않은 경우에는 Pupil CIT의 정확도가 더 높을 수 있다. 동공반응은 주로 주의와 각성수준, 작업부하와 관련이 있으므로, 자극의 가치에 덜 영향을 받는다고 할 수 있다. 따라서, 자극의 가치가 낮을 때에는 P300 CIT를 보완하는 거짓말 탐지 방법으로서 Pupil CIT를 고려해볼 수 있다.

본 연구의 목적은, CIT에 사용되는 관련자극의 가치가 크지 않은 경우, P300 CIT를 보완하는 방법으로 Pupil CIT를 사용할 수 있는지를 확인하는데 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 카드를 이용한 CIT를 수행하였다. CIT 연구에서는 모의 범죄와 관련된 자극과 더불어 실험동안에 암기한 단어나 그림, 실험참여자 자신의 이름과 같은 자기 참조적 정보, 실험참여자가 뽑은 카드 등을 관련자극으로 사용한다(Ben-Shakhar & Elnad, 2003). P300 CIT 연구들을 살펴보면, 자기 참조적 정보를 사용하거나 실험동안 암기한 단어를 사용한 경우에 정확판단율이 매우 높다는 것으로 알 수 있다. 모의 범죄를 사용한 경우에는 자기참조적 정보를 사용한 경우보다는 약간 낮은 경향이 있다. 카드를 사용한 P300 CIT 연구를 한 편 찾을 수 있었는데, 정확판단율이 33%로 매우 낮았다(Kubo & Nittono, 2009). 모의범죄를 수행한 내용이나 집중적인 학습을 한 내용, 자기참조적인 정보는 개인적 가치가 높지만, 여러 장의 카드 중에서 뽑은 한 장의 카드는 실험참여자에게 중요성이나 친숙성 또는 가치가 낮기 때문인 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 실험참여자에게 가치가 가장 낮을 것으로 생각되는 카드 검사를 이용하여, Pupil

CIT가 P300 CIT를 보완하는 검사방법으로 사용될 수 있는지를 평가하고자 한다.

2. 방법

2.1. 실험참여자

대학생 25명이 실험에 자원하여 참여하였다. 실험 참여자의 성별은 남자 11명, 여자 14명이었으며, 평균 연령은 23.3세(범위 20-28세)였다. 실험참여자들은 모두 신경과나 정신과적 병력이 없다고 응답하였으며, 안경이나 콘택트 렌즈를 착용하지 않은 상태에서 1.0 이상의 시력을 가지고 있었다. 실험참여자들은 실험 참여에 대한 금전적 보상을 받았다.

2.2. 자극 및 실험절차

실험참여자에게 5 장의 카드(스페이드 2, 3, 4, 5, 6) 중 한 장을 뽑은 후, 본인만 무슨 카드를 뽑았는지 보고, 암기하도록 하였다. 실험자는 실험참여자가 무슨 카드를 뽑았는지 모른다는 것을 확실하게 하기 위하여, 실험참여자가 뽑은 카드 1장과 뽑지 않은 카드 4장은 실험기간 동안 실험참여자의 앞에 놓인 책상에 앞면을 아래로 향하게 놓아두었다. 이어서, 뇌파 측정용을 위한 전극을 붙인 후, CIT를 실시하였다.

검사자극은 목표자극 1개(스페이드 7), 관련자극 1개(실험참여자가 뽑은 카드 한 장), 무관련자극 4개(실험참여자가 뽑지 않은 카드 네 장)로 구성하였다. 실험참여자에게 6 장의 카드를 무선적인 순서로 하나씩 제시하였으며, 스페이드 7이 제시되면 '예' 버튼(마우스 오른쪽 버튼)을, 스페이드 7 이외의 다른 카드가 제시되면 그 카드를 가지고 있지 않다는 의미로 '아니오' 버튼(마우스 왼쪽 버튼)을 가능한 빠르고 정확하게 누르도록 지시하였다. CIT를 실시하는 동안, 본인이 뽑은 카드를 뽑지 않은 카드인 것처럼 행동하라고 지시하였으나, CIT를 무사히 통과하는 것에 대해 추가적인 보상을 하지는 않았다.

CIT는 두 번에 걸쳐서 실시하였다. 한 번은 동공크기를 종속측정치로 사용한 CIT를 실시하였으며, 다른 한번은 P300을 종속측정치로 사용한 CIT를 실시하였다. Pupil CIT에서, 6 장의 카드를 무선적인 순서로 하나씩 제시하는 것을 20회 반복하여, 총 120회 자극

을 제시하였다. 실험자극은 실험참여자로부터 1m 앞에 있는 LCD 화면의 중앙에 폭 7cm, 높이 8.7cm의 크기로 흰색 바탕화면에 제시하였으며, 카드의 바탕색은 회색이었으며 무늬와 테두리는 검은색이었다. 카드가 제시되기 전 3초 동안 '+' 기호의 응시점이 제시되었으며, 이어서 카드가 3초 동안 제시되었다. 자극 간의 제시간격은 6초였다.

P300 CIT에서, 6장의 카드를 무선적인 순서로 하나씩 제시하는 것을 40회 반복하여, 총 240회 자극을 제시하였다. 실험환경과 자극의 종류는 동공크기를 측정하는 CIT와 동일하였지만, 카드의 제시시간은 300ms였으며, 자극 간의 제시간격은 3초였다.

Pupil CIT와 P300 CIT 간에 자극의 제시시간과 자극 간의 제시간격, 총 시행수가 달랐다. 이것은 자극이 제시된 후, P300 반응과 Pupil 반응이 나타나는 시간이 다르기 때문이었다. P300은 1초 이내에 나타나는 반면, Pupil 반응은 1초 이상의 시간이 필요하다.

실험참여자의 반응 P300 CIT를 먼저 받았으며, 나머지 반응 Pupil CIT를 먼저 받았다. 실험이 모두 끝난 후, 실험참여자가 주로 사용하는 눈이 어느 쪽인지 확인하기 위하여 Kommerell 등(2003)의 방법으로 주시(eye dominance)를 확인하였다.

2.3. 뇌파 및 동공크기 측정

뇌파를 측정하기 위하여, Ag/AgCl 전극을 국제 10-20 체계에 따라 Fz와 Cz, Pz에 부착하였으며, 양쪽 귓볼에 연결된 전극을 부착하여 기준전극으로 사용하였고, 이마에 접지전극을 부착하였다. 안구운동과 눈 깜박임을 기록하기 위하여 왼쪽 눈 위와 아래에 전극을 부착하여 안전도(electrooculogram: EOG)를 측정하였다. 뇌파는 Grass Model 12(Grass Instruments, Quincy, MA, USA)를 사용하여 신호의 증폭 및 대역여과(band pass, 0.3~30Hz)시켰고, MP100 A/D 변환기(Biopac Systems, Goleta, CA, USA)를 이용하여 200Hz의 표본율로 컴퓨터로 전송하였으며, AcqKnowledge v3.8.1(Biopac Systems, Goleta, CA, USA)을 이용하여 저장하였다. 실험자극의 제시는 SuperLab 4.0(Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA)을 이용하였다. 실험이 끝난 후, EOG를 이용하여 눈 깜박임에 의한 뇌파의 변형을 교정하였으며(Semlitsch et al., 1986), 뇌파를 자극제시 전 100ms를 포함하여 총 1600ms로 구간을 나누어 분석

에 사용하였으며, 눈 깜박임에 의한 사건관련전위의 오염을 방지하기 위하여 자극 제시 시점을 기준으로 1000ms 동안 측정치가 $50\mu V$ 를 넘는 시행은 분석에서 제외하였다. 목표자극과 관련자극, 무관련자극 각각에 대하여 자극제시 시점을 기준으로 각 시행의 뇌파들을 평균하여 ERP를 얻었다.

동공크기를 측정하기 위하여, iView X RED (SensoMotoric Instruments GmbH, Teltow, Germany) 시스템을 사용하였으며, 250Hz의 표본율로 양쪽 눈의 동공크기를 모두 측정하였다. 실험자극의 제시와 자료의 저장은 Experiment Center v2.3(SensoMotoric Instruments GmbH, Teltow, Germany)을 이용하였다. 동공크기 자료를 자극제시 시점을 기준으로 3초 구간으로 나누었으며, 목표자극과 관련자극, 무관련자극 각각에 대하여 자극제시 시점을 기준으로 모든 시행의 동공크기 자료를 평균하여, 시간에 따른 평균 동공크기를 산출하였다.

2.4. 자료분석

각 자극 유형에 대한 P300 진폭은 정점-정점 방법을 사용하여 측정하였다. 정점-정점 방법은 P300의 전위와 P300 이후에 나타나는 부적 정점 전위값 간의 차이를 P300의 진폭으로 정의한다(Eom et al., 2010; Soskins, Rosenfeld, & Niendam, 2001). P300의 전위는 자극 제시 후 300ms에서 700ms 사이에 100ms 구간의 평균값이 가장 큰 값을 사용하였으며, P300 이후 부적 정점의 전위는 P300이 나타난 이후에 100ms 구간의 평균값이 가장 작은 값을 사용하였다.

각 자극의 유형에 대한 최대 동공크기는 자극 제시 후부터 3000ms 사이에 500ms 구간의 평균값이 가장 큰 값으로 정의하였으며, 동공크기의 변화량은 최대 동공크기에서 자극제시 시점의 동공크기를 뺀 값이었다. 반응시간은 자극이 제시된 후부터 반응버튼이 눌러지기까지의 시간으로 정의하였다.

자극유형에 따라 오반응율과 반응시간, P300 진폭, 동공크기의 평균이 다른지 검증하기 위하여 반복측정 변량분석(repeated measure ANOVA)을 수행하였으며, 반복측정이 포함된 효과항에 대해서 분자의 자유도가 1보다 큰 경우에는 Greenhouse-Geiser의 합동 대칭성 지수 ϵ 을 이용하여 교정한 확률을 사용하였다.

개인별로 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭 및 동공크기가 서로 다른 정도에 대한 통계적 유의

확률을 계산하기 위하여 부트스트랩 절차를 이용하였다(Eom et al., 2008 참고). 어떤 개인에 대하여, 관련자극에 대한 크기가 무관련자극에 대한 크기보다 큰 것으로 나타나면, 그 사람은 관련자극을 알고 있는 것으로 판단하였다. 즉, 실험참여자가 뽑은 카드를 실험자가 뇌파를 통하여 정확하게 판단한 것으로 여긴다.

3. 결과

3.1. 주시

25명의 실험참여자 중 21명에 대해서만 주시검사를 수행하였다. 21명 중 76.2%는 주시가 오른쪽 눈이었으며, 23.8%는 주시가 왼쪽 눈이었다.

3.2. 행동반응 및 주시

오반응율과 반응시간은 실험참여자들이 실험에 적절한 주의를 기울였는지에 대한 지표가 된다. 오반응율과 반응시간은 21명의 실험참여자에 대해서만 분석하였다. 4명의 행동반응은 기계적 결함으로 인하여 반응을 저장하는데 실패하였다. 그러나, 뇌파와 동공크기에 대한 분석은 25명의 자료를 모두 이용하였다. Table 1에 오반응율과 반응시간이 제시되어 있다.

P300 CIT에서, 목표자극에 대한 오반응율은 11%였으며, 관련자극에 대한 오반응율은 1%였고, 무관련자극에 대한 오반응율은 1%였다. 목표자극에 대한 평균 정반응시간은 456(SD=68)ms였고, 관련자극에 대한 정반응시간은 426(SD=89)ms, 무관련자극에 대한 정반응시간은 399(SD=81)ms였다. 반응시간에 대한 변량분석결과, 세 자극에 대한 평균 반응시간은 유의하게 다른 것으로 나타났다($F(2,40)=11.109$, $p<.001$, $\Delta\eta^2=.357$). 쌍비교 결과, 목표자극에 대한 반응시간이 무관련자극에 대한 반응시간보다 길었으며, 관련자극에 대한 반응시간이 무관련자극에 대한 반응시간보다 길었다.

동공크기 CIT에서, 목표자극에 대한 오반응율은 2%였으며, 관련자극에 대한 오반응율은 2%였고, 무관련자극에 대한 오반응율은 3%였다. 목표자극에 대한 평균 정반응시간은 556(SD=98)ms였고, 관련자극

에 대한 정반응시간은 600(SD=131)ms, 무관련자극에 대한 정반응시간은 541(SD=122)ms였다. 반응시간에 대한 변량분석결과, 세 자극에 대한 평균 반응시간은 유의하게 다른 것으로 나타났다($F(2,40)=9.805, p<.001, \Delta\eta^2=.329$). 쌍비교 결과, 관련자극에 대한 반응시간이 목표자극과 무관련자극에 대한 반응시간보다 길었다.

Table 1. Error rates (%), and RTs (ms) for correct trials (standard errors in parentheses)

		Target	Probe	Irrelevant
Error rates	P300 CIT	11 (9)	2 (3)	1 (2)
	Pupil CIT	2 (3)	2 (5)	3 (6)
RTs	P300 CIT	456 (68)	434 (87)	408 (78)
	Pupil CIT	556 (98)	600 (131)	540 (122)

3.3. P300 CIT

각 자극유형에 따라 실험참여자들로부터 산출한 평균 ERP를 Figure 1에 제시 하였다. 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭 차이에 대해 변량분석을 실시 하였다. Fz에서 측정된 ERP에 대해, 관련자극의 P300 진폭(M=6.30, SD=2.61)이 무관련자극의 P300 진폭(M=4.81, SD=2.49) 보다 유의하게 더 큰 것으로 나타났다($F(1,24)=16.445, p<.001, \Delta\eta^2=.407$). Cz에서 측정된 ERP에 대해서도, 관련자극의 P300 진폭(M=11.20, SD=3.97)이 무관련자극의 P300 진폭(M=8.86, SD=4.23) 보다 유의하게 더 큰 것으로 나타났다($F(1,24)=15.511, p<.001, \Delta\eta^2=.393$). Pz에서 측정된 ERP에 대해서도 관련자극의 P300 진폭(M=12.10, SD=6.01)이 무관련자극의 P300 진폭(M=9.89, SD=4.83) 보다 유의하게 더 컸다($F(1,24)=9.147, p<.01, \Delta\eta^2=.276$).

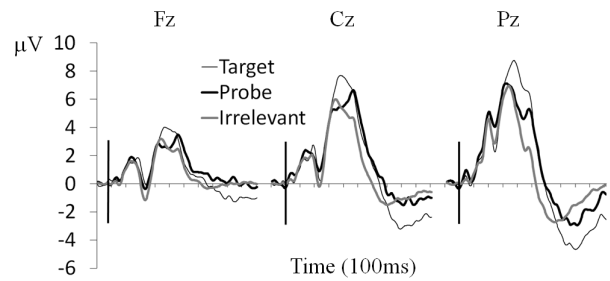


Figure 1. Grand average ERPs

3.4. Pupil CIT

각 자극유형 별 평균 동공크기 변화를 Figure 2에 제시하였다. 왼쪽 눈에서 측정된 동공크기에 대해, 관련자극의 동공크기변화량(M=0.31, SD=0.20)이 무관련자극의 동공크기변화량(M=0.24, SD=0.16) 보다 유의하게 더 큰 것으로 나타났다($F(1,24)=9.994, p<.01, \Delta\eta^2=.294$). 오른쪽 눈에서 측정된 동공크기에 대해, 관련자극의 동공크기변화량(M=0.32, SD=0.18)이 무관련자극의 동공크기변화량(M=0.22, SD=0.15) 보다 유의하게 더 큰 것으로 나타났다($F(1,24)=17.660, p<.001, \Delta\eta^2=.424$).

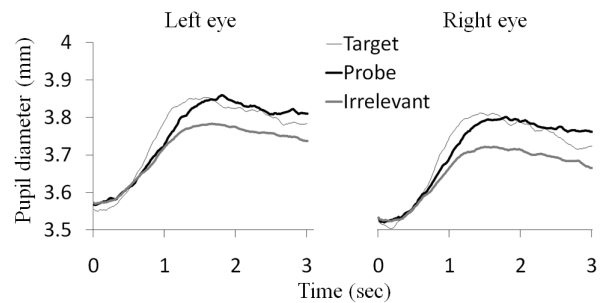


Figure 2. Average pupil diameters

3.5. 개인별 판단

개인수준에서 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 크지에 대해 판단하기 위하여, 실험참여자 개인별로 부트스트랩 절차를 이용한 P300 진폭 차이검증을 수행하였으며, 동일한 절차를 이용하여 동공크기에 대한 차이검증도 수행하였다. 개인별 판단결과를 Table 2에 제시하였다.

P300 진폭을 이용하여 개인별 판단을 내린 결과, Fz의 뇌파를 이용한 정확판단율이 44%였으며, Cz에 대해서 44%였고, Pz에 대해서 36%였다. 동공크기를

이용한 개인별 판단결과, 왼쪽 눈에 대해서 52%였으며 오른쪽 눈에 대해서 60%였다.

Pupil CIT의 정확판단율이 P300 CIT의 정확판단율보다 8%~24%높은 경향이 있었지만, McNemar 검증 결과는 통계적으로 유의하지 않았다(모두 $p>.1$).

P300 진폭을 이용한 개인별 판단과 동공크기를 이용한 개인별 판단이 서로 관련되어 있는지 확인하기 위하여, 모든 쌍에 대해서 Chi-square 검증을 수행한 결과, 통계적으로 유의한 관련성이 관찰되지 않았다(모두 $p>.2$).

P300 CIT의 결과와 오른쪽 눈에서 측정한 Pupil CIT의 결과를 단순 조합할 경우, 72%~76%의 정확판단율을 가지는 것으로 나타났다.

Table 2. Detection rates

P300 CIT			Pupil CIT	
Fz	Cz	Pz	Left	Right
44%	44%	36%	52%	60%

4. 논의

본 연구에서는 P300 CIT에 사용된 관련자극이 조사대상자의 측면에서 중요성이나 친숙성 또는 개인적 가치가 낮을 때, Pupil CIT가 P300 CIT를 보완할 수 있는지를 확인하고자 하였다. 이를 위하여, 카드를 이용한 P300 CIT와 Pupil CIT를 실시하였다. 연구결과, Pupil CIT가 P300 CIT를 보완할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

실험참여자들이 실험자극에 적절하게 반응하였는지 확인하기 위하여, 오반응율과 반응시간을 측정하였다. P300 CIT에서 목표자극의 오반응율은 11%였다. 유사한 절차를 사용한 선행연구들의 오반응율이 10% 내외인 점을 보면(Cutmore et al., 2009; Meijer et al., 2009), 실험참여자들이 P300 CIT에 적절한 주의를 기울였다는 것을 알 수 있다. Pupil P300에서 목표자극의 오류율은 2%로 매우 낮았다.

P300 CIT의 반응시간은 456ms였으며, Pupil CIT의 반응시간은 556ms였다. 이러한 반응시간은 CIT 선행 연구들과 매우 유사하였다. P300 CIT와 Pupil CIT 모두에서 관련자극에 대한 반응시간이 무관련자극에 대한 반응시간 보다 길었다. 몇몇 연구들은 반응시간을

이용한 CIT가 성공적이었음을 보고하고 있으나(Seymour et al., 2000; Verschuere et al., 2010), 목표 자극이 1개인 경우에는 상반된 결과를 보인 연구들도 다수 있다(Kubo & Nittono, 2009). 반응시간을 이용한 CIT의 타당성은 앞으로 연구되어야 할 주제이다.

P300 CIT에서, Fz와 Cz, Pz 영역으로 갈수록 관련 자극의 P300 진폭이 증가하였으며, 관련자극에 대한 P300 진폭이 무관련자극에 대한 진폭보다 유의하게 더 큰 것으로 나타났다. 정확판단율은 Fz와 Cz에서 모두 44%였고 Pz에서 36%였다. P300 진폭이 Fz에서 가장 작게 나타나고, Pz에서 가장 크게 나타나는 것은 널리 알려진 사실이며(Polich & Margala, 1997), 관련 자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 크다는 것은 P300 CIT를 이용한 거짓말 탐지 능력이 통계적으로 유의한 수준이라는 것을 의미한다.

본 실험에서 의도한 바와 같이 P300 CIT의 정확판단율은 40% 내외로 낮은 수준이었다. 즉, 카드 검사에서 실험참여자가 뽑은 카드는 실험자에게 큰 중요성이나 친숙성을 가지지 않았다는 것을 보여준다. 본 연구에서 Fz와 Cz 신호를 이용한 경우의 정확판단율이 Pz의 정확판단율보다 높게 나타났는데 반하여, 대부분의 연구자들은 Pz에서의 신호가 P300 CIT에 가장 중요하다고 지적하고 있다. 본 연구에서 이러한 결과가 나타난 이유를 두 가지로 생각해볼 수 있다. 한 가지는 카드를 이용한 P300 CIT의 정확판단율 자체가 낮으므로, 우연적 수준에서 Fz의 정확판단율이 Pz 보다 높게 나타날 수 있다. 다른 한 가지는, 본 연구에서 사용한 카드 그림의 관련자극이 novelty P300을 유발시켰을 가능성이 있다(Lui & Rosenfeld, 2008). Novelty P300은 Fz 영역에서 크게 구별되므로, Fz 신호를 이용한 정확판단율이 Pz 보다 높을 수 있다.

Pupil CIT에서, 양쪽 눈 모두 관련자극에 대한 동공 크기 변화량이 무관련자극에 대한 동공크기 변화량보다 더 컸으며, 두 자극간의 차이는 오른쪽 눈이 왼쪽 눈보다 큰 경향이 있었다. 정확판단율은 왼쪽 눈의 동공을 이용할 경우 52%였고, 오른쪽 눈의 경우 60%였다. Pupil CIT에서 오른쪽 눈의 동공을 이용한 경우가 왼쪽 눈보다 더 좋게 나타난 이유는, 실험참여자들의 약 3/4은 주시(eye dominance)가 오른쪽 눈이었기 때문인 것으로 보인다. 본 연구에서 산출한 Pupil CIT의 정확판단율은 선행연구들과 유사한 수준이었다(Bradley & Janisse, 1979; Janisse & Bradley, 1980; Lubow & Fein, 1996).

P300 CIT에서 주로 사용하는 Pz의 정확판단율과 오른 쪽 눈의 동공을 이용한 Pupil CIT의 정확판단율은 36% 대 60%로 Pupil CIT의 정확판단율이 더 높은 경향이 뚜렷하였지만, 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 사례수가 많지 않아 통계적 검증력이 작았기 때문에 판단된다. 본 연구와 유사한 절차를 사용한 P300 CIT와 Pupil P300에 대한 선행 연구들도 본 연구와 비슷한 정확판단율을 보이고 있다. 본 연구 결과와 선행연구의 결과들을 종합하면, 관련자극이 실험 참여자에게 중요한 의미를 가지지 못하는 경우에는 Pupil CIT의 정확판단율이 P300 CIT의 정확판단율보다 높을 가능성이 높은 것으로 판단된다.

P300 CIT와 Pupil CIT 간의 정확판단율 차이가 두 검사의 자극제시 방법이 서로 달랐기 때문일 가능성도 있다. P300 CIT에서는 선행연구들을 기반으로 최적화된 자극제시 방법을 사용하였다. 반면에 Pupil CIT는 선행 연구들이 충분히 많지 않으므로, 최적화된 자극제시 방법을 결정할 수 없었다. 전체 시행수를 고려하여, 가능한 짧은 자극 제시시간과 자극 간 제시 간격을 사용하였다. 따라서 최적화된 자극제시 방법을 사용한 Pupil CIT에서는 정확판단율이 더 높을 가능성이 있다.

P300 CIT의 판단과 Pupil CIT의 판단 간에 상관관계가 존재하지 않는 것으로 나타났다. P300은 대뇌의 정보처리 과정을 직접적으로 반영하는 반면(Donchin, 1981), 동공크기는 교감신경계와 부교감신경계에 의해 조절된다(Vendemia, 2008). 이러한 차이가 결과에서의 차이를 유발한 것으로 보인다. 그러나 이러한 차이가 발생하는 원인에 대해서는 본 연구에서 밝히기는 어렵다. 추후, 두 가지 CIT의 신경심리학적 또는 생물심리학적 기전에 대한 연구가 필요할 것이다.

위의 결과로부터, Pupil CIT가 P300 CIT를 보완하는 두 가지 방법을 이끌어낼 수 있다. 한 가지는 CIT에 사용되는 관련자극이 조사대상자에게 큰 가치를 가지지 못할 것으로 예상되는 경우, P300 CIT보다는 Pupil CIT를 실시하는 것이다. 그러나 본 연구에서 추정한 Pupil CIT의 정확판단율이 만족할 만한 수준이 아니므로, Pupil CIT에 최적화된 자극제시 방법 등에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

다른 한 가지는 조사대상자에게 P300 CIT와 Pupil CIT를 함께 실시하여, 두 결과를 종합하여 결론을 내리는 것이다. 두 검사의 판단결과 간에 상관이 낮으므

로, 두 검사 결과를 조합하면 더 높은 수준의 정확판단율을 보일 수 있을 것이다. 두 검사 결과를 조합하는 방법은 자극 종류의 수준에서 통합하는 것과 검사 결과의 수준에서 통합하는 것이 가능할 것이다. 자극 종류의 수준에서는 P300의 진폭과 동공의 크기에 각각 점수를 부여하여 총점을 산출하는 방법을 사용할 수 있으며, 검사 결과의 수준에서는 ‘and’ 조합이나 ‘or’ 조합을 사용하여 통합할 수 있다.

위의 두 가지 경우에, 세부적인 통합방법에 따라 오류긍정(false positive) 또는 오류부정(false negative) 확률이 증가하게 되므로, 무죄집단을 포함한 연구에서 오류확률을 검토하여 세부적인 통합방법을 결정해야 할 것이다.

본 연구 결과는 카드 검사를 통하여 얻은 것이며, 자극의 가치가 낮은 관련자극만을 이용하였다. 본 연구의 일반화 또는 생태학적 타당도를 위해서는, 모의 범죄 실험방법을 이용하고, 자극의 가치가 낮은 관련자극과 자극의 가치가 높은 관련자극을 모두 사용한 실험결과가 필요할 것이다.

참고문헌

- Abbootalebi, V., Moradi, M. H., & Khalilzadeh, M. A. (2006). A comparison of methods for ERP assessment in a P300-based GKT. *International Journal of Psychophysiology*, 62, 309-320.
- Allen, J. 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.
- Ben-Shakhar, G. & Elaad, E. (2002). The guilty knowledge test (GKT) as an application of psychophysiology: Future prospects and obstacles. In Murray Kleiner (Ed.), *Handbook of Polygraph Testing*. San Diego: Academic Press.
- Ben-Shakhar, G. & Elaad, E. (2003). The validity of psychophysiological detection of information with the guilty knowledge test: A meta-analytic interview. *Journal of Applied Psychology*, 88, 131-151.
- Bradley, M. T. & Janisse, M. P. (1979). Pupil size and lie detection: The effect of certainty on

- detection. *Journal of Human Behavior*, 16, 33-39.
- Cutmore, T. R. H., Djakovic, T., Kebell, M. R., & Shum, D. H. K. (2009). An object cue is more effective than a word in ERP-based detection of deception. *International Journal of Psychophysiology*, 71, 185-192.
- Donchin, E. (1981). Surprise!...Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Eom, J. S. (2010). *The factors affecting P300 amplitude in the ERP-based concealed information test*. Unpublished doctoral dissertation, Chungbuk National University.
- Eom, J. S., Han, Y. H., Park, K. B., & Sohn, J. H. (2008). Sensitivity of P300-based concealed information test: A comparison between testing paradigms with and without a target stimulus. *Korean Journal of Psychology: General*, 27, 653-673.
- Eom, J. S., Eum, Y. J., Sohn, J. H., & Park, K. B. (2010). Effects of high pass filter settings on P300 waveform. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 13, 179-186.
- Farwell, L. A. & Donchin, E. (1991). The truth will out: Interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related Potentials. *Psychophysiology*, 28, 531-547.
- Goldwater, B. C. (1972). Psychological significance of pupillary movements. *Psychological Bulletin*, 77, 340-355.
- Honts, C. R., Devitt, M. K., Winbuch, M., & Kircher, J. C. (1996). Mental and physical countermeasures reduce the accuracy of the concealed knowledge test. *Psychophysiology*, 33, 84-92.
- Johnson, R. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 23, 367-384.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kleiner, M. (Ed.). (2002). *Handbook of polygraph testing*. San Diego, CA: Academic Press.
- Kommerell, G., Schmitt, C., Kroineier, M., & Bach, M. (2003). Ocular prevalence versus ocular dominance. *Vision Research*, 43, 1397-1403.
- Kubo, K. & Nittono, H. (2009). The role of intention to conceal in the P300-based concealed information test. *Applied Psychology and Feedback*, 34, 227-235.
- Lie, 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. *Psychology*, 45, 721-730.
- Lubow, R. E. & Fein, O. (1996). Pupillary size in response to a visual guilty knowledge test: New technique for the detection of deception. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 164-177.
- Lykken, D. T. (1959). The GSR in the detection of guilt. *Journal of Applied Psychology*, 43, 385-388.
- Meijer, E. H., Smulders, F. T. Y., Merkelbach, H. L. G. J., & Wolf, A. G. (2007). The P300 is sensitive to concealed face recognition. *International Journal of Psychophysiology*, 66, 231-237.
- Podlesny, J. A. (1993). Is the guilty knowledge polygraph technique applicable in criminal investigations? A review of FBI case records. *Crime Laboratory Digest*, 20, 57-61.
- Polich, J. & Margala, C. (1997). P300 and probability: Comparison of oddball and single-stimulus paradigms. *International Journal of Psychophysiology*, 25, 169-176.
- Rosenfeld, J. P., Angell, A., Johnson, M., & Qian, J. (1991). An ERP-based, control- question lie detector analog: Algorithms for discriminating effects within individuals' average waveforms. *Psychophysiology*, 38, 319-335.
- Rosenfeld, J. P., Biroshak, J. R., & Furedy, J. J. (2006). P300-based detection of concealed autobiographical versus incidentally acquired information in target and non-target paradigm, *International Journal of Psychophysiology*, 60, 251-259.
- Seymour, T. L., Seifert, C. M., Shafto, M. G., & Mosmann, A. L. (2000). Using response time measures to assess "Guilty Knowledge". *Journal of Applied Psychology*, 85,30-37.
- Taylor, J. S. (1981). Pupillary response to auditory versus visual mental loading: A pilot study using super 8-mm photography. *Perceptual and Motor Skills*, 52, 425-426.
- Vendemia, J. M. C., Schillaci, M. J., Buzan, R. F.,

Green, E. P., & Meek, S. W. (2009). Alternative technologies for the detection of deception. In Daniel T. Wilcox (Ed.), *The use of the polygraph in assessing treating and supervision sex offenders: A practitioners guide* (pp. 266-295), UK: Wiley-Blackwell.

Verschuere, B., Crombez, G., Degrootte, T., & Rosseel, Y. (2010). Detecting concealed information with reaction time: Validity and comparison with the polygraph. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 991-1002.

원고접수: 2012.03.29

수정접수: 2012.04.26

게재확정: 2012.05.07