



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

김 명 선 교수지도  
석사학위 청구논문

ADHD 성향을 가진 대학생의  
오류처리 결함에 관한 사건관련전위  
연구

2017

성신여자대학교 대학원  
심 리 학 과  
최 수 지

ADHD 성향을 가진 대학생의  
오류처리 결함에 관한 사건관련전위  
연구

김 명 선 교수지도

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2016년 11월

성신여자대학교 대학원

심 리 학 과

최 수 지

# 인 준 서

최수지의 석사학위 논문으로 인준함.

2016년 11월

심사위원장 \_\_\_\_\_ (인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_ (인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_ (인)

성신여자대학교 대학원

## 논문개요

본 연구는 성인 ADHD 성향군의 오류처리 결함을 Go/NoGo 과제와 사건관련전위를 사용하여 알아보고자 하였다. ADHD 성향군( $n=16$ )과 정상통제군( $n=18$ )이 연구에 참여하였으며, Go/NoGo 과제를 수행하는 동안 사건관련전위를 측정하였다. Go/NoGo 과제는 버튼을 눌러서 반응해야 하는 Go 조건과 반응하지 않아야 하는 NoGo 조건으로 구성되어 있으며, 연구 참여자에게는 가능한 빠르고 정확하게 버튼을 누르는 것이 요구되었다. 행동 자료 분석 결과, ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 높은 오류율과 짧은 오류 후 지연(post error slowing: PES)을 보였다. 또한 사건관련전위를 분석한 결과, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 감소된 오류 관련 부정 전위(error-related negativity: ERN)를 보인 반면 오류 정적 전위(error positivity: Pe)에서는 두 집단 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 또한, 정상통제군에서는 Pe 진폭과 오류 후 지연간의 정적 상관관계가 관찰된 반면 ADHD 성향군에서는 이러한 상관관계가 관찰되지 않았다. 본 연구의 결과는 성인 ADHD 성향군이 오류 처리과정에 결함을 가지고 있고, 이러한 결함이 전대상피질과 같이 오류처리 기능에 관여한다고 알려진 신경 생리적 기제의 이상과 관련되어 있음을 시사한다. 또한 ADHD 성향군이 오류 후 정확률을 높이기 위한 적절한 인지적 전략을 사용하는데 어려움을 겪고 있으며, 오류처리 기능의 결함이 성인 ADHD의 특성 지표로 사용될 수 있음을 시사한다. 나아가 Pe가 오류 후 적응적 반응을 위한 인지적 전략을 반영하는 지표로 사용될 수 있음을 시사한다.

---

주요어: 성인 ADHD 성향군, 오류처리, Go/NoGo 과제, ERP, ERN, Pe,  
오류 후 지연

# 목 차

## I. 서론

1. 연구의 필요성 및 연구목적 .....	1
-------------------------	---

## II. 이론적 배경

1. 오류처리 .....	10
2. 사건관련전위에서 관찰되는 오류 관련 부적 전위와 오류 정적 전위 ....	12
3. 사건관련전위와 Go/NoGo 과제를 사용한 오류처리 기능 연구 .....	14
4. ADHD 환자군의 오류처리 결함 .....	15
5. 성인 ADHD 성향군의 오류처리 결함 .....	17

## III. 연구문제 및 가설

1. 연구 문제 및 가설 .....,.....	18
---------------------------	----

#### IV. 연구방법

1. 연구 대상 .....	19
2. 평가 도구 .....	21
3. 실험 절차 .....	25
4. 자료 분석 .....	28

#### V. 연구결과

1. 인구 통계학적 특성 .....	31
2. 행동 자료 분석 .....	33
3. 사건관련전위 분석 .....	38
4. Pe 진폭과 오류 후 지연간의 상관관계 .....	47

#### VI. 논의 및 제한점

1. 논의 .....	48
2. 제한점 및 후속연구를 위한 제안 .....	54

#### 참 고 문 헌

#### ABSTRACT

## 표 목 차

<표 1> Adult ADHD Self-Report Scale-v1.1 (ASRS-v1.1) Symptom Checklist 예시 .....	22
<표 2> Conners' Adult ADHD Rating Scale-한국판(CAARS-K) 예시 .....	23
<표 3> 정상통제군과 성인 ADHD 성향군의 인구통계학적 특성 .....	32
<표 4> Go/NoGo 과제에서의 평균 반응 오류율과 반응 시간 .....	34
<표 5> 반응 오류율의 변량분석 .....	35
<표 6> 반응 시간의 변량분석 .....	35
<표 7> 오류 전과 후 시행에서의 반응 시간 .....	36
<표 8> 오류 전과 후 시행에서의 반응 시간 변량분석 .....	36
<표 9> 정상통제군과 성인 ADHD 성향군이 Go/NoGo 과제에서 보인 오류 후 지연 시간 .....	37
<표 10> Go/NoGo 과제에서 정상통제군과 성인 ADHD 성향군이 보인 평균 ERN 진폭과 잠재기 .....	42
<표 11> ERN 진폭의 변량분석 .....	43
<표 12> ERN 잠재기의 변량분석 .....	43
<표 13> Go/NoGo 과제에서 정상통제군과 성인 ADHD 성향군이 보인 평균 Pe 진폭과 잠재기 .....	45
<표 14> Pe 진폭의 변량분석 .....	46
<표 15> Pe 잠재기의 변량분석 .....	46
<표 16> 정상통제군( $n=18$ )과 성인 ADHD 성향군( $n=16$ )의 Pe진폭과 오류 후 지연 간의 상관분석 .....	47

## 그림 목 차

<그림 1> Go/NoGo 과제의 두 조건 .....	26
<그림 2> Go/NoGo 과제의 자극 제시 순서 .....	26
<그림 3> 사건관련전위 분석에 포함된 채널(검정색 원).....	30
<그림 4> Go/NoGo 과제에서 관찰된 정상통제군과 성인 ADHD 성향군의 전체 평균 사건관련전위.....	39
<그림 5> Go/NoGo 과제에서 가장 큰 진폭의 ERN과 Pe가 관찰된 시간대의 전체 64채널 사건관련전위 분포 .....	40

# I. 서론

## 1. 연구의 필요성 및 목적

주의력 결핍/과잉행동 장애(attention deficit/hyperactivity disorder: ADHD)는 부주의, 과잉행동 및 충동성이 특징적인 신경발달 장애로 학령기 아동의 약 5~10%에게 진단된다(American Psychiatric Association[APA], 2013; Biederman, 2005). 아동기에 두드러지게 나타나는 과잉행동 및 충동성과 같은 외현 증상이 연령이 증가함에 따라 감소하기 때문에, 이전에는 ADHD가 아동기에 국한되어 나타나는 장애인 것으로 여겨져 왔다(Faraone et al., 2000; Harpin, 2005). 그러나 최근 연구에 따르면 아동기에 ADHD 진단을 받았던 사람들 중 약 절반 이상이 성인기까지 관련 증상을 유지한다고 알려져 현재 만성적인 장애로 이해되고 있다(Barkley, Murphy, & Fischer, 2008). 성인 ADHD 환자의 경우 아동기 ADHD들이 외현 증상을 주로 보이는 것과 달리 부주의(inattention), 주의 산만(distractibility) 등의 증상이 더 우세하고, 이로 말미암아 학업적, 직업적 어려움(Biederman, Mick, & Faraone, 2000; Millstein, Wilens, Biederman, & Spencer, 1997)을 포함한 일상생활 기능의 심각한 저하를 경험하는 것으로 알려져 있다(Wilens, Biederman, & Spencer, 2002). 즉, ADHD는 만성적인 장애이며 성인 ADHD 환자들이 아동 ADHD 환자와 다른 증상 및 인지 결함을 보이기 때문에, 성인 ADHD 환자들의 주된 인지 결함에 관한 연구들이 이루어지고 있다(장경미, 김명선, 2015; Nigg, 2005).

성인 ADHD 환자들은 부주의 증상 중 특히 부주의한 실수로 인해 직업과 학업 등을 포함한 일상생활에서 다양한 어려움을 경험한다(APA, 2013;

Geburek, Rist, Gediga, Stroux, & Pedersen, 2013). Reason(1990)은 일상생활 중 발생하는 다양한 오류(error)를 발생 원인에 따라 실수(slip), 착오(mistake), 기억실패(lapse)로 구분하였다. 즉 착오는 잘못된 지식(faulty knowledge)이나 규칙의 이해 부족으로 말미암아 부적절한 계획을 수립하여 행동 오류가 발생하는 경우를 의미하며, 기억 실패는 자신이 실행해야 하는 행동을 기억하지 못하여 발생하는 오류 유형을 의미한다(Reason, 1990). 오류처리 과정을 조사하는 연구에서 초점을 두고 있는 오류 유형인 실수는 과제의 규칙을 이해하고 있지만, 자신의 의도와는 달리 성급하고 부주의하게 반응하여 발생하는 오류를 의미한다(Ganushchak & Schiller, 2006; Reason, 1990; Scheffer & Coles, 2000). 즉, ADHD 환자들이 보이는 부주의한 실수는 이해의 부족에서 야기되는 것이 아니라 부주의로 인해 발생하는 것으로 여겨진다(APA, 2013; Geburek et al., 2013). 따라서 성인 ADHD 환자들의 주요 증상인 부주의에 의한 실수 기제를 이해하기 위해 성인ADHD 환자들의 오류처리 능력에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Wiersema, van der Meere, & Roeyers, 2009). 선행 연구들은 다양한 과제에서 ADHD 환자들에서 오류처리 결함이 비교적 일관되게 관찰되고 있음을 보고하고 있다(Groen et al., 2008; Herrmann et al., 2010; Liotti, Pliszka, Perez, Kothmann, & Woldorff, 2005; Wiersema et al., 2009; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004). 또한 오류처리의 결함이 ADHD 환자의 건강한 직계 가족과 성향군에서도 관찰되어 오류처리의 결함이 ADHD의 내적 표현형(endophenotype)인 것으로 여겨지고 있다(Albrecht et al., 2008; Herrmann et al., 2010; McLoughlin et al., 2009). 이에 덧붙여 오류처리의 결함이 ADHD 환자들에서 비교적 일관되게 관찰되는 또 다른 인지 장애인 반응 억제의 결함이나 지속 주의의 결함과 관련되어 있는 것으로 보고되고 있다(Douglas, 1999; Nigg, 2005). 따라서 ADHD의 오류처리 결함에 대한 이

해가 ADHD의 기저 병리의 이해를 높일 수 있을 것으로 여겨지고 있다 (Groom et al., 2010).

오류처리는 개인이 자신의 행동을 지속적으로 모니터하여 오류를 탐지하고, 탐지된 오류를 바탕으로 자신의 목표에 맞게 행동을 조정하는 기능으로 (Hajcak, McDonald, & Simons, 2003; Hester, Foxe, Molholm, Shpaner, & Garavan, 2005; Shiels & Hawk, 2010), 오류를 탐지하는 단계와 발생한 오류를 바탕으로 다음 시행의 오류를 감소하기 위한 오류 정정 (correction) 혹은 보상 (compensation) 단계로 구성된다. Rabbitt (1966)은 반응선택 과제에서 정반응 후보다 오반응 후 다음 시행의 반응시간이 더 길어지는 것을 관찰하였고, 이를 “오류 후 지연(post-error slowing)” 이라고 이름하였다 (Laming, 1979). 이 현상은 오류 후 다음 시행의 정확률을 높이기 위한 인지적 노력을 반영하는 것으로 이해되고 있다 (Gehring & Fencsik, 2001; Hajcak et al., 2003; Laming, 1979).

오류처리의 연구에 사용되는 과제는 분석에 충분한 오류 수가 발생할 수 있도록 고안되어야 하고 (Gehring, Coles, Meyer, & Donchin, 1995; Mathalon, Fedor, Faustman, & Gray, 2002), 과제 수행 동안 발생하는 오류는 개인이 과제를 이해하지 못한 결과 초래되는 착오가 아니라 실수, 즉 정반응이 무엇인지 정확하게 이해하고 있음에도 불구하고 빠른 반응을 요구하는 과제 특성 때문에 성급하게 반응하여 초래되는 실수이어야 한다 (Ganushchak & Schiller, 2006; Reason, 1990).

오류처리의 연구에 주로 사용되는 Stroop 과제, Flanker 과제 및 Go/NoGo 과제는 서로 다른 유형의 자극을 사용하지만, 빠르고 정확한 반응을 요구한다는 공통점을 가지고 있다 (Hajcak et al., 2003). Flanker 과제는 간섭 자극 (flanker stimulus) 을 무시하고 목표 자극 (target stimulus) 에 반응하는 능력을 측정하는 과제로 간섭 자극이 목표 자극과 유사할수록 오류가 더

많이 발생하는 것으로 알려져 있지만(Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter, & Cohen, 1999; Eriksen & Eriksen, 1974), 간접 자극과 목표 자극이 동시에 제시되기 때문에 자극-자극 갈등(stimulus-stimulus conflict)과 자극-반응 갈등(stimulus-response conflict)이 동시에 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다(Verbruggen, Notebaert, Liefoghe, & Vandierendonck, 2006).

Stroop 과제는 과제와 관련 없는 자극을 인지적으로 억제하는 것이 요구되는 과제로, 단어가 의미하는 색채와 단어의 잉크색이 일치하는 일치 조건, 단어의 의미와 잉크색이 일치하지 않는 불일치 조건과 색채를 의미하지 않는 단어가 특정한 잉크색으로 제시되는 중립 조건으로 구성된다(Mattingley, Rich, Yelland, & Bradshaw, 2001; Spieler, Balota, & Faust, 1996; Stroop, 1935). 연구참여자는 단어의 의미를 무시하고 단어가 무슨 색으로 인쇄되어 있는가를 반응해야 하는데, 일반적으로 일치 조건이나 중립 조건보다 불일치 조건에서 반응 시간이 증가한다(Stroop, 1935). 이 현상을 “스트룹 간섭 효과(Stroop interference effect)”라고 부르는데, 이는 자동적인 단어 읽기와 관련된 기능이 색채 명명과 관련된 통제 기능을 간섭하기 때문에 발생하는 것으로 여겨지고 있다(Macleod, 1991).

동일한 연구참여자를 대상으로 오류처리의 측정에 주로 사용되는 Flanker, Stroop, Go/NoGo 과제들을 비교한 선행 연구는 다른 과제에 비해 Stroop 과제에서 더 높은 오류율, 더 긴 반응 시간과 오류 관련 사건관련전위 요소들의 진폭이 감소됨이 나타남을 보고하였다(Riesel, Weinberg, Endrass, Meyer, & Hajcak, 2013). 오류처리를 측정하기 위해서는 연구참여자가 과제의 규칙을 정확하게 이해하고, 과제 수행 중 오류를 인지할 수 있어야 하며(김은영, 이승환, 2008), 특히 참여자가 지각하는 과제의 난이도가 오류와 관련된 다양한 지표에 많은 영향을 미칠 수 있다고 알려져 있다(Falkenstein,

2004; Hoffmann & Falkenstein, 2010; Johannes et al., 2002). 즉, Stroop과제의 높은 난이도가 오류처리와 관련된 요소들에 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다(Riesel et al., 2013).

오류처리 과정의 측정에 널리 사용되는 Go/NoGo 과제는 이 과제의 규칙이 단순하여 Stroop 과제나 flanker 과제들 보다 난이도가 낮고, 연구참여자들이 실수의 발생을 알아차리기 쉽기 때문에 오류 후의 처리 과정을 조사하는데 적합하다고 알려져 있다(Riesel et al., 2013; Wiersema, van der Meere, & Roeyers, 2005). 이 과제는 연구참여자가 반응해야 하는 Go 조건과 반응하지 않아야 하는 NoGo 조건으로 구성되며(Kaiser et al., 2003), 각 조건의 비율을 조정하여 난이도를 조절할 수 있다. Go 조건에 비해 NoGo 조건의 비율이 낮을수록 더 높은 수준의 억제과정이 요구된다(Drewe, 1975; Verin et al., 1993). 정상인의 경우 Go 조건보다 NoGo 조건에서 더 많은 오류와 더 긴 오류 후 지연을 보인다고 알려져 있는 반면(Murphy, 2002), ADHD 환자들은 정상인보다 더 많은 오류를 보이고 오류 후 지연을 보이지 않는 것이 비교적 일관되게 보고되고 있다(Groom, 2010; Schachar et al., 2004; Wiersema et al., 2005).

뇌영상 연구들은 오류처리에 배측 전대상 피질(dorsal anterior cingulate cortex: dACC)과 외측 전전두 피질(lateral prefrontal cortex)이 관여하고(Liotti et al., 2005; Van Veen & Carter, 2002), 이 영역들이 오류처리 과정에서 각각 다른 역할을 하는 것으로 보고하고 있다(O'Connell et al., 2009). 배측 전대상 피질은 오류를 탐지하는 알람 시스템의 역할을 하는 것으로 알려져 있으며(Van Veen & Carter, 2002), 개인이 오류를 의식하지 못했을 때도 자동적으로 활성화되는 것으로 밝혀지고 있다(Liotti et al., 2005). 배측 전대상 피질에 의해 탐지된 오류에 대한 정보가 외측 전전두 피질로 전달되며, 외측 전전두 피질은 전달된 정보를 바탕으로 추후 오류

를 감소하기 위한 인지적 노력을 기울이게 된다(Hester et al., 2005; Van Veen & Carter, 2002). 즉, 전대상피질은 오류를 탐지하여 이 정보를 외측 전전두 피질로 보내고, 외측 전전두 피질은 오류를 평가하고, 정정하는 과정에 관여하는 것으로 이해되고 있다(Van Veen & Carter, 2002). ADHD 환자의 경우 배측 전대상 피질의 기능 이상이 비교적 일관되게 보고되고 있고, 이 영역의 결함이 ADHD의 주요 증상들과 관련되어 있다고 알려져 있다(Bush, Valera, & Seidman, 2005). 또한 ADHD 환자들에서 정상인에 비해 전전두엽 피질과 전대상 피질의 부피가 감소되어 있고(Overmeyer et al., 2001), 전대상 피질과 다른 뇌 영역간의 기능적 연결성(functional connectivity)도 감소되어 있는 것이 보고되고 있다(Castellanos et al., 2008). 이와 더불어 인지 과제를 수행하는 동안 전전두엽 피질과 전대상 피질의 활성화가 정상인에 비해 감소하는 것이 관찰되는데(Bush et al., 2005; O'Connell et al., 2009; Seidman, Valera, & Makris, 2005; Sowell et al., 2003), 특히 배측 전대상 피질의 활성화 감소가 연령에 따른 환자의 증상 프로파일 변화에도 불구하고 일관적으로 보고되고 있다(Bush et al., 1999, 2005).

뇌영상 기법은 우수한 공간해상도(spatial resolution)를 가지고 있어 오류 탐지와 관련된 뇌 영역을 밝힐 수 있는 장점이 있지만, 시간해상도(temporal resolution)가 낮기 때문에, 오류 탐지를 포함하는 다양한 인지 기능의 순차적 활성화에 관한 정보를 제공하지 못한다. 이에 반해 사건관련전위(event related potentials; ERPs)는 뛰어난 시간 해상도를 가지고 있기 때문에 자극에 노출되는 순간(stimulus-locked ERPs)부터 자극의 인지적 처리 과정을 순차적으로 관찰할 수 있다. 또한 자극에 대한 행동 반응이 완료된 후(response-locked ERPs)의 인지적 처리 과정도 관찰할 수 있다(Bokura, Yamaguchi, & Kobayashi, 2001; Makeig et al., 2004). 사건 관련전위는 뇌영상 기법에 비해 공간 해상도가 낮다는 단점을 가지고 있었지만,

최근 들어 고밀도 뇌파(high-density EEG)의 사용으로 말미암아 공간 해상도가 향상되어 사건관련전위가 인지 기능의 연구에 매우 유용하게 사용되고 있다(Luck, 2005). 사건관련전위란 특정 자극의 제시 기준(stimulus-locked) 혹은 반응 기준(response-locked)으로부터 일정 시간 동안 초래되는 뇌의 전기적 활동을 의미하며, 정적 전위(positive potential) 혹은 부적 전위(negative potential)를 띠는 인지 과정의 지표인 정점(peak) 혹은 요소(component)들로 구성된다.

사건관련전위를 사용하여 오류처리 기능을 조사한 연구들은 오류와 관련하여 두 가지 요소, 즉 오류 관련 부적 전위(error-related negativity: ERN)와 오류 정적 전위(error positivity: Pe)가 관찰되는 것을 일관되게 보고하고 있다. 첫 번째 요소인 ERN은 오류 후 50~100ms 동안 전두-중앙 영역(fronto-central)에서 관찰되는 부적 정점으로 오류 탐지를 반영하는 것으로 알려져 있고(Gehring, Coles, Meyer, & Donchin, 1990; Hester et al., 2005), 근원지가 전대상 피질로 알려져 있다(Dehaene, Posner, & Tucker, 1994; Kiehl, Liddle, & Hopfinger, 2000). 두 번째 요소인 Pe는 오류 반응 후 200~400ms 동안 중앙-두정 영역(centro-parietal)에서 관찰되는 정적 정점으로 오류를 의식적으로 평가하고, 오류 후 반응의 수행을 조정하는 등 오류 정정 단계를 반영하는 것으로 알려져 있다(Falkenstein, Hoormann, Christ, & Hohnsbein, 2000).

정상통제군을 대상으로 Go/NoGo 과제와 사건관련전위를 사용한 선행 연구들은 오류 후 ERN과 Pe가 발생함을 일관적으로 보고하고 있으며, 특히 Pe가 오류 후 지연과 관련되어 있음을 보고하고 있다(Hajcak et al., 2003; Van Veen & Carter, 2006). 반면 ADHD 환자들을 대상으로 한 연구들은 환자들의 증상 유형, 공병 여부 및 연령에 따라 다소 일관되지 않은 결과를 보고하고 있다(Groen et al., 2008; Herrmann et al., 2010; Liotti et al.,

2005; Wiersema et al., 2009; Yeung et al., 2004). 아동 ADHD를 대상으로 한 연구에서는 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 감소된 ERN과 Pe 진폭을 보임이 관찰되었으나(Groen et al., 2008; Liotti et al., 2005), 청소년 ADHD 환자군을 대상으로 한 연구는 환자군이 ERN 진폭에서는 정상군과 유의한 차이를 보이지 않은 반면 Pe에서는 정상군에 비해 감소된 진폭을 보임을 보고하였다(Yeung et al., 2004). 이는 ERN 진폭이 연령에 따라 증가하는 양상을 보이는 연령 효과에서 기인한 것으로 보인다(Herrmann et al., 2010).

성인 ADHD 환자군의 경우, ADHD 환자군이 통제군에 비해 ERN에서는 감소된 진폭을 보이지만 Pe 진폭에서는 유의한 차이가 관찰되지 않은 반면(Chang, Davies, & Gavin, 2009), 또 다른 연구들에서는 이와 상반되는 결과, 즉 성인 ADHD 환자군이 ERN 진폭에서는 정상통제군과 유의한 수준을 보이지만 Pe에서는 감소된 진폭을 보임이 관찰되었다(O'Connell et al., 2009; Wiersema et al., 2009). 또 다른 연구는 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 ERN과 Pe 모두에서 유의하게 감소된 진폭을 보임을 보고하고 있다(Herrmann et al., 2010). 성인 ADHD 환자군을 대상으로 한 연구들에서 관찰되는 이러한 비일관된 연구 결과는 환자의 연령, 증상의 양상, 증상의 심각도, 기능의 손상 정도 및 공병율 등과 같은 연구 대상과 관련된 변인과 과제의 난이도와 같은 과제의 변인, 자료 분석의 차이로 인하여 초래되는 것으로 이해되고 있다(Chang et al., 2009; Herrmann et al., 2010; O'Connell et al., 2009; Shiels & Hawk, 2010; Wiersema et al., 2009). 특히 약물의 영향을 최소화하기 위해 실험 전 약물 복용을 일시적으로 제한시키기도 하지만, 약물의 중장기적 영향을 무시할 수 없다(김건우 등, 2009). 성인 ADHD 환자군을 대상으로 한 연구들의 결과를 종합하면 성인 ADHD 환자들이 다양한 외재변인으로 말미암아 오류처리 단계 중 어떤 단계에 결함을

가지고 있는지 아직 이해되지 못하고 있다.

또한 성인 ADHD의 진단을 위해 널리 사용되는 정신질환의 진단 및 통계 편람 제 4판(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-IV)의 진단 준거 중 일부가 성인 ADHD 진단을 모호하게 한다고 여겨지고 있다(Faraone et al., 2006; Kaplan & Stevens, 2002). 예를 들어 7세 이전에 ADHD 병력이 확인되어야 한다는 준거는 성인 ADHD 진단을 어렵게 하고(Adler, Shaw, Sitt, Maya, & Morrill, 2009; Faraone et al., 2006), 약물 남용, 기분 장애 및 불안 장애 등 성인 ADHD 환자들이 경험할 수 있는 다양한 공병으로 인해 다른 장애로 진단될 가능성이 높다고 보고되고 있다(Kessler et al., 2006). 최근 개정된 정신질환의 진단 및 통계편람 제 5판(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th: DSM-5)은 이러한 문제점을 개선하기 위해 병력 확인 기준 연령을 12세 이전으로 조정하였지만 여전히 성인이 자신의 아동기 증상을 자전적으로 보고할 경우 신뢰도가 낮아진다는 문제가 남아있다(APA, 2013). 따라서 ADHD 환자와 유사한 증상 및 불편감을 호소하고, 약물을 복용한 경험이 없으며, ADHD 환자와 유사한 뇌 기능 이상을 가진다고 알려진 ADHD 성향군을 연구 대상으로 하는 것이 제안되고 있다(Cocchi et al., 2012).

본 연구에서는 ADHD 성향을 가진 대학생들을 대상으로 이들의 오류 처리 능력을 사건관련 전위와 Go/NoGo 과제를 사용하여 알아보고자 하였다. 즉, 성인 ADHD 성향군이 오류처리의 결함을 가지고 있는지, 만약 오류처리의 결함을 가지고 있다면 이 결함이 ERN과 Pe에 반영되는지를 알아보고자 하였다. 특히 오류처리의 결함이 ADHD의 내적 표현형으로 여겨지고 있기 때문에, 성향군을 대상으로 한 본 연구는 성인 ADHD 환자군에서 일관되게 관찰되는 오류처리 결함의 신경 병리적 기제에 대한 이해에 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

## II. 이론적 배경

### 1. 오류처리

오류처리란 자신의 행동이 목표에 맞게 실시되고 있는지를 지속적으로 모니터하고, 오류를 탐지하며, 탐지된 오류를 바탕으로 자신의 목표에 맞게 행동을 조정하는 기능으로 정의된다(Hajcak et al., 2003; Hester et al., 2005; Shiels & Hawk, 2010). 오류처리를 조사하는 연구에서 의미하는 오류란 과제를 정확하게 이해하고는 있지만 빠른 반응을 하는 도중 성급한 반응으로 인하여 발생하는 실수(slip)를 의미하며, 과제의 규칙을 이해하지 못하여 발생하는 실수(mistake)와는 다른 개념이다. 선행 연구들에 따르면 오류는 피드백이 제공되지 않아도 혹은 의식적으로 지각되지 않아도 자동적으로 탐지가 가능하고(Hester et al., 2005; Modirrousta & Fellow, 2008; Rabbitt, 1968), 탐지된 오류를 정정하기 위한 인지적 노력이 빠르게 발생한다고 한다(Gehring & Fencsik, 2001; Laming, 1979; Rabbitt, 1966). 즉, 오류처리는 실제 자신의 반응과 해야 하는 반응간의 불일치를 탐지하는 오류 탐지 단계와 탐지된 오류 정보를 바탕으로 미래 시행의 정확률을 높이기 위한 오류의 정정 혹은 보상 단계로 구성된다.

일반적으로 사람들은 오류를 범할 경우 다음 시행의 반응 속도가 느려지는 경향을 보인다. Rabbitt(1966)에 의해 처음 관찰된 이 현상은 오늘날 오류 후 지연이라고 불리며 추후 시행에서의 오류 가능성을 감소시키려는 인지적인 노력을 의미한다고 여겨지고 있다. 그 증거로 오류 후 지연은 오류처리와 관련된 다양한 신경생리적 지표와 관련있는 것으로 보고되고 있다(Danielmeier, Eichele, Forstmann, Tittgemeyer, & Ullsperger, 2011;

Dutilh et al., 2012; Hajcak et al., 2003). 예를 들어 오류 후 지연과 오류 관련 ERP 요소 간의 관계를 조사한 Hajcak, Macdonald와 Simons(2003)는 오류의 의식적 처리과정을 반영하는 Pe와 오류 후 지연이 정적 상관을 보임을 보고하였다. 또한 Danielmeier 등(2011)은 오류 후 지연과 전대상 피질의 활성화 수준 간의 상관을 보고하였다. 이러한 선행 연구들의 결과를 고려하면 오류 후 지연은 오류처리에 대한 인지적 통제 양을 측정하는데 유용하다고 여겨지기 때문에 오류 정정 단계를 반영하는 지표로 널리 사용되고 있다(Dutilh et al., 2012; Wiersema et al., 2005). 오류 후 지연을 측정하는 전통적인 방법은 오류 후 시행과 정반응 후 시행의 반응시간 차이를 계산하는 것이다(Dutilh et al., 2012). 그러나 이 방법은 정확한 반응을 위해 신중하게 반응하는 것 혹은 과제 수행 중 발생하는 피로 등으로 말미암아 수행 속도가 느려지는 것 등의 영향을 배제할 수 없다는 단점을 가지고 있다(이상일, 변신철, 장문선, 곽호완, 2015; Dutilh et al., 2012). 이러한 영향을 최소화하기 위해 오류를 기준으로 오류 직전시행의 반응시간과 오류 직후의 반응시간의 차이를 계산하는 방법이 제안되었다(Dutilh et al., 2012).

오류처리에는 배측 전대상 피질(dorsal anterior cingulate cortex: dACC)과 외측 전전두 피질(lateral prefrontal cortex)(Liotti et al., 2005; Van Veen & Carter, 2002)이 관여하는 것으로 보고되고 있으며, 이 영역들이 오류처리 과정에서 각각 다른 단계에 관여하는 것으로 알려졌다(O'Connell et al., 2009). 배측 전대상 피질은 오류를 탐지하는 역할을 하는 것으로 알려져 있으며(Van Veen & Carter, 2002), 개인이 오류를 의식하지 못했을 때도 자동적으로 활성화되는 것으로 밝혀지고 있다(Liotti et al., 2005). 배측 전대상 피질에 의해 탐지된 오류에 대한 정보는 외측 전전두 피질로 전달되며, 외측 전전두 피질은 전달된 정보를 바탕으로 이후의 오류를 감소시키기 위한 인지적 노력에 관여하는 것으로 이해되고 있다(Hester et

al., 2005; Van Veen & Carter, 2002). 즉, 전대상 피질은 오류를 탐지하여 이 정보를 외측 전전두 피질로 보내고, 외측 전전두 피질은 오류를 평가하고, 정정하는 과정에 관여하는 것으로 이해되고 있다(Van Veen & Carter, 2002). 예를 들어, 정상인을 대상으로 fMRI를 사용하여 오류처리를 연구한 Hester 등(2005)과 Kern 등(2004)은 정반응에 비해 오류 발생 시 전대상 피질의 활성화가 증가하는 것을 관찰하였다. 또한 Garavan 등(2002)은 오류 발생 후 전대상 피질과 배외측 전전두 피질이 동시에 활성화되는 것을 관찰하였는데, 특히 배외측 전전두 피질은 오류 시행 다음 정반응에서 활성화가 증가되었다. 이러한 결과는 오류처리 기능에 전대상 피질과 배외측 전전두 피질이 관여하지만, 각각 오류의 탐지와 정정이라는 분리된 오류처리 단계에 관여한다는 것을 시사한다.

## 2. 사건관련전위에서 관찰되는 오류 관련 부적 전위와 오류 정적 전위

사건관련전위를 사용하여 오류처리를 조사한 연구들은 오류와 관련하여 두 가지 요소, 즉 오류 관련 부적 전위(error-related negativity: ERN)와 오류 정적 전위(error positivity: Pe)가 관찰되는 것을 일관되게 보고하고 있으며, 각 요소들은 각각 다른 오류처리 단계를 반영한다고 이해되고 있다(Overbeek, Nieuwenhuis, & Ridderinkhof, 2005). 첫 번째 요소인 ERN은 오류 후 50~100ms 동안 전두-중앙 영역(fronto-central)에서 관찰되는 부적 정점으로 정의되며 오류의 탐지와 오류에 대한 개인의 반응을 반영하는 것으로 알려져 있다(Falkenstein et al., 2000; Gehring et al., 1990; Hester et al., 2005). 예를 들어 Hajcak 등(2003)은 정상인을 대상으로 한

연구에서 정반응보다 오반응에서 ERN 진폭이 유의하게 증가된 것을 관찰하였으며, 오류율이 높을수록 ERN 진폭이 감소하는 것을 보고하였다. Herrmann 등(2004)의 연구에서도 ERN 진폭과 오류율 간의 부적 상관이 관찰되었다. 또한 Gentsch, Ullsperger와 Ullsperger(2009)는 연구참여자에게 오류가 발생했을 때 정정반응을 하도록 요구하였는데, 그 결과 ERN 진폭이 클수록 오류 정정반응이 더 빠르게 나타나는 것이 관찰되었다. 이러한 결과들은 ERN이 오류탐지의 지표가 되는 요소이며, ERN의 진폭 증가가 오류를 인식하고 통제하려는 오류처리 과정을 반영하는 것을 시사한다.

ERN에 이어 발생하는 Pe는 오류 반응 후 200~400ms 동안 중앙-두정 영역(centro-parietal)에서 관찰되는 정적 정점으로 오류를 의식적으로 평가하고, 오류 후 반응의 수행을 조정하는 등 오류 정정 단계를 반영하는 것으로 알려져 있다(Falkenstein et al., 2000). Nieuwenhuis 등(2001)의 연구에서 오류를 의식적으로 지각했을 때 발생한 Pe 진폭이 오류를 지각하지 못했을 때 보다 더 크게 관찰되었다. 또한 Hajcak 등(2003)과 Nieuwenhuis 등(2001)은 오류 정정단계의 행동 지표로 알려진 오류 후 지연과 Pe 진폭간의 상관을 보고하였는데, 즉, Pe 진폭이 클수록 오류 후 지연이 더 길게 나타났다. ERN의 경우 참가자가 오류를 지각하지 못하더라도 관찰되며, 오류 후 지연과 관련이 없는 것으로 알려져 있는데(Endrass, Reuter, & Kathmann, 2007; Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom, Band, & Kok, 2001), 이러한 선행 연구들의 결과는 ERN과 Pe가 서로 분리된 오류처리 단계를 반영하는 지표이며, Pe가 오류의 의식적인 지각과 오류를 개선하기 위한 정정 단계와 관련되어 있음을 시사한다.

최근 들어 사건관련전위 요소의 근원지 분석(source localization) 및 뇌 영상 기법 등 다양한 방법을 통해 ERN과 Pe의 근원지를 밝히고자 하는 연구들이 보고되고 있다(Mathalon, Jorgensen, Roach, & Ford, 2009; O

'Connell et al., 2009; Stemmer, Segalowitz, Witzke, & Schonle, 2004). 예를 들어 Stemmer 등(2004)은 전대상 피질의 손상을 가진 환자들에서 ERN이 관찰되지 않음을 보고하였다. 또한 O'Connell 등(2009)은 근원지 분석을 통해 ERN의 근원지가 전대상 피질이라는 것을 보고하였으며, 사건관련전위와 fMRI를 사용한 Mathalon 등(2009)은 ERN 진폭과 전대상 피질의 활성화 수준이 서로 관련되어 있다는 것을 보고하였다. 근원지 분석을 통해 Pe의 근원지를 조사한 Van Veen과 Carter(2002)는 Pe의 근원지가 전대상 피질의 문측(rostral)임을 보고하였다. 또한 Herrmann 등(2004)은 근원지 분석을 통해 ERN의 근원지가 전대상 피질의 미측(caudal)이고, Pe의 근원지는 전대상 피질의 문측으로 Pe가 ERN에 비해 앞쪽(anterior)에서 발생한다고 보고하였다. 이러한 요소들은 오류처리 기능에 관여하는 ERN과 Pe가 전대상 피질에서 발생하며, 서로 분리된 요소라는 선행연구들의 결과를 지지한다.

### 3. 사건관련전위와 Go/NoGo 과제를 사용한 오류처리 기능 연구

오류처리 과정을 연구하는데 널리 사용되는 과제인 Go/NoGo 과제는 연구참여자의 반응이 요구되는 Go 조건과 반응이 요구되지 않는 NoGo 조건으로 구성된다(Kaiser et al., 2003). 지시 사항이 간단하여 오류처리의 측정에 사용되는 다른 과제, 즉 Simon 과제나 Stroop 과제보다 연구참여자들이 오류 발생의 여부를 알아차리기 쉽고 이로 말미암아 오류 후의 처리 과정을 조사하는데 적합하다고 알려져 있다(Wiersema et al., 2005).

Go/NoGo 과제를 사용하여 오류처리를 조사한 사건관련전위 연구들은 오반응에서 ERN과 Pe가 나타나는 것을 일관되게 보고하고 있다(Falkenstein

et al., 2000; Groom et al., 2010; Wiersema et al., 2005, 2009). 예를 들어 Groom 등(2010)은 Go/NoGo 과제와 사건관련전위를 사용하여 오류처리를 조사한 결과 오반응에서 ERN과 Pe의 진폭이 유의하게 증가하는 것을 관찰하였고, 이는 ERN과 Pe가 오류의 탐지와 정정 과정의 지표를 시사한다고 제안하였다.

#### 4. ADHD 환자군의 오류처리 결함

ADHD 환자들의 오류처리 기능을 조사한 연구들은 ADHD 환자들이 오류처리의 결함을 가지고 있는 것을 비교적 일관되게 보고한다(Groen et al., 2008; Herrmann et al., 2010; Liotti et al., 2005; Wiersema et al., 2009; Yeung et al., 2004). 즉, ADHD 환자들이 정상통제군보다 더 많은 오류를 범하고, 더 짧은 오류 후 지연을 보임이 비교적 일관되게 보고되고 있다(Groom, 2010; Rubia et al., 2005; Schachar et al., 2004; Wiersema et al., 2005). 예를 들어 Schachar 등(2004)은 ADHD 환자의 오류처리 결함을 조사한 연구에서 ADHD 환자가 정상인에 비해 더 짧은 반응시간과 더 높은 오류율을 보이는 동시에 더 짧은 오류 후 지연을 보인다고 보고하였다. 또한 Balogh와 Czobor(2014)가 ADHD 환자군의 오류처리에 대한 연구들을 메타 분석한 결과, ADHD 환자군의 연령 혹은 성별을 통제한 후에도 정상통제군에 비해 오류 후 지연이 유의하게 감소됨이 관찰되었다. ADHD 환자에서 비교적 일관되게 관찰되는 오류처리 결함은 환자가 과제에 대한 규칙을 정확하게 이해하고 있음에도 불구하고 자신이 수행 중 오류를 범했다는 사실을 의식적으로 인지하지 못하고 이로 말미암아 오류를 감소시킬 수 있는 전략을 조정하지 못하기 때문에 초래되는 것으로 이해되고 있다(O'Connell et al.,

2009).

ADHD 환자들을 대상으로 한 뇌 영상 연구들은 오류처리에 관여한다고 알려진 전전두엽 피질과, 배측 전대상 피질의 기능 이상이 관찰된다고 보고하고 있다(Bush et al., 2005; Overmeyer et al., 2001; O'Connell et al., 2009; Seidman et al., 2005; Sowell et al., 2003). 예를 들어 Overmeyer 등(2001)은 ADHD 환자의 전전두엽 피질과 전대상 피질의 부피가 정상인에 비해 감소된 것을 보고하였고, Rubia 등(2005)은 과제 수행 중 오류가 발생하였을 때 ADHD 환자의 전전두엽 피질과 전대상 피질의 활성화가 감소되는 것을 보고하였다. 또한 ADHD 증상 프로파일이 연령대에 따라 변화함에도 불구하고 인지 과제를 수행하는 동안 배측 전대상 피질의 활성화가 감소되는 것이 일관되게 관찰되는데(Bush et al., 1999), 이러한 결과는 ADHD 환자들이 오류처리 과정에 관여하는 뇌 구조들의 기능 이상을 가지고 있다는 것을 시사한다.

뇌 영상 기법을 사용하여 ADHD 환자의 오류처리 결함을 조사한 연구에서 관찰되는 비교적 일관된 결과와는 달리 사건관련전위를 사용한 선행 연구들은 환자의 연령, 복용 약물, 공병 여부 등에 따라 다소 비일관적인 결과를 보고한다. 예를 들어 아동 ADHD 환자의 오류처리 기능을 연구한 Liotti 등(2005)은 정상통제군에 비해 감소된 ERN과 Pe 진폭을 보고하였고, 청소년 ADHD 환자군을 대상으로 한 Yeung 등(2004)은 환자군이 ERN 진폭에서는 정상군과 유의한 차이를 보이지 않은 반면 Pe에서는 정상군에 비해 감소된 진폭을 보임을 보고하였다. 이러한 결과는 ERN 진폭이 연령에 따라 증가하는 것과 관련된 것으로 여겨진다(Herrmann et al., 2010). 성인 ADHD 환자군의 경우, 환자군이 통제군에 비해 ERN에서는 감소된 진폭을 보이지만 Pe 진폭에서는 유의한 차이가 관찰되지 않은(Chang et al., 2009) 반면, 또 다른 연구들에서는 이와 상반되는 결과, 즉, 성인 ADHD 환자군이 ERN 진폭

에서는 정상통제군과 유의한 수준을 보이지만 Pe에서는 감소된 진폭을 보임이 관찰되었다(O'Connell et al., 2009; Wiersema et al., 2009). 또 다른 연구는 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 ERN과 Pe 모두에서 유의하게 감소된 진폭을 보임을 보고하고 있다(Herrmann et al., 2010). 이러한 비일관적인 연구 결과는 환자의 연령, 증상의 양상, 증상의 심각도, 기능의 손상 정도 및 공병율과 같은 연구 대상과 관련된 변인과, 과제의 난이도와 같은 수행 과제의 변인, 자료 분석의 차이로 인하여 초래되는 것으로 이해되고 있다(Chang et al., 2009; Herrmann et al., 2010; O'Connell et al., 2009; Shiels & Hawk, 2010; Wiersema et al., 2009).

## 5. 성인 ADHD 성향군의 오류처리 결함

성인 ADHD 성향군을 대상으로 오류처리 기능을 조사한 연구들은 극히 제한되어 있지만, 성인 ADHD 성향군이 오류처리의 결함을 가지고 있음이 보고되고 있다(이상일 등, 2015; Herrmann et al., 2009). 예를 들어 이상일 등(2015)이 성인 ADHD 성향군의 오류처리 기능을 조사한 연구에서는 ADHD 성향군이 정상인에 비해 더 빠른 반응시간과 유의하게 짧은 오류 후 지연을 보였다. 또한 사건관련 전위를 사용하여 ADHD 증상과 오류처리 기능 간의 상관을 조사한 Herrmann 등(2009)은 ADHD의 부주의 증상이 심각할수록 Pe의 진폭이 감소되는 것을 관찰하였다. 이러한 결과는 ADHD 성향군이 오류처리 기능과 관련된 신경 생리적 이상을 가지고 있을 가능성을 시사한다.

### Ⅲ. 연구문제 및 연구 가설

본 연구는 성인 ADHD 성향군의 오류처리 기능을 Go/NoGo 과제와 사건관련전위를 사용하여 알아보고자 하였다. 연구문제와 가설은 다음과 같다.

연구 문제 1. 성인 ADHD 성향군과 정상통제군이 Go/NoGo 과제 수행에 차이를 보일 것인가?

가설 1-1. Go/NoGo 과제에서 성인 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 더 높은 오류율을 보일 것이다.

가설 1-2. 성인 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 더 짧은 오류 후 지연 (post-error slowing)을 보일 것이다.

연구문제 2. 성인 ADHD 성향군과 정상통제군이 사건관련전위에서 차이를 보일 것인가?

가설 2-1. 사건관련전위에서 성인 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 감소된 ERN 진폭을 보일 것이다.

가설 2-2. 사건관련전위에서 성인 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 감소된 Pe진폭을 보일 것이다.

가설 2-3. 정상통제군은 오류 후 지연과 Pe 진폭 사이에 정적 상관을 보이는 반면 성인 ADHD 성향군에서는 이러한 상관이 관찰되지 않을 것이다.

## IV. 연구방법

### 1. 연구 대상

웹 하드를 통하여 수도권 소재 대학에 재학 중인 남녀 대학생을 대상으로 Adult ADHD Self-Report Scale(ASRS; Adler et al., 2003)과 Conner's Adult ADHD Rating Scale의 한국판(CAARS-K; 김호영, 이주영, 조상수, 이임순, 김지혜, 2005)을 실시하였다. ASRS척도에서 ADHD 증상을 가장 잘 예측하는 6문항이 포함된 part A의 점수가 4점 이상, 총점 24점 이상(Kessler et al., 2005)을 받고, CARRS-K의 하위 척도 중 하나인 ADHD 지수의 T점수가 65점 이상인 경우를 성인 ADHD 성향군( $n=16$ )으로 선정하였다. ASRS의 part A에서 3점 이하인 동시에 총점이 6점 이하이고, CAARS-K점수가 하위 10% 이하에 해당하는 경우는 정상 통제군( $n=18$ )으로 선정하였다. CAARS의 개발자인 Conners 등(1999)은 북미 지역의 성인을 대상으로 실시한 연구 결과를 바탕으로 ADHD 지수의 T점수가 65점 이상일 경우 성인 ADHD 환자일 것으로 예측할 수 있다고 제안하였다. 또한 성인 ADHD 성향군을 대상으로 한 국내연구들에서도 CARRS-K의 ADHD 지수의 T점수 65점을 절단점으로 사용하였다(김주영, 곽호완, 장문선, 2010; 장경미, 김명선, 2015; 장문선, 곽호완; 2007). 따라서 본 연구는 선행 연구(김주영, 곽호완, 장문선, 2010; 장경미, 김명선, 2015; 장문선, 곽호완; 2007)에 근거하여 수도권 소재 대학생 400명의 설문 조사를 바탕으로 계산된 CAARS-K의 T점수 65점을 절단점으로 사용하였다. 수집된 자료들 중 ADHD 반응비일관성 지표가 8이상인 자료는 제외하였다.

연구 시점에서 연구 대상자들이 신체 질환, 신경과 질환, 정신 장애,

약물 및 알코올 중독의 병력을 가지고 있지 않다는 것을 확인하기 위해 구조화된 임상 면담(Structured Clinical Interview for DSM-IV-Non Patient: SCID-NP, First, Gibbon, Spitzer, & Williams, 1996)을 실시하였으며, 오른손잡이만을 연구 대상에 포함하였다. 연구 참여자들에게 연구 참여 전 연구의 목적 및 절차에 대해 안내한 후 연구 참여에 대한 동의를 얻었으며, 사례비를 지급하였다.

## 2. 평가 도구

### 2.1. 성인 ADHD 척도

#### 1) Adult ADHD Self-Report Scale-v1.1 (ASRS-v1.1) Symptom Checklist

ASRS는 DSM-IV-TR의 18개 ADHD 진단 척도를 0-4점의 평정 척도로 평가하는 자기 보고형 도구로, 총점은 0~72점이며, 성인 ADHD 정도를 평가하는데 널리 사용된다(Adler, Kessler, & Spencer, 2003). 문항 중 ADHD증상을 가장 잘 예측한다고 알려진 Part A의 6문항에서 4점 이상의 점수를 받을 경우 성인 ADHD일 가능성이 높으며, 증상과 관련된 손상 수준 및 어린 시절의 증상 확인을 추가적으로 할 경우 진단의 정확성을 높일 수 있다(Kessler et al., 2005). 총점 17~23점을 받을 경우 ADHD일 가능성이 있으며, 24점 이상을 받을 경우 ADHD일 가능성이 매우 높은 것을 의미한다(Kessler et al., 2005). 본 연구에서는 2013년에 Kim, Lee & Joung이 번안한 한국어판을 사용하였다.

표 1. Adult ADHD Self-Report Scale-v1.1 (ASRS-v1.1) Symptom Checklist 예시

	질 문 사 항	전혀 아니다	대체로 아니다	보통 이다	대체로 그렇다	매우 그렇다
1	어떤 일의 어려운 부분은 끝내 놓고, 그 일을 마무리를 짓지 못해 곤란을 겪은 적이 있습니까?	0	1	2	3	4
2	체계가 필요한 일을 해야 할 때 순서대로 진행하기 어려운 경우가 있습니까?	0	1	2	3	4
3	약속이나 해야 할 일을 잊어버려 곤란을 겪은 적이 있습니까?	0	1	2	3	4
4	골치 아픈 일은 피하거나 미루는 경우가 있습니까?	0	1	2	3	4
5	오래 앉아 있을 때, 손을 만지작거리거나 발을 꼬지락거리는 경우가 있습니까?	0	1	2	3	4
6	마치 모터가 달린 것처럼, 과도하게 혹은 멈출 수 없이 활동을 하는 경우가 있습니까?	0	1	2	3	4

## 2) Conners' Adult ADHD Rating Scale-한국판(CAARS-K)

CAARS-K는 성인 ADHD 정도를 0-3점의 평정 척도로 평정하는 자기 보고형 도구로써 66문항으로 구성되어 있고, 총점은 0~198점이다 (Conners, Erhardt, & Sparrow, 1999). 4개의 소척도(부주의-기억, 과잉행동-초조, 충동-정서적 불안정성, 자기개념), 임상군과 정상인을 가장 잘 변별하는 것으로 나타난 문항들로 구성된 1개의 ADHD 지수, 그리고 DSM-IV 증상척도 2가지인 부주의 증상과 과잉활동 및 충동성 증상 등의 총 7개 하위 척도로 구성되어 있다(Conners et al., 1999). 본 연구에서는 김호영 등이 2005년에 번안한 한국판을 사용하였다.

표 2. Conners' Adult ADHD Rating Scale-한국판(CAARS-K) 예시

소척도	질문사항
부주의-기억	나는 조직적이지 못하고 정리를 잘 못한다.
	나는 기억해야 할 것들을 잊어버린다.
과잉행동-초조	나는 가만히 있어야 할 때조차도 끊임없이 움직인다.
	나는 가만히 앉아 있을 때조차도 속으로 초조함을 느낀다.
충동-정서적 불안정성	나는 어떤 이야기를 무심결에 불쑥 해버린다.
	나의 기분은 예측하기 힘들다.
자기개념	나는 나 자신에 대한 확신이 없다.
	나는 과거 실패들 때문에 내 자신을 믿기 어렵다.
ADHD 지수	나는 모터가 달린 것처럼 항상 무언가를 하고 있다.
	나는 다른 사람의 활동에 끼어들거나 방해한다.
DSM-IV 증상척도 (부주의)	나는 일을 하는데 필요한 물건들을 잃어버리곤 한다.
	나는 주변에서 어떤 일들이 일어나고 있을 때 쉽게 산만해진다.
DSM-IV 증상척도 (과잉행동 및 충동성)	나는 자리에 앉아 있어야만 할 때에도 자리를 뜬다.
	나는 줄을 서거나 차례를 기다리는 것이 어렵다.

## 2.2. 임상 척도

1) DSM-IV 축 I 장애를 위한 구조화된 임상 면담(Structured Clinical Interview for DSM-IV-No Patient: SCID-NP)

SCID-NP는 DSM-IV 진단 기준에 근거하여 축 I 장애를 진단하기 위한 면담도구로서(First et al., 1996), 검사자가 증상의 존재 여부에 대하여 질문하고, 피검자의 응답 여부에 따라서 다음 장애군에 대한 질문으로 넘어가는 진단결정분기도(decision making tree)를 사용하는 도구이다. 각 문항 당 1(없음 혹은 해당 안 됨), 2(역치 미만), 3(역치 또는 해당됨)으로

평정한다. 면담자간 신뢰도는 .70이며, 본 연구에서는 한오수 등(2000)이 번안한 것을 사용하였다.

## 2) DSM-IV 축 II 장애를 위한 구조화된 임상 면담(Structured Clinical Interview for DSM-IV personality: SCID-II)

SCID-II는 DSM-IV 진단 기준에 근거하여 축 II 장애를 진단하기 위한 반구조화된 면담도구로서(First et al., 1997), 검사자가 각 인격 장애의 증상 여부를 질문하고, 피검자의 응답 여부에 따라서 다음 장애군으로 넘어간다. 각 문항 당 1(없음 혹은 해당 안 됨), 2(역치 미만), 3(역치 또는 해당됨)으로 평정한다. 본 연구에서는 김철권(2005)이 번안한 것을 사용하였다.

## 2.3. 지능검사

### 1) 한국형 웨슬러 성인지능검사(K-WAIS) 단축형

K-WAIS(염태호, 박영숙, 오경자, 김정규, 이영호, 1992)의 소검사 중 차례맞추기, 어휘, 토막짜기, 산수가 포함된 단축형 지능검사를 실시하여 지능지수를 추정하였다(Silverstein, 1989). 추정된 지능지수가 80미만일 경우 연구 대상에서 제외하였다.

### 3. 실험 절차

#### 3.1 Go/NoGo 과제

오류처리는 Go/NoGo 과제를 사용하여 측정하였다. Go/NoGo 과제는 Go 조건과 NoGo 조건으로 구성되며, Go 조건에서는 버튼을 눌러 반응하고 NoGo 조건에서는 버튼을 누르지 않는 것이 요구되었다. Go 자극 80%, NoGo 자극 20%의 비율로 자극을 제시하였으며, 총 900 시행을 세 블록으로 나누어 실시하였다. 각 조건은 한 블록 내에서 무작위로 제시하였다. 연구 대상자에게 초록색 'K'와 노란색 'X'는 Go 자극으로, 노란색 'K'와 초록색 'X'를 NoGo 자극으로 제시하였다. 과제의 난이도를 조절하여 분석에 충분한 오류수를 획득하기 위해 Go 자극에 해당하는 초록색 'K'와 노란색 'X'에 각각 반응키를 할당하였으며, 다음 블록으로 넘어갈 때 반응키를 이전 블록과 반대로 할당하였다. 각 블록마다 실험 참가자에게 가능한 빠르고 정확하게 반응키를 눌러줄 것을 요구하였다.

본 연구에 사용할 Go/NoGo 과제의 자극은 E-PRIME 2(Psychology Software Tools, Inc) 프로그램을 사용하여 제시하였다. 자극 제시 전 +모양의 고정점이 800ms 동안 나타난 후 자극이 130ms 동안 제시되었다. 자극 제시 후 검은 화면이 500ms 동안 제시되었다. 본 시행에 앞서 연습 시행을 블록 당 각각 20씩 진행하였다.



그림 1. Go/NoGo 과제의 두 조건

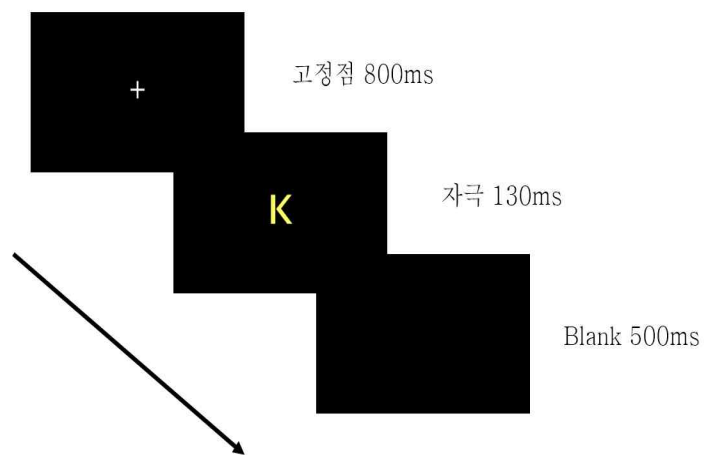


그림 2. Go/NoGo 과제의 자극 제시 순서

### 3.2 사건관련전위의 측정

뇌파는 절연과 방음 시설이 갖추어진 실험실에서 64 채널의 Geodesic Sensor Net를 사용하여 측정하였다. 뇌파 측정 시 기준위치(reference)는 Cz였으며, 각 채널의 impedance는 50K $\Omega$  이하를 유지하였다(Tucker, 1993). 뇌파 측정 시 0.1~400Hz bandpass로 연속 측정하였으며, 표본율(sampling rate)은 500Hz이었다. 측정된 뇌파는 0.3~30Hz bandpass로 digital filtering하고, 분석 시 재-기준점(re-reference)은 전체 전극의 평균인 average reference이었다. 연속적으로 측정된 뇌파를 600ms(반응 전 100ms부터 반응 후 500ms까지)의 epoch으로 구분하였다. 또한 눈 깜박임 등의 artifact를 제거하기 위하여 눈 깜박임을 민감하게 탐지하기 위한 전극(eye channels: 1번, 5번, 10번, 17번)들에서 측정된 뇌파가  $\pm 70\mu\text{V}$ 가 넘을 경우, 그 시행을 분석에서 제외하였다. 오류 시행에서의 뇌파의 평균파형(averaged waveform)을 계산하여 산출하였다.

## 4. 자료 분석

### 4.1 인구통계학적 특성

ADHD 성향군과 정상통제군의 인구통계학적 변인, ASRS 및 CAARS 점수는 독립표본  $t$ -검정 (independent sample  $t$ -test)를 사용하여 분석하였다.

### 4.2 행동 자료

Go/NoGo 과제 분석에는 ADHD 성향군과 정상통제군의 오류율, 반응 시간과 오류 후 지연(post-error slowing)을 비교하였다. ADHD 성향군과 정상통제군의 반응 시간, 오류율, 오류 관련 시행(오류 직전 반응, 오류 직후 반응)의 반응 시간을 혼합설계 변량분석(ANOVA mixed design)으로 분석하였다. 이 때 피험자내 요인은 각 행동 자료의 조건이었고, 피험자간 요인은 집단(ADHD 성향군과 정상통제군)이었다. 각각의 측정치들의 분산차로 인하여 구형성 가정이 위배될 경우 Greenhouse-Geisser correction을 적용하였다. 오류 후 지연의 분석에는 독립표본  $t$ 검정을 사용했으며, 오류 후 지연은 오류를 기준으로 오류 직전 시행의 반응 시간과 오류 직후시행의 반응 시간의 차로 정의하였다.

### 4.3 사건관련전위

연구대상자들의 전체 평균 사건관련전위(grand-average ERPs)와 각 연구대상자의 사건관련전위에 근거하여 분석할 사건관련전위 요소와 시간 영역(time window)을 설정하였다. ERN은 오류 후 50~150ms에서 나타나는 부적 정점(peak), Pe는 오류 후 150~400ms에서 나타나는 정적 정점으로 정의하였다.

분석에 포함하는 전극 부위는 전두영역(F3, Fz, F4)과 전두-중앙 영역(FC3, FCz, FC4), 중앙영역(C3, Cz, C4) 및 두정영역(P3, Pz, P4)이다. ERN과 Pe의 진폭 및 잠재기를 각각 혼합설계 변량분석(ANOVA mixed design)으로 분석하였고, 피험자내 요인은 전극 위치였고, 피험자간 요인은 집단(ADHD 성향군과 정상통제군)이었다. 각각의 측정치들의 분산차로 인하여 구형성 가정이 위배될 경우 Greenhouse-Geisser correction을 적용하였다. Pe 진폭과 오류 후 지연 간의 관련성은 Pearson 상관분석을 사용하여 분석하였다. 분석에 포함된 채널이 그림3에 검정색 원으로 표시되어 있다.



## V. 연구 결과

### 1. 인구 통계학적 특성

정상통제군과 ADHD 성향군의 인구통계학적 특성이 표 3에 기술되어 있다. 정상통제군과 ADHD 성향군은 연령,  $t(25.54) = .93$ , *ns*, 교육연한,  $t(29.99) = .63$ , *ns*, 및 지능,  $t(32) = .78$ , *ns*, 에서 유의한 차이가 없었다. 그러나 ADHD 증상을 측정한 척도들에서는 집단 간 유의한 차이가 나타났다. 즉 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 더 높은 ASRS 총점,  $t(26.69) = -19.07$ ,  $p < .001$ , 95% CI[-40.43, -32.57], 과 CAARS의 ADHD 지수 점수,  $t(32) = -25.47$ ,  $p < .001$ , 95% CI[-20.42, -17.39]를 보였다.

표 3. 정상통제군과 ADHD 성향군의 인구통계학적 특성

	정상통제군 (n=18)	ADHD 성향군 (n=16)	<i>t</i>	95% CI	
	평균 (표준편차)	평균 (표준편차)		하한	상한
연령(년)	22.17 (2.43)	21.56 (1.21)	.93	-.73	1.94
교육연한(년)	14.78 (1.21)	15.00 (0.82)	.53	-.94	.50
지능수준	110.33 (10.64)	107.56 (10.00)	.78	-4.47	10.01
ASRS 총점	12.00 (4.51)	48.50 (6.37)	-19.07***	-40.43	-32.57
CAARS-K ADHD지수	5.72 (2.14)	24.63 (2.19)	-25.47***	-20.42	-17.39

ASRS: Adult ADHD Self Rating Scale-v1.1; CAARS-K: Conners' Adult ADHD Rating Scale-한국판

\*\*\* $p < .001$ .

## 2. 행동 자료 분석

정상통제군과 ADHD 성향군의 Go/NoGo 과제에서의 평균 오류율과 반응시간이 표 4에 기술되어 있고 통계분석의 결과가 표 5와 6에 제시되어 있다. 전체 반응 오류율의 경우 정상통제군과 ADHD 성향군 사이에 유의한 차이가 관찰되었다,  $F(1,32)=2.23$ ,  $p \leq .01$ ,  $\eta_p^2=.18$ . 즉, ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 높은 반응 오류율을 나타냈다. 이에 덧붙여 자극 조건에서 유의한 주효과가 관찰되었는데,  $F(1.14,36.89)=108.28$ ,  $p \leq .001$ ,  $\eta_p^2=.77$ , 즉, Go조건에 비해 NoGo조건에서 더 높은 반응 오류율을 나타냈다. 반응 시간의 경우 집단 간 유의한 차이가 관찰되지 않았지만,  $F(1.32)=2.23$ ,  $ns$ , Go조건에서의 반응시간과 NoGo조건에서 실수로 반응한 오경보 오류 반응시간 사이에 유의한 효과가 관찰되었다  $F(1.06,33.76)=210.24$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2=.87$ . 즉 Go조건에서의 반응 시간보다 오경보 오류의 반응시간이 유의하게 짧았다.

오류의 직전시행과 직후시행의 반응시간, 그리고 오류 후 지연을 측정한 결과가 표 7에 제시되어 있다. 분석 결과 오류 직전시행과 오류 직후시행의 반응시간에서 유의한 차이가 관찰되었다,  $F(1,32)=6.50$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2=.17$ . 즉 오류 직전 시행보다 오류 직후 시행이 유의하게 더 긴 반응시간을 보였다. 오류 직전시행과 오류 직후시행의 반응시간과 집단 간의 상호작용이 관찰되었다,  $F(1,32)=9.05$ ,  $p \leq .01$ ,  $\eta_p^2=.12$ . 즉, 정상통제군은 오류 직전 시행보다 오류 직후 시행의 반응시간이 더 길어진 반면, ADHD 성향군은 오류 직전 시행보다 오류 직후 시행의 반응시간이 더 짧아지는 양상을 보였다. 오류 직전 시행과 직후 시행의 반응시간에서는 집단 간 차이가 관찰되지 않았다,  $F(1.32)=66$ ,  $ns$ . 정상통제군과 ADHD 성향군의 오류 후

지연 분석 결과(표9) 집단 간 유의한 차이가 관찰되었다,  $t(32) = 3.39$ ,  $p < .01$ , 95% CI[11.05, 44.29]. 즉, 정상통제군이 ADHD 성향군에 비해 유의하게 긴 지연을 나타냈다.

표 4. Go/NoGo 과제에서의 평균 반응 오류율과 반응 시간

	정상통제군 ( $n=18$ )		ADHD 성향군 ( $n=16$ )	
	Go 조건	NoGo 조건	Go 조건	NoGo 조건
반응 오류율 (%)	6.72 (3.68)	32.50 (12.73)	10.81 (7.20)	43.25 (16.95)
반응 시간 (ms)	345.97 (37.15)		349.04 (25.72)	
오경보 오류 시간 (ms)		138.04 (60.55)		157.64 (54.75)

주. 오경보 오류 시간: NoGo조건에서 실수로 버튼을 눌러 반응한 경우의 반응시간  
( ) 표준편차

표 5. 반응 오류율의 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	$\eta^2$	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	6.78*	.18	.01
오차	32	(150.37)		
<u>집단내</u>				
조건	1.14	108.28***	.77	.00
조건x집단	1.14	1.71	.05	.20
오차	36.89	(127.51)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\* $p < .05$ . \*\*\* $p < .001$ .

표 6. 반응 시간의 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	$\eta_p^2$	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	2.23	.07	.15
오차	32	(1354.43)		
<u>집단내</u>				
조건	1.06	210.24***	.87	.00
조건x집단	1.06	.33	.01	.58
오차	33.76	(3387.81)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\*\*\* $p < .001$ .

표 7. 오류 전과 후 시행에서의 반응 시간

		정상통제군 ( <i>n</i> =18)	ADHD 성향군 ( <i>n</i> =16)
반응시간 (ms)	오류 전	355.38 (34.85)	379.49 (42.55)
	오류 후	379.64 (35.45)	377.49 (51.93)

( ) 표준편차

표 8. 오류 전과 후 시행에서의 반응 시간 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	<sup>2</sup>	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	.66	.02	.42
오차	32	(3102.40)		
<u>집단내</u>				
조건	1	6.50*	.17	.02
조건x집단	1	9.05**	.22	.01
오차	32	(323.08)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\* $p < .05$ . \*\* $p \leq .01$ .

표 9. 정상통제군과 ADHD 성향군이 Go/NoGo 과제에서 보인 오류 후 지연 시간

	정상통제군 ( <i>n</i> =18)	ADHD 성향군 ( <i>n</i> =16)	<i>t</i>	95% CI	
	평균 (표준편차)	평균 (표준편차)		하한	상한
오류 후 지연	27.23 (17.55)	-.45 (29.22)	3.39**	11.05	44.29

\*\**p*<.01.

### 3. 사건관련전위 분석

그림 4는 오반응 후 정상통제군과 ADHD 성향군에서 관찰된 사건 관련전위를 전두 영역(Fz), 전두중앙 영역(FCz), 중앙 영역(Cz)과 두정 영역(Pz)에서 전체 평균(grand averaged ERPs)한 것이다. 그림 5는 오반응 후 관찰된 ERN과 Pe의 전체 전극부위(64채널)에서의 진폭 분포(topographical distribution)를 보여준다. ERN의 최대 진폭은 정상통제군과 ADHD 성향군 모두 Cz에서 관찰 되었으나, ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 낮은 진폭을 보임을 알 수 있다. Pe의 최대진폭은 정상통제군의 경우 Cz에서 관찰되었으나 ADHD 성향군의 경우 FCz영역에서 관찰되었다.

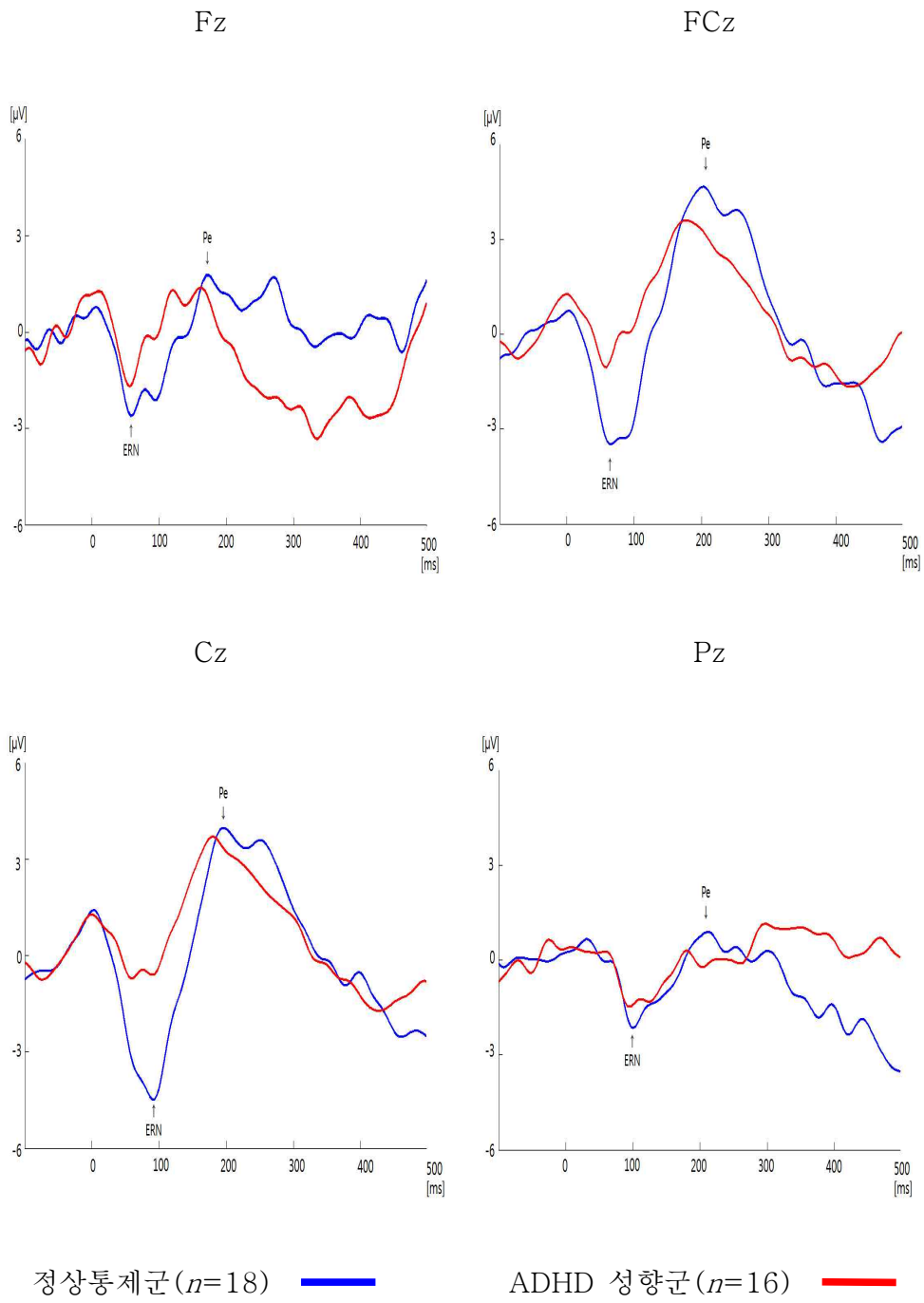


그림 4. Go/NoGo 과제에서 관찰된 정상통제군과 ADHD 성향군의 전체 평균 사건관련전위

정상통제군 ( $n=18$ )

ADHD 성향군 ( $n=16$ )

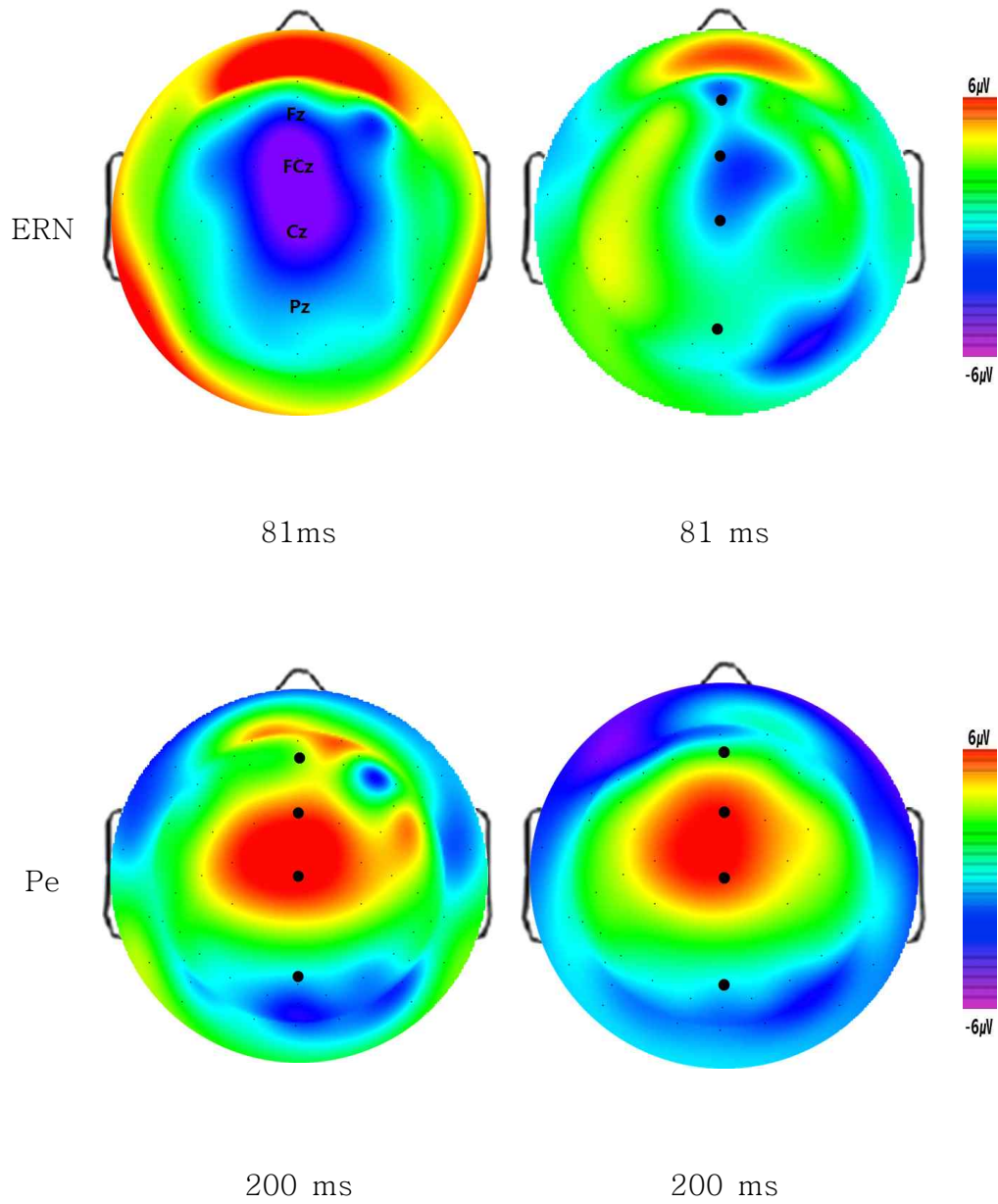


그림 5. Go/NoGo 과제에서 가장 큰 진폭의 ERN과 Pe가 관찰된 시간대의 전체 64채널 사건관련전위 분포

### 3.1 ERN

정상통제군과 ADHD 성향군의 평균 ERN 진폭과 잠재기, 진폭 및 잠재기의 변량 분석 결과가 각각 표 10, 11과 12에 제시되어있다. 반응시간이 표 4에 기술되어 있고 통계분석의 결과가 표 5와 6에 제시되어 있다. ERN 진폭의 분석 결과, 집단 간 유의한 차이가 관찰되었다. 즉, ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 작은 ERN 진폭을 나타냈다,  $F(1,32)=6.36$ ,  $p<.01$ ,  $\eta^2=.16$ . 전극 위치에 따른 진폭의 차이는 관찰되지 않았으며,  $F(4.29,137.18)=1.35$ ,  $ns$ , 전극위치와 집단 간의 상호작용은 관찰되지 않았다,  $F(4.29,137.18)=1.68$ ,  $ns$ .

ERN 잠재기의 분석결과, 전극 위치에서 유의한 차이가 관찰되었다,  $F(3.81,121.81)=4.86$ ,  $p\leq.001$ ,  $\eta_p^2=.13$ . 즉 Fz에서 ERN이 가장 빠르게 나타났으며(63.82ms), Pz에서 가장 느리게 나타났다(89.26ms). 그러나 집단 간 유의한 차이는 관찰되지 않았으며,  $F(1,32)=.52$ ,  $ns$ , 전극위치와 집단 간의 상호작용은 관찰되지 않았다,  $F(13.81,121.81)=1.35$ ,  $ns$ .

표 10. Go/NoGo 과제에서 정상통제집단과 ADHD 성향군이 보인 평균 ERN 진폭과 잠재기

전극 부위	정상통제집단 (n=18)		ADHD 성향군 (n=16)	
	진폭 ( $\mu V$ )	잠재기 (ms)	진폭 ( $\mu V$ )	잠재기 (ms)
F3(12)	-2.27 (2.08)	76.00 (28.80)	-1.41 (2.46)	57.88 (25.37)
Fz(6)	-2.35 (2.08)	71.89 (29.40)	-1.75 (2.45)	57.38 (19.11)
F4(60)	-3.47 (5.50)	69.39 (28.41)	-1.56 (2.53)	58.25 (23.02)
FC3(15)	-2.78 (2.43)	69.67 (29.65)	-.81 (2.07)	62.38 (24.23)
FCz(4)	-4.34 (3.38)	76.11 (24.22)	-1.03 (4.58)	79.88 (32.17)
FC4(53)	-2.11 (2.32)	71.61 (29.22)	-1.03 (2.46)	65.00 (19.29)
C3(20)	-2.26 (1.69)	78.83 (27.08)	-.93 (2.24)	67.63 (34.32)
Cz(65)	-4.59 (3.43)	71.56 (26.69)	-1.20 (3.74)	84.87 (29.27)
C4(50)	-2.20 (2.11)	78.78 (34.22)	-1.17 (1.90)	71.50 (27.64)
P3(28)	-2.29 (1.72)	83.78 (23.69)	-1.61 (2.05)	87.50 (30.94)
Pz(34)	-2.75 (1.91)	87.78 (29.11)	-2.07 (1.90)	90.75 (28.70)
P4(42)	-2.45 (1.64)	83.56 (29.83)	-1.62 (1.80)	86.38 (26.17)

( ) 표준편차

표 11. ERN 진폭의 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	$\eta^2$	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	6.36**	.16	.01
오차	32	(35.58)		
<u>집단내</u>				
전극	4.29	1.35	.46	.25
전극x집단	4.29	1.68	.63	.15
오차	137.18	(12.54)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\*\* $p \leq .01$ .

표 12. ERN 잠재기의 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	$\eta_p^2$	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	.52	.02	.48
오차	32	(3314.23)		
<u>집단내</u>				
전극	3.81	4.86***	.13	.00
전극x집단	3.81	1.35	.04	.26
오차	121.81	(1571.34)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\*\*\* $p \leq .01$ .

### 3.2 Pe

정상통제군과 ADHD 성향군의 평균 Pe 진폭과 잠재기, 진폭 및 잠재기의 변량 분석 결과가 각각 표 13, 14과 15에 제시되어있다. Pe 진폭의 분석 결과, 집단 간의 유의한 차이가 관찰되지 않았으나,  $F(1,32)=.19$ ,  $ns$ , 전극 위치에서 유의한 차이가 관찰되었다,  $F(4.68,149.71)=11.42$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.26$ . 즉, FCz에서 가장 큰 진폭( $5.02\mu V$ )을 보인 반면 Pz에서 가장 작은 진폭( $1.15\mu V$ )을 보였다. 전극 위치와 집단 간의 상호작용은 관찰되지 않았다,  $F(4.68,149.71)=.77$ ,  $ns$ .

Pe의 잠재기를 분석한 결과 집단 간의 유의한 차이가 관찰되었다,  $F(1,32)=11.39$ ,  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=.26$ . 즉 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 더 짧은 잠재기를 보였다. 또한 전극 위치에서 유의한 효과가 관찰되었다,  $F(4.66,148.98)=11.06$ ,  $p<.001$ ,  $\eta_p^2=.26$ . 즉 Fz에서 가장 짧은 잠재기( $168.47ms$ )를 보인 반면 P4에서 가장 긴 잠재기( $211.82ms$ )를 보였다. 그러나 채널과 집단 간의 상호작용은 관찰되지 않았다,  $F(4.66,148.98)=1.84$ ,  $ns$ .

표 13. Go/NoGo 과제에서 정상통제군과 ADHD 성향군이 보인 평균 Pe 진폭과 잠재기

전극 부위	정상통제군 (n=18)		ADHD 성향군 (n=16)	
	진폭 ( $\mu V$ )	잠재기 (ms)	진폭 ( $\mu V$ )	잠재기 (ms)
F3(12)	1.73 (3.34)	186.33 (37.21)	1.75 (2.12)	159.63 (35.17)
Fz(6)	2.01 (3.52)	179.56 (35.89)	1.55 (1.90)	157.38 (28.60)
F4(60)	1.31 (4.70)	178.50 (36.83)	1.70 (2.14)	154.75 (27.70)
FC3(15)	2.57 (1.90)	179.78 (30.75)	3.24 (2.77)	171.13 (24.33)
FCz(4)	5.64 (3.47)	210.78 (42.63)	4.40 (3.16)	180.75 (27.71)
FC4(53)	2.99 (2.34)	177.78 (26.48)	2.81 (2.23)	176.50 (17.26)
C3(20)	2.56 (1.83)	180.89 (23.54)	3.03 (2.78)	180.38 (30.10)
Cz(65)	5.75 (2.89)	209.00 (39.75)	4.13 (3.09)	188.00 (30.65)
C4(50)	2.78 (2.01)	186.78 (26.62)	2.68 (2.62)	179.63 (34.87)
P3(28)	1.92 (1.91)	231.33 (34.11)	1.73 (1.29)	190.50 (29.26)
Pz(34)	1.25 (2.59)	225.56 (3.06)	1.05 (1.07)	190.38 (34.80)
P4(42)	1.77 (1.87)	228.89 (45.15)	1.40 (1.42)	194.75 (49.01)

( ) 표준편차

표 14. Pe 진폭의 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	$\eta^2$	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	.19	.01	.66
오차	32	(28.60)		
<u>집단내</u>				
전극	4.68	11.42***	.26	.00
전극x집단	4.68	.77	.02	.57
오차	149.71	(11.55)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\*\*\* $p < .001$ .

표 15. Pe 잠재기의 변량분석

변산원	<i>df</i>	<i>F</i>	$\eta_p^2$	<i>p</i>
<u>집단간</u>				
집단	1	11.39***	.26	.00
오차	32	(333.11)		
<u>집단내</u>				
전극	4.66	11.06***	.26	.00
전극x집단	4.66	1.84	.05	.11
오차	148.98	(2022.81)		

주. 괄호안의 수치는 오차제곱평균(MSE)을 나타냄.

\*\*\* $p < .001$ .

#### 4. Pe 진폭과 오류 후 지연간의 상관관계

정상통제군과 ADHD 성향군에서 관찰된 Pe와 오류 후 지연간의 관련성을 알아보기 위해 각각 Pearson 상관분석을 실시하였다.

Fz, FCz, Cz, Pz에서 측정된 Pe 진폭과 오류 후 지연 간의 상관 분석을 한 결과, 정상통제군의 경우 FCz,  $r=.58$ ,  $p<.05$ , 와 Cz,  $r=.60$ ,  $p<.01$ , 에서 측정된 Pe 진폭과 오류 후 지연과의 유의한 정적 상관이 관찰되었으나 ADHD 성향군의 경우 Pe 진폭과 오류 후 지연간의 유의한 상관이 관찰되지 않았다. 즉, 정상통제군은 오류 후 반응 시간이 길어지는 현상이 FCZ와 Cz에서 측정된 Pe 진폭의 상승과 관련되어 있음을 보였으나 이러한 관련성이 ADHD 성향군에서는 관찰되지 않았다.

표 16. 정상통제군( $n=18$ )과 ADHD 성향군( $n=16$ )의 Pe진폭과 오류 후 지연 간의 상관분석

집단	전극 위치별 Pe 진폭			
	Fz	FCz	Cz	Pz
정상통제군	.15	.58*	.60**	.27
ADHD 성향군	-.42	-.07	-.02	.10

\* $p<.05$ . \*\* $p<.01$ .

## VI. 논의 및 제한점

### 1. 논의

본 연구는 성인 ADHD 성향군의 오류처리 결함을 Go/NoGo 과제와 사건관련전위를 사용하여 알아보고자 하였다. Go/NoGo 과제의 행동자료를 분석한 결과는 다음과 같다. Go/NoGo 과제의 전체 오류율과 조건별 오류율 그리고 오류 후 지연에서 집단 간 유의한 차이가 관찰되었다. 전체 오류율의 경우 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 높은 오류율을 보였다. 이러한 결과는 다양한 인지 과제에서 ADHD 환자가 정상통제군에 비해 더 많이 오류를 나타낸다는 선행 연구와 일치하는 결과이다(Gehring & Fencsik, 2001; Groom, 2010; Rubia et al., 2005; Schachar et al., 2004; Wiersema et al., 2005). Go/NoGo 과제의 조건별 오류율을 살펴본 결과, 두 집단 모두 Go조건보다 NoGo조건에서 더 높은 오류율을 보였다. 이는 Go 조건에 비해 반응 억제 등과 같은 인지적 노력이 더 필요한 NoGo조건에서 더 높은 오류율이 관찰된다는 선행연구의 결과와 일치한다(Amodio, Master, Yee, & Taylor, 2008). 이에 덧붙여 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 Go조건과 NoGo조건 모두에서 더 높은 오류율을 보였다. 선행 연구들은 ADHD 환자들이 NoGo 조건에서의 높은 오류율을 보이는 것이 반응 억제의 어려움을 반영하는 것으로 제안하는 한편(Woltering, Liu, Rokeach, & Tannock, 2013), Go 조건의 높은 오류율을 보이는 것은 과제를 적절히 수행하는데 불리한 인지적 전략을 선택한 것으로 설명하였다(Fisher, Aharon-Peretz, & Pratt, 2011). 예를 들어 Fisher 등(2011)은 ADHD 환자를 대상으로 Go/NoGo과제를 실시한 결과, ADHD 환자들이 반응 억제가 요구되지 않는 Go조건에서도 억제를 하는 것을 발견

하였다. 즉, ADHD 성향군이 반응억제 결함을 가지고 있으며, 과제의 요구에 따라 적절히 수행하는데 어려움을 겪고 있는 것으로 추측할 수 있다.

또한 선행 연구들은 ADHD 환자들이 과제에서 정상인에 비해 더 많은 오류를 범하는 것이 오류처리의 기능 결함에서 비롯됨을 제안하였다 (Sergeant, Geurts, Huijbregts, Scheres & Oosterlaan, 2003; Wiersema et al., 2009). 오류처리는 발생한 오류를 탐지하고 탐지된 오류를 바탕으로 과제에 요구에 맞게 행동을 조정하는 과정으로 (Hajcak et al., 2003; Hester et al., 2005; Shiels & Hawk, 2010), 오류 후 지연은 다음 시행의 오류를 감소시키기 위한 인지적 통제 양을 측정하는 지표로 널리 사용되고 있다 (Botvinick et al., 2001; Dutilh et al., 2012; Wiersema et al., 2005). 본 연구에서 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 감소된 오류 후 지연을 보이는 것이 관찰되었다. 특히 ADHD 성향군의 경우 오류 직후 시행에서 반응 시간이 더 빨라지는 경향이 관찰되었는데, 이는 ADHD 환자군이 오류 후 지연이 감소하는 것을 보고한 선행 연구와 일치하는 결과이다 (Groom, 2010; Rubia et al., 2005; Schachar et al., 2004; Wiersema et al., 2005). 특히 이러한 짧은 오류 후 지연은 ADHD 환자의 연령이나 성별에 관계 없이 일관적으로 관찰 되는 것으로 알려져 있다 (Balogh & Czobo, 2014; Groom, 2010; Rubia et al., 2005; Schachar et al., 2004; Wiersema et al., 2005). 예를 들어, 다양한 연령대의 ADHD 환자군을 대상으로 오류 후 지연을 조사한 연구들을 메타 분석한 연구에서는 ADHD 환자군이 보이는 짧은 오류 후 지연이 연령이나 성별에 관계없이 일관적으로 나타난다고 보고하였다 (Balogh와 Czobo, 2014). 또한 성인 ADHD 성향군에서도 정상통제군에 비해 짧은 오류 후 지연이 나타난다고 보고되고 있다 (이상일 등, 2015). 따라서 선행 연구의 결과에 비추어, 본 연구의 결과는 ADHD 환자군이 오류 후 다음 시행의 오류를 감소시키기

위한 인지적 통제의 결함을 가지고 있음을 시사한다.

두 집단 모두에서 Go조건에서 버튼을 눌러 반응한 반응시간에 비해 NoGo조건에서 실수로 버튼을 눌러 반응한 오경보 오류의 반응시간이 유의하게 빠른 것이 관찰되었다. 이는 본 연구에서 관찰된 오류가 빠른 반응을 요구하는 과제 특성 때문에 성급하게 반응하여 초래되는 실수라는 것을 의미한다(Ganushchack & Schiller, 2006; Reason, 1990). 즉 본 연구에서 관찰된 오류는 오류처리 과정을 조사하는 연구에서 초점을 두고 있는 오류 유형인 실수를 의미함을 시사한다.

사건관련전위 요소 중 첫 번째 요소인 ERN은 오류 처리과정 중 오류의 탐지를 반영하는 것으로 알려져 있다(Falkenstein et al., 2000; Gehring et al., 1990; Hester et al., 2005). 본 연구에서 정상통제군에 비해 ADHD 성향군에서 유의하게 감소된 ERN 진폭이 관찰되었다. 이는 ADHD 환자들이 정상통제군에 비해 감소된 ERN진폭을 보임을 보고한 대다수의 선행 연구들과 일치하는 결과이다(Groen et al., 2008; Liotti et al., 2005; McLoughlin et al., 2009; Samyn, Wiersema, Bijttebier, & Roeyer, 2014; van Meel, Heslenfeld, Oosterlaan, & Sergeant, 2007). 일부 선행 연구들은 성인 ADHD 집단에서 정상인과 유사한 수준의 ERN을 관찰하는 경우도 있으나(O'Connell et al., 2009; Wiersema et al., 2009), 이러한 비일관적인 결과는 과제의 난이도, 연구대상자의 약물 복용 여부로 말미암아 초래된 것으로 여겨진다(Chang et al., 2009; Herrmann et al., 2010; O'Connell et al., 2009; Shiels & Hawk, 2010; Wiersema et al., 2009). 본 연구에서는 사건관련전위 요소에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 최소화하기 위해 다른 과제들에 비해 규칙이 단순한 Go/NoGo 과제를 사용하였으며, 약물을 복용한 경험이 없는 성인 ADHD 성향군을 대상으로 하였다. Falkenstein 등(2000)은 정상통제군을 대상으로 사건관련전위를

사용한 연구에서 정반응보다 오반응에서 ERN 진폭이 유의하게 증가된 것을 관찰하였으며, 이에 근거하여 ERN이 오류 탐지 혹은 오류에 대한 개인의 반응 정도를 반영하는 것으로 이해되고 있다(Falkenstein et al., 2000; Gehring et al., 1990; Hester et al., 2005). 즉, 본 연구 결과는 성인 ADHD 성향군이 오류 처리 과정 중 특히 오류 탐지의 어려움을 시사한다. fMRI와 같은 뇌 영상 기법 및 ERP 국소화(source localization)기법 등을 사용한 선행 연구들은 전대상피질이 오류 처리기능에 관여한다고 보고하고 있다(Hester et al., 2005; Kern et al., 2004; Mathalon et al., 2009; O'Connell et al., 2009; Van Veen & Carter, 2002). 특히 ERN의 경우 미측 전대상 피질에서 발생한다고 알려져 있다(Herrmann et al., 2004). 이러한 선행 연구들의 결과를 고려하면, ADHD 성향군이 오류를 탐지하는데 결함을 가지고 있으며, 그 결함이 미측 전대상피질의 기능적인 이상 때문인 것으로 추측할 수 있다.

오류처리과정 중 두 번째 사건관련전위 요소인 Pe는 오류 이후 다음 시행의 오류를 줄이기 위한 오류 정정 과정을 반영한다고 알려져 있다(Falkenstein et al., 2000; Nieuwenhuis et al., 2001). 본 연구에서 정상통제군과 ADHD 성향군 사이에 유의한 Pe진폭 차이가 관찰되지 않았다. 이는 정상통제군에 비해 ADHD 환자들에서 유의하게 감소된 Pe가 관찰된다고 보고한 선행 연구와는 일치하지 않는 결과이다(Herrmann et al., 2010; O'Connell et al., 2009; Wierema et al., 2009). 예를 들어, Wiersema 등(2009)은 성인 ADHD 환자를 대상으로 Go/NoGo 과제를 사용한 사건관련전위 연구에서 정상통제군에 비해 ADHD 환자군에서 유의하게 감소된 Pe 진폭을 관찰하였으며, 이를 바탕으로 ADHD 집단이 오류에 대한 의식적 평가과정에 결함을 가지고 있다고 설명하였다. 반면에 성인 ADHD 환자군과 정상통제군이 Pe진폭에서 유의한 차이를 관찰하지 못한

연구들도 보고되고 있다(Chang et al., 2009; MaLoughin et al., 2009). McLoughin 등(2009)은 성인 ADHD 환자를 대상으로 플랭커 과제와 사건 관련전위를 사용한 연구에서 정상통제군과 ADHD 환자군의 사이에 유의한 Pe 진폭 차이가 없음을 관찰하였다. Chang 등(2009)은 성인 ADHD 집단이 보이는 오류 처리 결함에 영향을 미치는 인지기능을 더 구체적으로 알아보고자 사건관련전위와 집행기능의 상관을 측정하였다. 집행기능은 Behavioral Rating Inventory of Executive Function-Adult Version(BRIEF-A)으로 측정되었다. 그 결과, 사건관련전위 요소인 Pe에서는 집단 간에 유의한 진폭 차이가 관찰되지 않았으나, 오류 후 지연에서 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 비정상적으로 빠른 오류 후 지연을 보였으며, 이와 더불어 정상통제군에서는 BRIEF-A와 Pe 진폭과의 상관이 관찰된 반면 성인 ADHD 집단에서는 이러한 상관이 관찰되지 않았다. 이를 바탕으로 Chang 등(2009)은 ADHD 집단의 오류의 인지적 처리과정이 비정상적(atypical)이며, 오류처리 과정의 결함이 집행기능과 관련되어 있을 가능성을 제안하였다.

본 연구에서 오류 후 지연과 Pe 진폭의 상관을 분석한 결과, 정상통제군의 경우 FCz, Cz에서 관찰된 Pe진폭과 오류 후 지연간의 정적인 상관이 관찰되었으며, ADHD 성향군에서는 관찰되지 않았다. 이는 ADHD 환자를 대상으로 오류 후 지연과 Pe간의 관계를 조사한 선행연구와 일치하는 결과이다(Chang et al., 2009; Dutilh et al., 2012; Hajcak et al., 2003). Pe의 진폭은 오류 정정 단계를 반영한다고 알려져 있으나 오류 정정의 어떠한 측면을 반영하는지 구체적으로 알려져 있지 않다. Falkenstein(2004)와 Overbeek 등(2005)은 Pe가 오류에 대한 정서적 반응, 오류의 자각 그리고 오류 후 적응적 반응을 위한 전략과 관련되어 있을 가능성을 제시하였다. Pe 진폭과 다양한 행동지표 간의 관계를 조사한 선행 연구들은 오류 후 지연과 Pe 진폭간

의 상관을 일관적으로 보고하였다(Danielmeier, Eichele, Forstmann, Tittgemeyer, & Ullsperger, 2011; Dutilh et al., 2012; Hajcak et al., 2003). 오류 후 지연은 다음 시행의 오류를 감소시키기 위한 인지적 통제 양을 측정하는 지표로 특히 오류 후 지연이 길어질수록 오류 후 시행의 정확률이 증가하는 것으로 알려져 있어(Hajcak et al., 2003), 오류 후 지연이 성공적인 과제 수행과 관련이 있다고 여겨지고 있다. 이러한 선행연구 결과에 비추어 보았을 때 Pe의 진폭은 오류 후 적응적 반응을 위한 인지적 전략과 관련되는 것으로 보인다(Hajcak et al., 2003; Wiersema et al., 2005). 즉 본 연구에서 ADHD 성향군이 Pe진폭과 오류 후 지연 간의 상관을 보이지 않은 것은 ADHD 성향군이 성공적인 과제 수행을 위해 사용하는 전략이 정상통제군과 다르며, 비효율적일 가능성을 시사한다.

연구의 결과를 종합하면 Go/NoGo 과제에서 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 더 높은 오류율을 보였으며, 정상통제군에 비해서 유의하게 짧은 오류 후 지연을 보였다. 사건관련전위에서는 정상통제군에 비해 유의하게 감소된 ERN 진폭이 관찰되었으나, Pe에서는 집단 간 차이가 관찰되지 않았다. 또한 정상통제군은 오류 후 지연과 Pe 진폭간의 상관이 관찰되었으나 ADHD 성향군에서는 이러한 상관이 관찰되지 않았다. 이에 따라 본 연구의 결과는 성인 ADHD 성향군이 오류 처리과정의 결함을 가지고 있으며, 이러한 결함이 전대상피질과 같이 오류처리 기능에 관여한다고 알려진 신경 생리적 기제의 이상과 관련되어 있음을 시사한다. 또한 ADHD 성향군이 오류 후 정확률을 높이기 위한 적절한 인지적 전략을 사용하는데 어려움을 겪고 있으며, 오류처리 기능의 결함이 성인 ADHD의 특성 지표로 사용될 수 있음을 시사한다. 나아가 Pe가 오류 후 적응적 반응을 위한 인지적 전략을 반영하는 지표로 사용될 수 있음을 시사한다.

## 2. 제한점 및 후속 연구를 위한 제언

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 연구 참여자들의 수가 적기 때문에 연구 결과를 일반화하기에는 다소 제한이 있다. 둘째, 오류를 의식적으로 알아차리는지 여부가 오류처리 과정에 영향을 미친다는 주장이 제기되었다(Hester et al., 2005). 따라서 추후 연구에서는 오류를 의식적으로 알아차린 경우와 알아차리지 못한 경우를 분류해서 연구해볼 필요성이 있다. 예를 들어 Hester 등(2005)은 Go/NoGo 과제를 수행 하는 중 오류를 의식적으로 알아차렸을 때 추가로 버튼 눌러 알아차림 여부를 표시하는 Error Awareness Task를 제안하였다. 셋째, 본 연구에서 64채널의 고밀도 사건관련전위를 사용하여 진폭과 잠재기를 분석하였고 비교적 근원지가 잘 밝혀진 사건관련전위 요소를 분석 대상으로 하였으나, 사건관련전위의 낮은 공간해상도로 말미암아 본 연구에서 관찰된 ERN과 Pe의 근원지를 명확하게 밝히기 어렵다는 제한점이 있다. 따라서 근원지 국제화 기법이나 fMRI와 같은 뇌 영상 기법을 추가로 사용한다면 ADHD 환자들이 보이는 오류처리 결함에 관련된 대뇌 기제를 보다 명확하게 이해할 수 있을 것으로 여겨진다.

## 참 고 문 헌

- 김건우, 이증선, 박수빈, 홍진표, 김성윤, 유한익 (2009). 약물 복용력이 없는 주의력결핍 과잉행동장애 남아의 시각적 GO/NOGO 과제 수행결과 및 수행시의 사건관련전위. **소아청소년정신의학**, 20(2), 61-67.
- 김은영, 이승환 (2008). 에러관련 전위의 정신과적 적용: 증상의 심각도와 약물치료 반응을 중심으로. **정신약물학회지**, 19(1), 19-28
- 김주영, 곽호완, 장문선 (2010). 상담일반: 성인 ADHD 성향군의 우울, 불안과 수면의 질의 관계. **상담학연구**, 11(1), 75-89.
- 김철권 (2005). **DSM-IV의 제2축 인격장애를 평가하기 위한 구조화된 임상면담 SCID-II**. 하나의학사
- 김호영, 이주영, 조상수, 이임순, 김지혜 (2005). 한국판 Conners 성인 ADHD 평정척도의 신뢰도 및 타당도 연구: 대학생 표본을 중심으로. **한국심리학회지: 임상**, 24(1), 171-185.
- 염태호, 박영숙, 오경자, 김정규, 이영호 (1992). **K-WAIS 실시요강**. 서울: 한국 가이던스.
- 이상일, 변신철, 장문선, 곽호완 (2015). 성인 ADHD 성향군의 오류 후 행동 특성. **한국심리학회지: 인지 및 생물**, 27(3), 519-542.
- 장경미, 김명선. (2015). 주의력결핍/과잉행동 성향을 가진 대학생의 신경심리 기능에 관한 연구. **한국심리학회지: 건강**, 20(3), 665-685.
- 장문선, 곽호완. (2007). 성인 ADHD 성향집단의 하위군집 탐색. **한국심리학회지: 임상**, 26(4), 827-843.
- 한오수, 안준호, 송선희, 조맹제, 김장규, 배재남, 조성진, 정범수, 서동우, 함봉진, 이동우, 박종익, 홍진표 (2000). 한국어 판 구조화 임상면담도구 개발: 신뢰도 연구. **신경정신의학**, 39(2), 362-372.

- Adler, L. A., Kessler, R. C., & Spencer, T. (2003). *Adult ADHD Self-Report Scale-v1. 1 (ASRS-v1. 1) Symptom Checklist*. New York, NY: World Health Organization.
- Adler, L., Shaw, D., Sitt, D., Maya, E., & Morrill, M. I. (2009). Issues in the Diagnosis and Treatment of Adult ADHD by Primary Care Physicians. *Primary Psychiatry, 16*(5), 57–63.
- Albrecht, B., Brandeis, D., Uebel, H., Heinrich, H., Mueller, U. C., Hasselhorn, M., ... & Banaschewski, T. (2008). Action monitoring in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder, their nonaffected siblings, and normal control subjects: Evidence for an endophenotype. *Biological Psychiatry, 64*(7), 615–625.
- American Psychiatric Association. (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders(4th ed.)*. Washington, D. C.: American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders(5th ed.)*. Washington, D. C.: American Psychiatric Association.
- 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.
- Balogh, L., & Czobor, P. (2014). Post-Error Slowing in Patients With ADHD A Meta-Analysis. *Journal of Attention Disorders, 1*–13. doi: 10.1177/1087054714528043.

- Barkley, R. A., Murphy, K. R., & Fischer, M. (2008). *ADHD in Adults : What the Science Says*. New York, NY: Guilford.
- Biederman, J. (2005). Attention-deficit/hyperactivity disorder: a selective overview. *Biological Psychiatry*, *57*(11), 1215–1220.
- Biederman, J., Mick, E., & Faraone, S. V. (2000). Age-dependent decline of symptoms of attention deficit hyperactivity disorder: impact of remission definition and symptom type. *American Journal of Psychiatry*, *157*(5), 816–818.
- Bokura, H., Yamaguchi, S., & Kobayashi, S. (2001). Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task. *Clinical Neurophysiology*, *112*(12), 2224–2232.
- 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.
- Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, *402*(6758), 179–181.
- Bush, G., Frazier, J. A., Rauch, S. L., Seidman, L. J., Whalen, P. J., Jenike, M. A., ... & Biederman, J. (1999). Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the Counting Stroop. *Biological Psychiatry*, *45*(12), 1542–1552.
- Bush, G., Valera, E. M., & Seidman, L. J. (2005). Functional neuroimaging of attention-deficit/hyperactivity disorder: a review and suggested future directions. *Biological Psychiatry*,

57(11), 1273–1284.

- Castellanos, F. X., Margulies, D. S., Kelly, C., Uddin, L. Q., Ghaffari, M., Kirsch, A., ... & Milham, M. P. (2008). Cingulate–precuneus interactions: a new locus of dysfunction in adult attention–deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, *63*(3), 332–337.
- Chang, W. P., Davies, P. L., & Gavin, W. J. (2009). Error monitoring in college students with attention–deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Psychophysiology*, *23*(3), 113–125.
- Cocchi, L., Bramati, I. E., Zalesky, A., Furukawa, E., Fontenelle, L. F., Moll, J., ... & Mattos, P. (2012). Altered functional brain connectivity in a non–clinical sample of young adults with attention–deficit/hyperactivity disorder. *The Journal of Neuroscience*, *32*(49), 17753–17761.
- Conners, C. K., Erhardt, D., & Sparrow, E. (1999). *Conner's Adult ADHD Rating Scales: Technical Manual*. Toronto, Canada: Multi–Health Systems(MHS).
- Danielmeier, C., Eichele, T., Forstmann, B. U., Tittgemeyer, M., & Ullsperger, M. (2011). Posterior medial frontal cortex activity predicts post–error adaptations in task–related visual and motor areas. *The Journal of Neuroscience*, *31*(5), 1780–1789.
- Dehaene, S., Posner, M. I., & Tucker, D. M. (1994). Localization of a neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, *5*(5), 303–305.
- Drewe, E. A. (1975). Go–no go learning after frontal lobe lesions in

humans. *Cortex*, *11*(1), 8–16.

- Douglas, V. I. (1999). Cognitive control processes in attention deficit/hyperactivity disorder. *In Handbook of Disruptive Behavior Disorders* (pp. 105–138). New York, NY: Springer US.
- Dutilh, G., van Ravenzwaaij, D., Nieuwenhuis, S., van der Maas, H. L., Forstmann, B. U., & Wagenmakers, E. J. (2012). How to measure post-error slowing: a confound and a simple solution. *Journal of Mathematical Psychology*, *56*(3), 208–216.
- Endrass, T., Reuter, B., & Kathmann, N. (2007). ERP correlates of conscious error recognition: aware and unaware errors in an antisaccade task. *European Journal of Neuroscience*, *26*(6), 1714–1720.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143–149.
- Falkenstein, M. (2004). Errors, conflicts, and the brain. *Journal of Psychophysiology*, *18*(4), 153–163.
- 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.
- Faraone, S., Biederman, J., Spencer, T., Mick, E., Murray, K., Petty, C., Adamson, J., & Monuteaux, M. (2006). Diagnosing adult attention deficit hyperactivity disorder: are late onset and subthreshold diagnoses valid?. *American Journal of Psychiatry*,

163(10), 1720–1729. doi:10.1176/appi.ajp.163.10.1720

- Faraone, S. V., Biederman, J., Spencer, T., Wilens, T., Seidman, L. J., Mick, E., & Doyle, A. E. (2000). *Attention-deficit/hyperactivity disorder in adults: an overview. Biological Psychiatry, 48*(1), 9–20.
- First, M. B., Gibbon, M., Spitzer, R. L., Williams, J. B. W., & Benjamin, L. S. (1997). *SCID-II personality questionnaire*. Washington, DC: American Psychiatric Press.
- First, M. B., Spitzer, R. L., Gibbon, M., & Williams, J. B. W. (1996). *Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders—Research Version*. New York, NY: Biometrics Research Department, New York State Psychiatric Institute.
- Fisher, T., Aharon-Peretz, J., & Pratt, H. (2011). Disregulation of response inhibition in adult Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): An ERP study. *Clinical Neurophysiology, 122*(12), 2390–2399.
- Ganushchak, L. Y., & Schiller, N. O. (2006). Effect of time pressure on verbal self-monitoring: an ERP study. *Brain Research, 1125*(1), 104–115.
- Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A. P., & Stein, E. A. (2002). Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: inhibition, error detection, and correction. *Neuroimage, 17*(4), 1820–1829.
- Geburek, A. J., Rist, F., Gediga, G., Stroux, D., & Pedersen, A. (2013). Electrophysiological indices of error monitoring in

- juvenile and adult attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)—a meta-analytic appraisal. *International Journal of Psychophysiology*, 87(3), 349–362.
- Gehring, W. J., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1990). The error-related negativity: an event-related brain potential accompanying errors. *Psychophysiology*, 27, 34–44.
- Gehring, W. J., Coles, M. G., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1995). A brain potential manifestation of error-related processing. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 44, 261–272.
- Gehring, W. J., & Fencsik, D. E. (2001). Functions of the medial frontal cortex in the processing of conflict and errors. *The Journal of Neuroscience*, 21(23), 9430–9437.
- Gentsch, A., Ullsperger, P., & Ullsperger, M. (2009). Dissociable medial frontal negativities from a common monitoring system for self- and externally caused failure of goal achievement. *Neuroimage*, 47(4), 2023–2030.
- Groen, Y., Wijers, A. A., Mulder, L. J., Waggeveld, B., Minderaa, R. B., & Althaus, M. (2008). Error and feedback processing in children with ADHD and children with Autistic Spectrum Disorder: an EEG event-related potential study. *Clinical Neurophysiology*, 119(11), 2476–2493.
- Groom, M. J., Cahill, J. D., Bates, A. T., Jackson, G. M., Calton, T. G., Liddle, P. F., & Hollis, C. (2010). Electrophysiological indices of abnormal error-processing in adolescents with attention

- deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *51*(1), 66–76.
- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2003). To err is autonomic: Error-related brain potentials, ANS activity, and post-error compensatory behavior. *Psychophysiology*, *40*(6), 895–903.
- Harpin, V. A. (2005). The effect of ADHD on the life of an individual, their family, and community from preschool to adult life. *Archives of Disease in Childhood*, *90*(suppl 1), i2–i7.
- Herrmann, M. J., Mader, K., Schreppel, T., Jacob, C., Heine, M., Boreatti-Hümmer, A., ... & Fallgatter, A. J. (2010). Neural correlates of performance monitoring in adult patients with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *The World Journal of Biological Psychiatry*, *11*(2–2), 457–464.
- Herrmann, M. J., Römmler, J., Ehlis, A. C., Heidrich, A., & Fallgatter, A. J. (2004). Source localization (LORETA) of the error-related-negativity (ERN/Ne) and positivity (Pe). *Cognitive Brain Research*, *20*(2), 294–299.
- Herrmann, M. J., Saathoff, C., Schreppel, T. J., Ehlis, A. C., Scheuerpflug, P., Pauli, P., & Fallgatter, A. J. (2009). The effect of ADHD symptoms on performance monitoring in a non-clinical population. *Psychiatry Research*, *169*(2), 144–148.
- Hester, R., Foxe, J. J., Molholm, S., Shpaner, M., & Garavan, H. (2005). Neural mechanisms involved in error processing: a

- comparison of errors made with and without awareness. *Neuroimage*, *27*(3), 602–608.
- Hoffmann, S., & Falkenstein, M. (2010). Independent component analysis of erroneous and correct responses suggests online response control. *Human Brain Mapping*, *31*(9), 1305–1315.
- Johannes, S., Wieringa, B. M., Nager, W., Müller–Vahl, K. R., Dengler, R., & Munte, T. F. (2002). Excessive action monitoring in Tourette syndrome. *Journal of Neurology*, *249*(8), 961–966.
- Kaiser, S., Unger, J., Kiefer, M., Markela, J., Mundt, C., & Weisbrod, M. (2003). Executive control deficit in depression: event–related potentials in a Go/NoGo task. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, *122*(3), 169–184.
- Kaplan, R. F., & Stevens, M. C. (2002). A review of adult ADHD: a neuropsychological and neuroimaging perspective. *CNS Spectrums*, *7*(5), 355–362.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, *303*(5660), 1023–1026.
- Kessler, R. C., Adler, L., Ames, M., Demler, O., Faraone, S., Hiripi, E. V. A., ... & Walters, E. E. (2005). The World Health Organization Adult ADHD Self–Report Scale (ASRS): a short screening scale for use in the general population. *Psychological Medicine*, *35*(02), 245–256.
- Kessler, R. C., Adler, L., Barkley, R., Biederman, J., Conners, C. K.,

- Demler, O., Faraone, S. V., Greenhill, L. L., Howes, M. J., Secnik, K., Spencer, T., Ustun, T. B., Walters, E. E., & Zaslavsky, A. M. (2006). The prevalence and correlates of adult ADHD in the United States: results from the National Comorbidity Survey Replication. *The American Journal of Psychiatry*, *163*(4), 716–723. doi:10.1176/appi.ajp.163.4.716
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., & Hopfinger, J. B. (2000). Error processing and the rostral anterior cingulate: An event-related fMRI study. *Psychophysiology*, *37*(2), 216–223.
- Kim, J. H., Lee, E. H., & Joung, Y. S. (2013). The WHO Adult ADHD Self-Report Scale: reliability and validity of the Korean version. *Psychiatry Investigation*, *10*(1), 41–46.
- Laming, D. (1979). Choice reaction performance following an error. *Acta Psychologica*, *43*(3), 199–224.
- Liotti, M., Pliszka, S. R., Perez, R., Kothmann, D., & Woldorff, M. G. (2005). Abnormal brain activity related to performance monitoring and error detection in children with ADHD. *Cortex*, *41*(3), 377–388.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Massachusetts, MA: MIT press.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, *109*(2), 163–203. doi: 10.1037/0033-2909.109.2.163
- Makeig, S., Delorme, A., Westerfield, M., Jung, T. P., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T. J. (2004).

- Electroencephalographic brain dynamics following manually responded visual targets. *PLoS Biology*, 2(6), e176
- Mathalon, D. H., Fedor, M., Faustman, W. O., & Gray, M. (2002). Response-monitoring dysfunction in schizophrenia: an event-related brain potential study. *Journal of Abnormal Psychology*, 111(1), 22–41.
- Mathalon, D. H., Jorgensen, K. W., Roach, B. J., & Ford, J. M. (2009). Error detection failures in schizophrenia: ERPs and fMRI. *International Journal of Psychophysiology*, 73(2), 109–117.
- Mattingley, J. B., Rich, A. N., Yelland, G., & Bradshaw, J. L. (2001). Unconscious priming eliminates automatic binding of colour and alphanumeric form in synaesthesia. *Nature*, 410(6828), 580–582.
- McLoughlin, G., Albrecht, B., Banaschewski, T., Rothenberger, A., Brandeis, D., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2009). Performance monitoring is altered in adult ADHD: a familial event-related potential investigation. *Neuropsychologia*, 47(14), 3134–3142
- Millstein, R. B., Wilens, T. E., Biederman, J., & Spencer, T. J. (1997). Presenting ADHD symptoms and subtypes in clinically referred adults with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 2(3), 159–166.
- Modirrousta, M., & Fellows, L. K. (2008). Dorsal medial prefrontal cortex plays a necessary role in rapid error prediction in humans. *The Journal of Neuroscience*, 28(51), 14000–14005.

- Murphy, P. (2002). Inhibitory control in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Attention Disorders, 6*(1), 1-4.
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Blom, J., Band, G. P., & Kok, A. (2001). Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology, 38*(5), 752-760.
- Nigg, J. T. (2005). Neuropsychologic theory and findings in attention-deficit/hyperactivity disorder: the state of the field and salient challenges for the coming decade. *Biological Psychiatry, 57*(11), 1424-1435.
- O'Connell, R. G., Bellgrove, M. A., Dockree, P. M., Lau, A., Hester, R., Garavan, H., ... & Robertson, I. H. (2009). The neural correlates of deficient error awareness in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuropsychologia, 47*(4), 1149-1159.
- Overbeek, T. J., Nieuwenhuis, S., & Ridderinkhof, K. R. (2005). Dissociable components of error processing: on the functional significance of the Pe vis-à-vis the ERN/Ne. *Journal of Psychophysiology, 19*(4), 319-329.
- Overmeyer, S., Bullmore, E. T., Suckling, J., Simmons, A., Williams, S. C. R., Santosh, P. J., & Taylor, E. (2001). Distributed grey and white matter deficits in hyperkinetic disorder: MRI evidence for anatomical abnormality in an attentional network. *Psychological Medicine, 31*(08), 1425-1435.

- Rabbitt, P. M. (1966). Errors and error correction in choice–response tasks. *Journal of Experimental Psychology*, *71*(2), 264.
- Rabbitt, P. M. (1968). Three kinds of error–signalling responses in a serial choice task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *20*(2), 179–188.
- Reason, J. (1990). Human Error: models and management. *British Medical Journal*. *320*, 768–770.
- Riesel, A., Weinberg, A., Endrass, T., Meyer, A., & Hajcak, G. (2013). The ERN is the ERN is the ERN? Convergent validity of error–related brain activity across different tasks. *Biological Psychology*, *93*(3), 377–385.
- Rubia, K., Smith, A. B., Brammer, M. J., Toone, B., & Taylor, E. (2005). Abnormal brain activation during inhibition and error detection in medication–naive adolescents with ADHD. *American Journal of Psychiatry*, *162*(6), 1067–1075.
- Samyn, V., Wiersema, J. R., Bijttebier, P., & Roeyers, H. (2014). Effortful control and executive attention in typical and atypical development: an event–related potential study. *Biological psychology*, *99*, 160–171
- Schachar, R. J., Chen, S., Logan, G. D., Ornstein, T. J., Crosbie, J., Ickowicz, A., & Pakulak, A. (2004). Evidence for an error monitoring deficit in attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *32*(3), 285–293.
- Scheffers, M. K., & Coles, M. G., (2000). Performance monitoring in confusing world: error–related brain activity, judgments of

- response accuracy, and types of errors. *Journal of Experimental Psychology*, 26(1), 141-151.
- Seidman, L. J., Valera, E. M., & Makris, N. (2005). Structural brain imaging of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1263-1272.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., Huijbregts, S., Scheres, A., & Oosterlaan, J. (2003). The top and the bottom of ADHD: a neuropsychological perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(7), 583-592.
- Shiels, K., & Hawk, L. W. (2010). Self-regulation in ADHD: The role of error processing. *Clinical Psychology Review*, 30(8), 951-961.
- Silverstein, A. B. (1989). Agreement between a short form and the full scale as a function of the correlation between them. *Journal of Clinical Psychology*, 45(6), 929-931.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., Toga, A. W., & Peterson, B. S. (2003). Cortical abnormalities in children and adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder. *The Lancet*, 362(9397), 1699-1707.
- Spieler, D. H., Balota, D. A., & Faust, M. E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(2), 461.
- Stemmer, B., Segalowitz, S. J., Witzke, W., & Schonle, P. W. (2004).

- Error detection in patients with lesions to the medial prefrontal cortex: an ERP study. *Neuropsychologia*, 42(1), 118–130.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643.
- Tucker, D. M. (1993). Spatial sampling of head electrical fields: the geodesic sensor net. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87(3), 154–163.
- van Meel, C. S., Heslenfeld, D. J., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. A. (2007). Adaptive control deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): the role of error processing. *Psychiatry Research*, 151(3), 211–220.
- Van Veen, V., & Carter, C. S. (2002). The anterior cingulate as a conflict monitor: fMRI and ERP studies. *Physiology & Behavior*, 77(4), 477–482.
- Van Veen, V., & Carter, C. S. (2006). Error detection, correction, and prevention in the brain: a brief review of data and theories. *Clinical EEG and Neuroscience*, 37(4), 330–335.
- Verbruggen, F., Notebaert, W., Liefoghe, B., & Vandierendonck, A. (2006). Stimulus- and response-conflict-induced cognitive control in the flanker task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(2), 328–333.
- Verin, M., Partiot, A., Pillon, B., Malapani, C., Agid, Y., & Dubois, B. (1993). Delayed response tasks and prefrontal lesions in man—evidence for self generated patterns of behaviour with poor environmental modulation. *Neuropsychologia*, 31(12),

1379–1396.

- Wiersema, J. R., van der Meere, J. J., & Roeyers, H. (2005). ERP correlates of impaired error monitoring in children with ADHD. *Journal of Neural Transmission, 112*(10), 1417–1430.
- Wiersema, J. R., Van der Meere, J. J., & Roeyers, H. (2009). ERP correlates of error monitoring in adult ADHD. *Journal of Neural Transmission, 116*(3), 371–379.
- Wilens, T. E., Biederman, J., & Spencer, T. J. (2002). Attention deficit/hyperactivity disorder across the lifespan. *Annual Review of Medicine, 53*(1), 113–131.
- Woltering, S., Liu, Z., Rokeach, A., & Tannock, R. (2013). Neurophysiological differences in inhibitory control between adults with ADHD and their peers. *Neuropsychologia, 51*(10), 1888–1895.
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review, 111*(4), 931.

# ABSTRACT

## An event-related potential study of error-processing deficits in college students with attention deficit/hyperactivity traits

Su-Gi, Choi

Department of Psychology

Graduate School of

Sungshin Women's University

The purpose of the current study was to investigate error-processing deficits in college students with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD) traits using event-related potentials (ERPs) and The Go/NoGo task. An adult ADHD traits group ( $n=16$ ) and a normal control group ( $n=18$ ) were executed a Go/NoGo task with 20% NoGo trials. The Go/NoGo task is consisted of two conditions. The participants were instructed to press a response button for specific letters (Go condition). No response was allowed when different letters appeared (NoGo condition). In addition to error-related negativity (ERN), error positivity (Pe) and post error

slowing(PES) was examined.

The behavior results of the Go/NoGo task showed that the adult ADHD traits group performed with significantly higher error rate and shorter PES than the normal control group.

The results of the event-related potentials revealed that the adult ADHD traits group showed smaller ERN amplitude than the normal control group. However, Pe amplitude was same for both group. Also significant correlation between Pe amplitude and PES was found only in the normal control group. It has been known that ERN reflects error detection while Pe reflects cognitive effort for error correction. Results of this study indicate that college students with ADHD traits have deficits in error detection and difficulties in using cognitive effort efficiently. These findings suggest that individuals with ADHD traits have deficits in error-processing, which could be a trait marker of ADHD.

---

Key word: adult ADHD trait, Go/NoGo task, ERP, ERN, Pe, PES

## 감사의 글

실험에 참가해주신 모든 참가자 분들께 진심으로 감사드립니다.