

An event-related potential study of spatial working memory deficits in college students with ADHD traits*

Kyoung-Mi Jang¹, Myung-Sun Kim^{1†}

¹Sungshin Women's University

This study investigated spatial working memory deficits in college students with attention-deficits/hyperactivity disorder (ADHD) traits using event-related potentials (ERPs) and spatial 2-back task. Based on the scores of the Conners' Adult ADHD Rating Scale and Adult ADHD Self-Report Scale, ADHD-trait (n=31) and control (n=32) groups were selected. Participants were required to determine whether a current stimulus was in the same location as the stimulus presented 2 trials earlier. The ADHD-trait group showed significantly lower accuracy rate than the control group on the spatial 2-back task. In terms of ERPs, the ADHD-trait group exhibited significantly longer N200 latency as well as significantly smaller P300 amplitudes than the control group. The N200 and P300 components reflect the comparison of stimulus type, memory retrieval and memory updating, respectively. Therefore, the present results indicate that college students with ADHD traits have difficulties in comparison of relevant/irrelevant stimuli, memory retrieval and updating information in working memory. Results of this study further indicate that college students with ADHD traits have neurophysiological dysfunction associated with spatial working memory.

Keywords: adult ADHD trait, spatial working memory, ERP, N200, P300

1 차원고접수 18.04.02; 수정원고접수 18.08.06; 최종게재결정 18.08.07

주의력 결핍/과잉행동장애(attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD)는 부주의, 과잉행동/충동성 등의 증상뿐만 아니라 계획, 조직화, 작업 기억 등을 포함한 집행 기능 및 주의와 같은 인지 기능의 결함과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(American Psychiatric Association [APA], 2013; Brown, Reichel, & Quinlan, 2009; Seo, 2012). 특히 최근에는 아동기에 ADHD 진단을 받은 환자들 중 약 50-80%가 성인기에도 부주의 및 충동성과 같은 일부 증상을 지속적으로 보이는 것으로 알려지고(Barkley, Murphy, & Fischer, 2008; Kaplan & Stevens, 2002), 성인 ADHD 환자의 학업 및 대인관계의 어려움, 직장 및 결혼 생활의 문제 등이 보고되면서 성인 ADHD에 대한 관심이 증가되고 있다(APA, 2013; Spencer, Biederman, & Mick, 2007).

최근 들어 성인 ADHD 환자의 작업 기억이 많은 관심을 받고 있는데, 이는 작업 기억이 집행 기능 등과 같은 상위 인지 기능에 영향을 미치고(Hervey, Epstein, & Curry, 2004; Mariani & Barkley, 1997; McCabe, Roediger, McDaniel, Balota, & Hambrick, 2010), ADHD의 대표적인 증상인 부주의와 관련되어 있다고 보고되기 때문이다(Gathercole et al., 2008; Kofler, Rapport, Bolden, Sarver, & Raiker, 2010). 또한 작업 기억의 손상이 ADHD 환자의 인지, 학업 및 사회적 활동에 어려움을 초래하는 것으로 보고되고 있다(Barkley, 2006). 작업 기억은 입력된 정보를 몇 초 동안 일시적으로 파지(maintenance)하고 조작(manipulation)하는 체계로(Baddeley, 2003; 2007), 언어 정보의 처리에 관여하는 음운 루프(phonological loop), 시각

* 본 연구는 2016년 성신여자대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

† 교신저자: 김명선, 성신여자대학교 심리학과, 서울시 성북구 보문로 34다길 2
Tel: 02-920-7592, Fax: 02-920-2040, E-mail: kimms@sungshin.ac.kr

및 공간 정보의 처리에 관여하는 시공간 잡기장(visuospatial sketchpad)과 정보의 통합 및 주의 할당에 관여하는 중앙 집행기(central executive)로 구성된다(Baddeley, 2007; Baddeley & Hitch, 1974). 성인 ADHD 환자군의 경우, 작업 기억 중 공간 정보를 처리하는 공간 작업 기억의 결함을 가지고 있음이 비교적 일관되게 보고되고 있다(Bollmann et al., 2017; Dowson et al., 2004; Kim, Liu, Glizer, Tannock, & Woltering, 2014; Mattfeld et al., 2015). 더욱이 현재까지 ADHD의 진단적인 생물학적 표지자(biological marker)는 보고되지 않으나(APA, 2013), 일부 연구들에서 공간 작업 기억의 결함이 ADHD 환자의 건강한 형제들뿐만 아니라 아동 및 청소년, 성인 ADHD 환자들 모두에서, 즉 연령에 상관없이 비교적 일관되게 관찰됨에 따라 공간 작업 기억의 결함이 ADHD의 내적표현형(endophenotype)의 후보로 고려되고 있다(Barkley, 1997; Bedard et al., 2014; Castellanos & Tannock, 2002; van Ewijk et al., 2014).

아동 및 청소년, 성인 ADHD 환자군을 대상으로 공간 작업 기억과 ADHD 증상 간의 관련성을 조사한 일부 선행 연구들은 ADHD 증상과 공간 작업 기억 과제의 수행이 서로 관련되어 있음을 보고하고 있다(Elisa, Balaguer-Ballester, & Parris, 2016; Rogers, Hwang, Toplak, Weiss, & Tannock, 2011; Tillman, Eninger, Forssman, & Bohlin, 2011). 예를 들어, 일부 연구들은 아동 및 청소년 ADHD 환자군의 부주의 증상과 공간 작업 기억 과제의 수행 사이에 유의한 부적 상관이 있음을 보고하였다(Rogers et al., 2011; Tillman et al., 2011), 즉, ADHD 환자군에서 높은 부주의 증상과 낮은 공간 작업 기억 점수와의 상관이 관찰되었다. 성인 ADHD 환자군의 경우, 공간 작업 기억을 측정하는 Corsi Block 과제의 반응 정확성과 충동성 증상간의 유의한 부적 상관이 관찰되었고, ADHD 증상과 Corsi Block 과제 수행에 대한 회귀분석 결과 충동성 증상이 Corsi Block 과제의 수행을 유의하게 예측하였다(Elisa et al., 2016). 이와 같이 공간 작업 기억의 결함이 ADHD 환자군에서 일관되게 보고될 뿐만 아니라 ADHD의 내적표현형의 후보 및 주요 인지 결함 중 하나로 제안되고 있지만, ADHD의 공간 작업 기억 결함의 신경학적 기제는 아직 잘 이해되지 않고 있다(Barkley, 1997; Bedard et al., 2014; Castellanos & Tannock, 2002; van Ewijk et al., 2014).

작업 기억의 평가에 널리 사용되는 n -back 과제는 언어 및 공간 작업 기억 모두를 측정할 수 있고, 과제 수행동안 정보의 파지뿐만 아니라, 최신화(updating) 및 조작 처리를 평가할 수 있는 장점을 가지는 것으로 알려져 있다(Colzato,

Jongkees, Sellaro, & Hommel, 2013; Jacola et al., 2014; Kane, Conway, Miura, & Colflesh, 2007; Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005; Stroux et al., 2016). 즉, n -back 과제에는 자극이 연속적으로 제시되고, 현재 제시되는 자극이 몇 시행(n 시행) 전에 제시된 자극과 동일한지 혹은 동일하지 않은지를 비교하고 판단하는 것이 요구되며 이를 위해 끊임없이 자극을 최신화 해야 한다(Ecker, Lewandowsky, Oberauer, & Chee, 2010; Owen et al., 2005). N -back 과제를 사용하여 성인 ADHD 환자군 및 성향군의 작업 기억을 조사한 연구들은 성인 ADHD 환자군 및 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 긴 반응 시간 또는 낮은 정확률을 보임을 보고하고 있다(Bayerl et al., 2010; Ehrlis, Bähne, Jacob, Herrmann, & Fallgatter, 2008; Kim et al., 2014; Kim & Kim, 2016; Lis et al., 2010; Missonnier et al., 2013).

기능자기공명영상법(functional magnetic resonance imaging; fMRI)과 같은 뇌 영상 기법을 사용하여 공간 작업 기억을 조사한 선행 연구들은 공간 작업 기억 과제의 수행 동안 배외측 전전두 피질(dorsolateral prefrontal cortex), 후측 두정 피질(posterior parietal cortex), 전대상 피질(anterior cingulate cortex) 및 전운동 피질(premotor cortex) 영역 등에서 뇌 활성화가 증가됨을 보고하고 있다(Bollmann et al., 2017; Dores et al., 2017; Ko et al., 2013; Owen et al., 2005). 뇌 영상 기법을 사용하여 성인 ADHD 환자의 공간 작업 기억을 조사한 연구가 매우 드물지만, fMRI를 사용하여 공간 작업 기억을 조사한 Ko 등(2013)은 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 보조운동 영역(supplementary motor area)에서 유의하게 증가된 활성화를 보임을 관찰하였는데, 이 영역은 작업 기억의 최신화에 관여하는 것으로 알려져 있다. 또한 Bollmann 등(2017)은 전두-선조 영역, 상두정 영역(superior parietal area) 및 해마(hippocampus)에서 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 감소된 활성화를 보임을 보고하였다. 이러한 결과는 성인 ADHD 환자군이 공간 작업 기억에 관여하는 전두-두정 영역의 기능적 결함을 가지고 있음을 시사한다.

또한 일부 선행 연구들은 우수한 시간 해상도(temporal resolution)를 가지고 있어 시간 경과에 따른 인지 기능의 연구에 매우 유용한 사건관련전위(event-related potentials; ERPs, Luck, 2014)를 사용하여 ADHD의 작업 기억을 조사하였다. 즉, N -back 과제와 사건관련전위를 사용하여 언어 및 시각 작업 기억을 조사한 연구들은 아동 및 성인 ADHD 환자군 또는 성인 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의

하게 지연된 N200 잠재기(Keage et al., 2008), 감소된 N200 진폭(Keage et al., 2008; Stroux et al., 2016) 및 P300 진폭(Keage et al., 2008; Kim et al., 2014; Kim & Kim, 2016)을 보임을 보고하였다. 작업 기억에서 관찰되는 사건관련전위 N200 요소(component)는 이전에 제시된 자극과 현재 제시되는 자극이 동일한지 혹은 다른지를 확인하고 비교하는 과정을 반영하는 것으로 알려져 있는 한편(Daffner et al., 2011; Folstein & van Petten, 2008), P300 요소는 제시되는 자극이 n 시행 전에 제시된 자극과 일치하는지 혹은 불일치 하는지를 분류하는 과정(Kok, 2001), 기억 최신화 과정(Donchin & Coles, 1988), 주의 자원의 할당(Gevins, Smith, McEvoy, & Yu, 1997; Kim et al., 2014) 등을 반영하는 것으로 알려져 있다. ADHD 환자군에서 관찰되는 N200, P300의 이상은 ADHD 환자군이 작업 기억에 필요한 부적절한 자극의 분류뿐만 아니라(Stroux et al., 2016) 정보의 최신화(Keage et al., 2008), 주의 자원의 할당(Kim et al., 2014)에 어려움을 가지고 있음을 시사하며 ADHD의 작업 기억 장애의 신경생리적 기제에 대한 정보를 일부 제공한다. 하지만 ADHD 환자군, 특히 성인 ADHD 환자군의 공간 작업 기억을 사건관련전위를 사용하여 조사한 연구는 아직 보고되지 않고 있다.

성인 ADHD에서 관찰되는 다양한 공병 및 약물 복용의 여부, 증상의 유형 및 정도 등의 요인으로 인한 이질적(heterogeneous) 양상으로 인해 성인 ADHD를 진단하는데 어려움이 있고(Cubillo & Rubia, 2010; Mostert et al., 2015), 이러한 요인으로 인하여 비일관적인 연구 결과가 도출될 수 있음이 제안되고 있다(Cubillo & Rubia, 2010). 이에 따라 ADHD 환자와 유사한 증상 또는 불편감을 호소하고, 다른 정신 장애가 없으며, 약물 복용의 경험이 없는 ADHD 성향군을 대상으로 연구하는 것이 제안되고 있다(Cocchi et al., 2012; Cubillo & Rubia, 2010; Liu, Glizer, Tannock, & Woltering, 2016). 또한 최근에는 ADHD의 정신병리를 증상에 따라 진단하고 분류하는 범주적 접근 보다는 차원적 접근(dimensional approach)으로 이해하려는 제안이 있다(Hudziak, Achenbach, Althoff, & Pine, 2007; Martin, Hamshere, Stergiakouli, O'Donovan, & Thapar, 2014). 즉, 정상 인구(general population)에도 ADHD 증상인 부주의, 과잉행동 및 충동성의 증상들이 연속선상의 스펙트럼으로 분포되어 있고, 이러한 증상의 특징을 가장 극단적으로 보이는 개인이 ADHD 환자군에 해당한다고 제안된다(Martin et al., 2014). 이에 따라 최근의 여러 연구들에서 ADHD의 차원적 특성을 이용하여 ADHD 증상이 높은 정

상인들과 낮은 정상인들이 인지 및 감각 기능에서 유의한 차이를 보인다는 연구 결과들이 보고되고 있다(Panagiotidi, Overton, & Stafford, 2017a; 2017b; Polner, Aichert, Macare, Costa, & Ettinger, 2015). 더욱이 일부 선행 연구들에서 ADHD 성향이 높은 개인들이 ADHD 진단을 받은 환자들과 유사한 인지 기능의 결함(예: 반응 억제 및 간섭 통제, 작업 기억 등)을 보임이 보고되고 있고(Kim & Kim, 2016; Polner et al., 2015), 이러한 인지 결함이 뇌 기능의 차이와 같은 신경적 기제에 의해 파생될 수 있음이 제안되고 있으며, 이에 따라 ADHD 환자군과 ADHD 성향군이 유사한 결함을 보이는 기능의 신경학적 기제를 조사할 필요성이 요구되고 있다(Panagiotidi et al., 2018).

ADHD 성향이 높은 정상인을 대상으로 공간 작업 기억을 조사한 연구는 극히 제한되어 있지만, Jang과 Kim(2015)은 성인 ADHD 성향군을 대상으로 공간 작업 기억을 평가하는 공간 폭(spatial span) 검사를 실시한 결과, 성인 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 높은 오류수를 보임을 관찰하였다. 이러한 결과는 성인 ADHD 성향군이 공간 작업 기억의 결함을 가지고 있음을 시사한다. 따라서 본 연구에서는 ADHD 성향을 가지는 대학생을 대상으로 이들의 공간 작업 기억의 결함을 사건관련전위와 n -back 과제를 통해 알아보고자 하였다. 즉, 성인 ADHD 성향군에서 관찰되는 공간 작업 기억의 결함이 작업 기억과 관련 있는 사건관련전위인 N200과 P300 요소에 반영되는지를 알아보고자 하였다. 특히, 공간 작업 기억이 ADHD의 내적표현형의 후보로 고려되고 있기 때문에 성인 ADHD 성향군의 공간 작업 기억의 결함에 대한 전기생리적 조사를 통해 ADHD 환자군 뿐만 아니라 성향군이 경험하는 공간 작업 기억 결함의 신경학적 기제를 이해하는데 유용한 정보를 제공할 것으로 여겨진다.

방 법

연구대상

수도권 소재 대학에 재학 중인 대학생 800명을 대상으로 웹 기반 Conners' Adult ADHD Rating Scales-한국판(CAARS-K, Kim, Lee, Cho, Lee, & Kim, 2005)과 성인 ADHD 자기보고 척도(Adult ADHD Self-Report Scale; ASRS, Adler, Kessler, & Spencer, 2003)를 실시하였다. 수거된 자료들 중 ADHD 반응 비일관성 지표가 8이상인 자료들을 제외한 728명을 바탕으로 CAARS-K의 하위척도 중 하나인 ADHD 지수의 T점수 65점 이상인 동시에 ASRS의

part A에서 4점 이상, ASRS 총점이 24점 이상에 해당하는 경우를 ADHD 성향군($n=31$; 남:7, 여:24)으로 선정하였다. ASRS 척도의 part A가 3점 이하, 총점이 16점 이하이고, CAARS-K의 ADHD 지수가 하위 10%(T점수 37점 이하)에 해당하는 경우는 정상통제군($n=32$; 남:14, 여:18)으로 선정하였다. 수거된 자료들 중 반응 비일관성 지표가 8이상인 자료를 제외한 728명 중 ADHD 성향군 기준에 부합한 68명, 정상통제군 기준에 부합한 59명이 선정되었다. 68명의 ADHD 성향군에서 왼손 또는 양손잡이(10명), 공병(9명), 연락 두절 및 참여 거부(13명)로 인한 32명을 제외하였고, 뇌파의 신호 처리 이후에 분석에 포함된 시행 수가 30개 이하인 5명을 제외하여 최종적으로 31명이 분석에 포함되었다. 또한 51명의 정상통제군에서 왼손 또는 양손잡이(8명), 연락 두절 및 참여 거부(7명)로 인한 15명을 제외하였고, 뇌파의 신호 처리 이후에 분석에 포함된 시행 수가 30개 이하인 4명을 제외하여 최종적으로 32명이 분석에 포함되었다.

CAARS를 개발한 Conners 등(1999)은 북미 지역의 성인들을 대상으로 한 기준을 바탕으로 ADHD 지수의 T점수가 65점 이상일 경우 성인 ADHD 환자일 가능성이 있는 것으로 해석할 수 있다고 제안하였으며, 국내의 경우 일부 연구들에서 ADHD 지수의 T점수 65점을 성인 ADHD 성향군의 절단 점수로 사용하였다(Chang & Kwak, 2007; Jang & Kim, 2015; Kim & Kim, 2016). 또한 ASRS의 경우, ADHD 증상을 가장 잘 예측하는 6문항(part A)에서 4점 이상 또는 총점이 24점 이상일 경우 ADHD일 가능성이 매우 높은 것을 의미한다(Kessler et al., 2005). ADHD 성향군을 조사한 여러 선행 연구들의 경우 ADHD 증상을 변별해주는 하나의 척도를 사용하여 집단을 구분하였지만(Kim, Kwak, & Chang, 2010; Lee, Chang, & Kwak, 2016; Panagiotidi et al., 2018), 국내에서는 성인을 대상으로 한 기준이 없기 때문에 본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되는 척도 두 가지를 사용하여 두 척도의 기준을 동시에 만족하는 개인을 ADHD 성향군으로 선정하였다.

모든 연구 대상자들이 정신장애, 신경질환, 약물 및 알코올 중독 등의 병력을 가지고 있지 않다는 것을 확인하기 위해 구조화된 임상 면담(Structured Clinical Interview for DSM-IV-Non Patient: SCID-NP, First, Spitzer, Gibbon, & Williams, 1996)을 실시하였다. 또한 한국형 웨슬러 성인용 지능검사(Korean Wechsler Adult Intelligence Scale; K-WAIS, Yum, Park, Oh, Kim, & Lee, 1992) 단축형(Lee & Kim, 1995; Silverstein, 1989)을 실시하여 지능지수를 추정하였으며, 오른손잡이만을 연구 대상에 포함하였다. 연구

참여자들에게 연구 목적 및 절차 등을 설명한 후 연구 참여에 대한 동의를 구하였다. 또한 본 연구는 생명윤리심의위원회의 승인을 받고 진행되었다.

성인 ADHD척도

Adult ADHD Self-Report Scale-v1.1(ASRS-v1.1) Symptom Checklist. ASRS는 성인 ADHD 정도를 평가하는 자기보고형 도구이다. DSM-IV-TR의 18개 ADHD 진단척도를 0-4점으로 평정하며, 총점은 0-72점으로 이루어진다(Adler et al., 2003). 18개의 문항 중 ADHD 증상을 가장 잘 예측하는 part A(6개 문항)와 그 나머지 part B(12개 문항)로 구성되어 있고, part A가 부주의 증상을, part B가 과잉행동 증상을 포함하고 있다. 본 연구에서는 Kim, Lee, 그리고 Joung(2013)이 번안한 한국판이 사용되었다.

Conners' Adult ADHD Rating Scale-한국판(CAARS-K). CAARS-K는 성인 ADHD 정도를 평가하는 66개의 문항으로 구성된 자기보고형 도구이다(Conners et al., 1999). 총점은 0-198점이며, 4개의 소척도(부주의-기억, 과잉행동-초조, 충동성-정서적 불안정성, 자기개념), 1개의 ADHD 지수 척도(ADHD 환자군과 정상군을 가장 잘 변별해주는 것으로 보고된 문항들), DSM-IV의 증상척도 2개(부주의, 과잉행동/충동성)를 포함하는 총 7개의 하위척도로 구성되어 있다. 본 연구에서는 Kim 등(2005)이 번안한 한국판을 사용하였다.

지능 검사

한국판 웨슬러 성인지능검사(Korean Wechsler Adult Intelligence Scale; K-WAIS). 연구 참여자들의 지능 지수를 추정하기 위하여 K-WAIS(Yum et al., 1992)의 11개 소검사들 중 어휘, 차례 맞추기, 산수, 토막 짜기 소검사를 포함하는 단축형 지능검사를 실시하였다(Lee & Kim, 1995; Silverstein, 1989).

측정 도구

공간 2-back 과제. 공간 작업 기억의 측정에 공간 n -back 과제를 사용하였다. N -back 과제는 다양한 수준의 난이도(예: 0, 1, 2, 3 load)를 조정할 수 있는데 본 연구에서는 일부 선행연구들의 결과에 근거하여 2-back 조건만을 사용하였다. 즉, 0, 1 load 조건의 경우, 통제 조건으로 자주 사용되지만 너무 쉬운 난이도로 높은 점수를 받는 천장 효과가 보고되고 있고, 3 load 조건의 경우 높은 난이도로 인한 오차 분산(error variance)으로 신뢰도가 낮은 것으로 보고되었

다(Hur, Jordan, Dolcos, & Berenbaum, 2017; Jaeggi, Buschkuhl, Perrig, & Meier, 2010). 또한 ADHD 환자군을 대상으로 *n*-back 과제를 사용하여 작업 기억을 조사한 일부 선행 연구들에서 낮은 수준의 조건(예: 0, 1-back 조건)에서 집단 간 차이가 관찰되지 않는 반면, 높은 수준의 조건(예: 2, 3-back 조건)에서 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 낮은 수행을 보임이 관찰되었다(Cubillo et al., 2014; Kobel et al., 2009; Mattfeld et al., 2015). 이에 따라 본 연구에서는 2-back 조건만을 사용하여 ADHD 성향군과 정상통제군을 비교하였다. 실험은 두 가지 조건, 즉 현재 제시되는 자극의 위치가 2 시행 전에 제시된 자극의 위치와 동일한 일치 조건과 동일하지 않은 불일치 조건으로 구성되었다. 실험 자극으로 3 × 3 모눈에 빨간색으로 인쇄된 사각형 블록이 제시되었다. 총 360시행(일치 조건이 30%, 불일치 조건이 70%)을 두 블록으로 나누어 실시하였고 두 조건들을 무작위로 제시하였다. 참여자에게 일치 조건에서는 가능한 한 빠르고 정확하게 버튼을 눌러 반응하는 한편 불일치 조건에서는 반응하지 않는 것이 요구되었다.

공간 2-back 과제의 자극은 E-Prime version 1.2 (Psychology Software Tools, Inc) 프로그램을 사용하여 실시하였다. 연구대상자와 모니터 간의 거리는 80cm이며 자극의 크기는 7.5cm × 7.5cm으로, visual angle은 4.0° × 4.0°으로 하였다. 모든 자극은 컴퓨터 화면의 중앙에 500ms 동안 제시되었다. 자극 제시 전 시선 고정점으로 십자표시(“+”)가 1500ms 동안 나타나며, 자극 제시 후 검은 화면(blank)이

500ms 동안 제시되었다. 본 실험에 앞서 조건에 따른 지시사항 및 실험 절차의 이해를 돕는 연습 시행을 실시하였다.

사건관련전위의 측정

뇌파는 Net Amp 300(Electrical Geodesics, Inc)과 E-prime version 1.2(Psychology software Tools, Inc)를 사용하여 절연과 방음 시설이 갖추어진 실험실에서 측정하였다. 뇌파는 64 채널을 사용하여 측정하였으며 뇌파 측정 시, 기준위치(reference)는 Cz로 하였고, 각 채널의 impedance는 50KΩ 이하를 유지하였다(Tucker, 1993). 뇌파는 250Hz의 표본율(sampling rate)로 0.1~100Hz bandpass로 연속적으로 측정하였으며, 측정된 뇌파는 0.1~30Hz bandpass로 digital filtering하였다. 실험이 끝난 후 연속적으로 측정된 뇌파를 자극 제시 100ms 전부터 자극 제시 후 900ms까지, 즉 1000 ms epoch으로 구분하였다. 눈 깜박임 및 움직임과 같은 잡파(artifact)를 제거하기 위하여 측정된 뇌파가 ±70μV(peak to peak)를 넘을 경우 그 시행을 최종 분석에서 제외하였고, 뇌파는 각 조건(일치 조건과 불일치 조건)에 따라 분리, 평균화(averaging) 하였다. 또한 분석시 재-기준점(re-reference)은 전체 전극의 평균인 average reference를 사용하였다. 사건관련전위에서 시행 수가 부족할 경우 신뢰롭지 않은 결과가 도출 될 수 있다는 제안(Huffmeijer, Bakermans-Kranenburg, Alink, & van Ijzendoorn, 2014)에 따라 신호처리 이후 시행 수가 30개 이하인 연구 참여자는 최종분석에 제외되었다. 분석에 포함된 시행 수는 정상통제군이 평균 271.13개(일치 시행: 79.88개, 불일치 시행: 191.25개), ADHD 성향군이 평균 254.35개(일치 시행: 70.42개, 불일치 시행: 184.13개)로 집단 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았다($t(61)=1.01, p=.318$).

자료 분석

ADHD 성향군과 정상통제군의 인구통계학적 변인, ASRS 및 CAARS 점수는 독립표본 *t*-검정(independent sample *t*-test)을 사용하여 분석하였다. 공간 2-back 과제의 일치 조건의 반응 시간은 one-way analysis of variance (ANOVA)로 분석하였고, 반응 정확률의 분석에는 혼합설계 변량분석(ANOVA mixed design)이 사용되었다. 자극 조건(일치와 불일치 조건)을 피험자내 요인(within-subject factor)으로, 집단(정상통제군과 ADHD 성향군)을 피험자간 요인(between-subject factor)으로 하였다.

사건관련전위의 분석에는 일치 및 불일치 조건에서 정반응만이 포함되었다. 분석할 사건관련전위 요소와 시간 영역

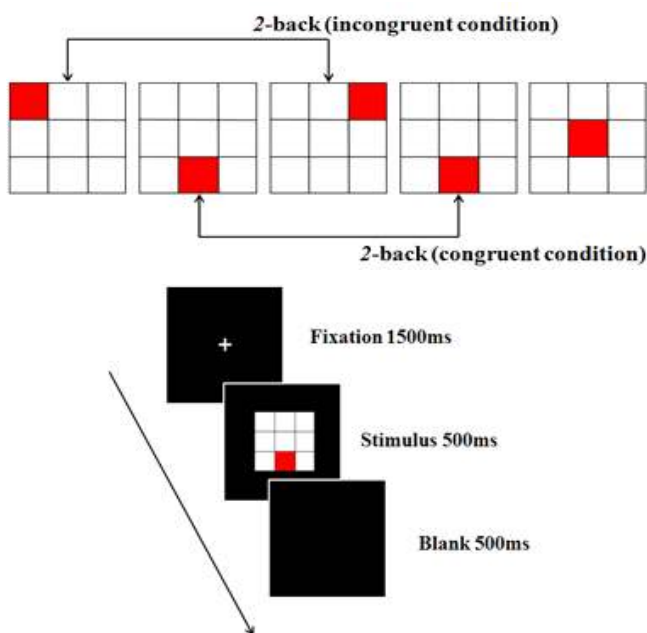


Figure 1. Example of presented stimuli (congruent and incongruent condition) and procedure of stimulus presentation

(time window)의 설정은 일치 및 불일치 조건의 전체 평균 사건관련전위(grand averaged ERP)와 각 연구 참여자의 사건관련전위 파형에 근거하였다. N200은 자극 제시 후 180~300ms에서 관찰된 가장 큰 부적 전위(negative potential)를 띠는 정점(peak)으로 정의하였고, P300은 자극 제시 후 280~430ms에서 관찰된 가장 큰 정적 전위(positive potential)를 띠는 정점으로 정의하였다. 분석에 포함하는 전극 부위는 전두-중앙-두정영역(F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4)이었다. N200과 P300의 진폭 및 잠재기를 각각 혼합설계 변량분석(ANOVA mixed design)으로 분석하였으며, 피험자내 요인은 조건(일치와 불일치 조건)과 전극 위치이었고, 피험자간 요인은 집단(정상통제군과 ADHD 성향군)이었다. 각각의 측정치들 간의 분산차로 인하여 구형성 가정이 위배될 경우 Greenhouse-Geisser correction을 적용하였다.

결 과

인구 통계학적 특성

정상통제군과 ADHD 성향군의 인구통계학적 특성을 분석한

결과가 Table 1에 기술되어 있다. 정상통제군과 ADHD 성향군은 연령, $t(61)=.59, p=.560$, 교육연한, $t(61)=-.40, p=.692$, 및 지능, $t(61)=.75, p=.454$, 에서 유의한 차이가 없었다. 반면 성인 ADHD 척도에서는 집단 간 유의한 차이가 관찰되었는데, 즉 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 더 높은 ASRS part A 점수, $t(61)=-24.36, p<.001$, 총점, $t(61)=-26.32, p<.001$, CAARS의 하위척도 중 ADHD 증상을 가장 잘 변별하는 것으로 보고되는 ADHD 지수 점수, $t(61)=-34.23, p<.001$, DSM-IV 부주의 증상 점수, $t(61)=-21.52, p<.001$, DSM-IV 과잉행동/충동성 증상 점수, $t(61)=-10.39, p<.001$, 를 보였다.

공간 2-back 과제의 행동 자료 분석

정상통제군과 ADHD 성향군의 평균 반응 시간과 반응 정확률이 Table 2에 제시되어 있다. 일치 조건의 반응 시간의 경우, 두 집단 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다, $F(1,61)=2.91, p=.090$. 반응 정확률의 경우, 자극 조건과 집단 간의 상호작용 효과, $F(1,61)=5.02, p<.05$, 집단, $F(1,61)=5.54, p<.05$, 자극 조건, $F(1,61)=61.74, p<.001$, 의 주효과가 관찰되었다. 즉, 일치 조건에서의 반응 정확률이

Table 1. Demographic characteristics of control and ADHD-trait groups

	Control group ($n=32$)	ADHD-trait group ($n=31$)	Statistics
	Mean (SD)	Mean (SD)	
Age (yr)	21.78 (2.04)	21.48 (1.98)	$t = .59$
Gender (male:female)	14:18	7:24	$\chi^2 = 3.18$
Educational level (yr)	14.69 (1.23)	14.81 (1.14)	$t = -.40$
IQ	114.88 (9.06)	113.16 (8.99)	$t = .75$
ASRS			
Part A	.56 (.72)	4.65 (.61)	$t = -24.36^{***}$
Total points	11.78 (3.82)	44.19 (5.79)	$t = -26.32^{***}$
CAARS			
ADHD index	3.56 (1.722)	22.94 (2.68)	$t = -34.23^{***}$
DSM-IV inattention	1.34 (1.29)	16.97 (3.89)	$t = -21.52^{***}$
DSM-IV hyperactivity/impulsivity	2.41 (1.60)	12.81 (5.43)	$t = -10.39^{***}$

ASRS, Adult ADHD Self-report Scale; CAARS, Conners' Adult ADHD Rating Scale; DSM-IV, Diagnostic and statistical manual of mental disorders (4th ed); IQ, Intelligence quotient (Vocabulary, Picture Arrangement, Arithmetic, Block Design); χ^2 , chi-square; SD, Standard deviation.

ASRS Part A: Part A(six items of 18 questions) are particularly useful for evaluating ADHD symptoms, and those with scores >4 on part A are highly likely to be diagnosed with ADHD.

ASRS Total points: Total scores >24 on the ASRS are associated with high possibility of meeting criteria for ADHD.

CAARS ADHD index: ADHD index consisting of items that distinguish between ADHD patients and normal controls.

*** $p<.001$

Table 2. Mean response times and accuracies on the spatial 2-back task in control and ADHD-trait groups

	Control group (<i>n</i> =32)		ADHD-trait group (<i>n</i> =31)		<i>F</i>	
	congruent	incongruent	congruent	incongruent	congruent	incongruent
Response time (ms)	443.05 (65.70)		476.47 (88.53)		2.91	
Accuracy (%)	90.28 (8.79)	99.47 (.72)	82.65 (16.49)	99.16 (1.16)	5.31*	1.62

() Standard deviation

* $p < .05$

불일치 조건에서의 반응 정확률보다 유의하게 낮았고, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 더 낮은 반응 정확률을 보였다. 또한 조건 내에서 집단 간 차이를 확인하고자 일원변량분석을 실시한 결과, ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 일치 조건에서 유의하게 낮은 정확률을 보인 반면, $F(1,61)=5.31$, $p < .05$, 불일치 조건에서는 정상통제군과 ADHD 성향군 간의 유의한 차이가 관찰되지 않았다, $F(1,61)=1.62$, $p=.208$.

공간 2-back 과제의 사건관련전위 분석

Figure 2는 정상통제군과 ADHD 성향군에서 관찰된 일치 조건과 불일치 조건, 두 조건간의 차이(일치조건-불일치 조건의 차이 파형)의 사건관련전위를 전두(Fz), 전두중양(FCz), 중양(Cz), 두정(Pz) 영역에서 전체 평균(grand averaged)한 것이다. N200의 최대 진폭은 정상통제군과 ADHD 성향군 모두 전두 영역에서 관찰되었고, P300의 최대 진폭은 정상통제군과 ADHD 성향군 모두 두정 영역에서 관찰되었다. Figure 3은 일치 및 불일치 조건에서 N200과 P300의 사건관련전위 분포(topological distribution)를 보여준다. P300의 경우, 정상통제군과 ADHD 성향군 모두 불일치 조건에 비해 일치 조건에서 더 큰 활성화를 보였으며(특히 Pz), 정상통제군이 ADHD 성향군에 비해 더 큰 활성화를 보였다.

N200. N200 진폭을 분석한 결과, 집단, $F(1,61)=.16$, $p=.690$, 자극 조건, $F(1,61)=3.42$, $p=.069$, 에서 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 반면에 자극 조건과 전극 위치 간의 상호작용 효과, $F(8,488)=13.59$, $p < .001$, 전극 위치의 주효과가 관찰되었다, $F(8,488)=46.98$, $p < .001$. 즉, 전극 위치의 경우 Fz에서 가장 큰 진폭($-2.35\mu V$)이 관찰된 반면, C4에서 가장 작은 진폭($.37\mu V$)이 관찰되었다. Fz 채널의 경우, 일치 조건에 비해 불일치 조건에서 더 큰 N200 진폭이 관찰된 반면, F3, F4, FCz, C4 채널에서는 두 조건 간에 유의한 차

이가 관찰되지 않았다. 나머지 FC3, FC4, Cz, C3 채널의 경우, 일치 조건에 비해 불일치 조건에서 더 작은 N200 진폭이 관찰되었다.

N200 잠재기의 경우, 집단의 주효과가 관찰되었으며, $F(1,61)=8.81$, $p < .01$, ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 긴 N200 잠재기를 보였다. 이에 덧붙여서 자극 조건과 전극 위치 간의 상호작용 효과, $F(8,488)=4.76$, $p < .001$, 전극 위치의 주효과가 관찰되었다, $F(8,488)=3.10$, $p < .01$. Cz 채널에서 가장 빠른 잠재기(213.01ms), C3에서 가장 느린 잠재기(225.26ms)가 관찰되었다. F3, F4, FCz 채널의 경우, 일치 조건에 비해 불일치 조건에서 더 느린 N200 잠재기가 관찰된 반면, Fz, FC3, FC4, Cz, C4 채널에서는 두 조건 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 나머지 C3 채널의 경우, 일치 조건에 비해 불일치 조건에서 더 빠른 N200 잠재기가 관찰되었다. 그러나 자극 조건, $F(1,61)=3.49$, $p=.067$, 자극 조건과 집단 간의 상호작용 효과, $F(1,61)=.92$, $p=.342$, 는 유의하지 않았다. Table 3은 정상통제군과 ADHD 성향군이 각 전극 위치에서 보인 N200의 평균 진폭과 잠재기를 두 조건 별로 기술한 것이다.

P300. P300 진폭을 분석한 결과, 조건과 집단, $F(1,61)=4.29$, $p < .05$, 전극 위치와 집단, $F(11,671)=5.11$, $p < .01$, 자극 조건과 전극 위치, $F(11,671)=6.87$, $p < .001$, 간의 상호작용 효과가 관찰되었다. 또한 자극 조건, $F(1,61)=23.88$, $p < .001$, 전극 위치, $F(11,671)=85.16$, $p < .001$, 집단, $F(1,61)=23.54$, $p < .001$, 에서 유의한 차이가 관찰되었다. 즉, 불일치 조건에 비해 일치 조건에서 P300의 진폭이 유의하게 컸으며, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 감소된 P300 진폭을 보였다. 조건과 집단의 상호작용 결과에 대한 단순 주효과 분석을 실시한 결과, 정상통제군의 경우, 불일치 조건(평균: $4.03\mu V$)에 비해 일치 조건(평균: $5.16\mu V$)에서 유의하게 더 큰 진폭을 보였고($p < .001$), ADHD 성향군

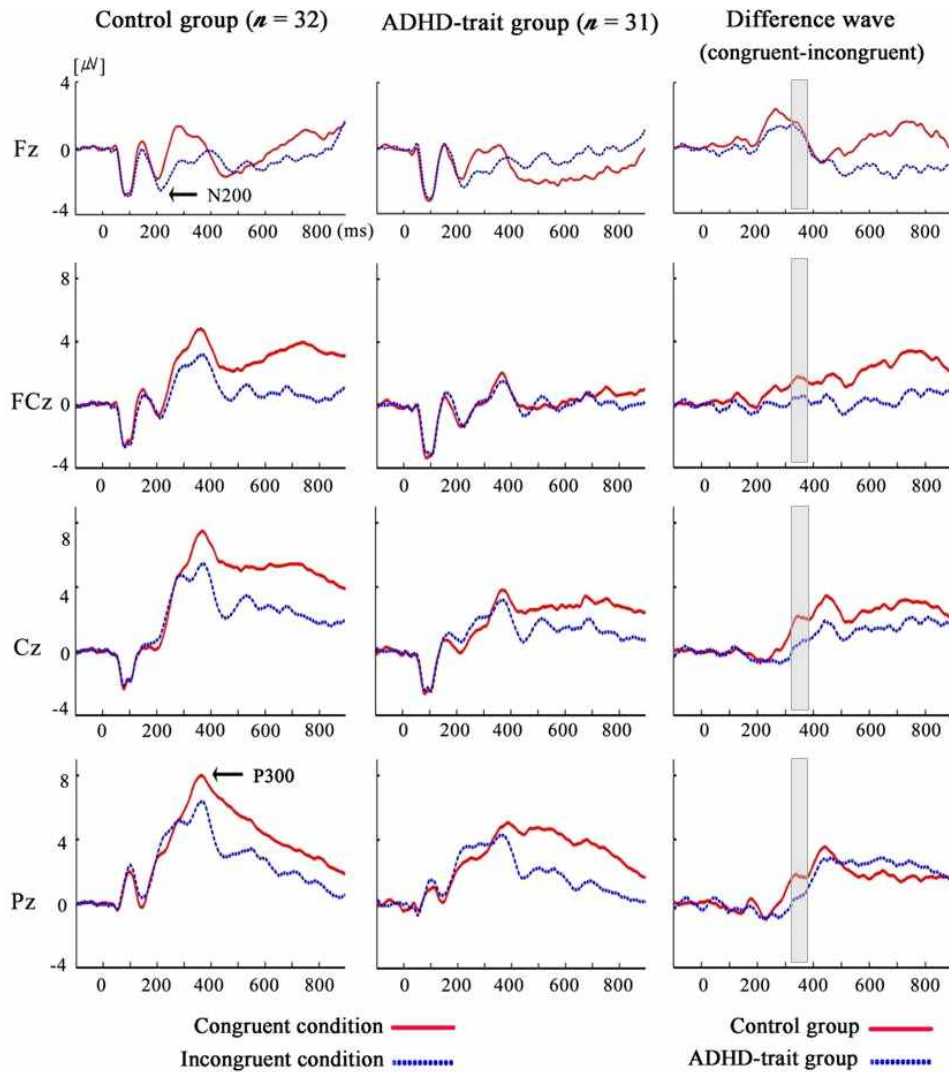


Figure 2. Grand averaged waveforms of congruent, incongruent, and the difference (congruent minus incongruent) conditions in control and ADHD-trait groups. Shaded regions represent the analysis window of the P300 component

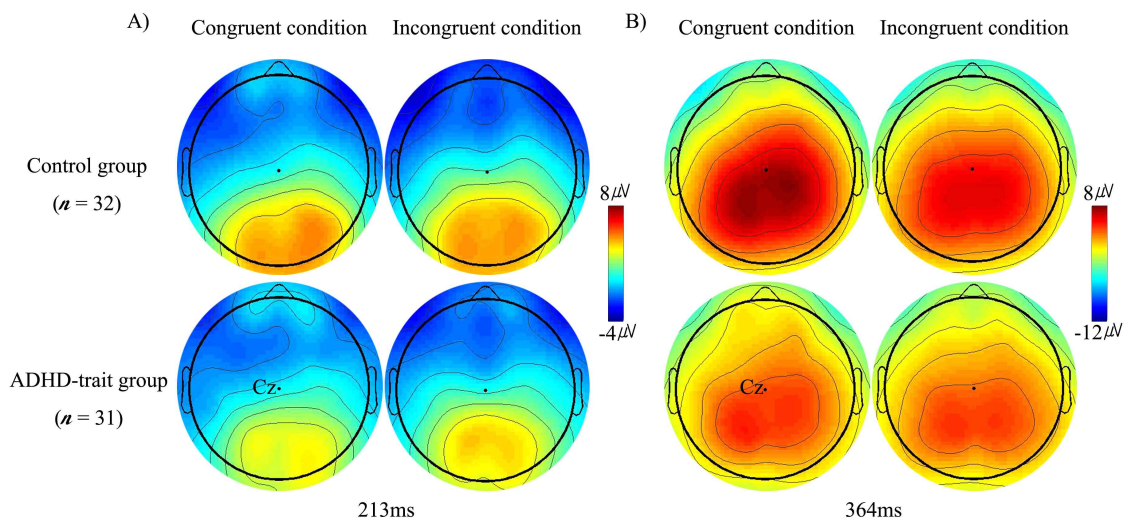


Figure 3. Topographical distributions of N200 (A) and P300 (B) elicited by congruent and incongruent stimuli for control and ADHD-trait groups

Table 3. Mean N200 amplitudes and latencies in control and ADHD-trait groups

	site	Control group (<i>n</i> =32)		ADHD-trait group (<i>n</i> =31)	
		congruent	incongruent	congruent	incongruent
amplitude (μV)	F3	-2.09 (1.72)	-1.91 (2.25)	-2.50 (1.65)	-2.03 (1.54)
	Fz	-2.01 (1.97)	-2.81 (2.35)	-2.07 (1.53)	-2.50 (1.85)
	F4	-1.93 (2.00)	-1.91 (1.98)	-1.73 (1.68)	-1.91 (1.49)
	FC3	-1.37 (1.73)	-.73 (2.03)	-1.65 (1.37)	-.75 (1.48)
	FCz	-.97 (2.38)	-1.24 (2.72)	-1.80 (2.18)	-1.79 (2.12)
	FC4	-.26 (2.10)	.08 (2.15)	-.75 (1.67)	-.43 (1.56)
	C3	-.61 (1.43)	.26 (1.89)	-.53 (1.70)	.55 (1.35)
	Cz	.20 (2.82)	.35 (3.08)	-.39 (2.57)	.31 (2.43)
	C4	.33 (2.05)	.27 (1.91)	.33 (1.73)	.56 (1.57)
latency (ms)	F3	216.06 (17.42)	223.66 (21.55)	226.07 (19.46)	229.94 (17.61)
	Fz	213.22 (31.62)	218.75 (20.61)	221.16 (23.65)	227.10 (21.31)
	F4	215.63 (21.32)	224.56 (27.13)	223.10 (22.90)	231.42 (23.04)
	FC3	219.38 (20.07)	220.13 (20.46)	226.94 (17.53)	227.90 (19.71)
	FCz	212.91 (19.57)	220.25 (19.52)	220.58 (21.99)	227.23 (19.53)
	FC4	215.25 (21.59)	212.42 (44.82)	229.03 (26.47)	231.10 (28.52)
	C3	216.97 (22.38)	213.88 (22.70)	242.07 (23.39)	228.13 (23.97)
	Cz	208.56 (15.96)	209.13 (16.26)	216.42 (15.57)	217.94 (15.93)
	C4	215.75 (22.67)	219.31 (28.17)	229.32 (22.59)	222.94 (22.91)

() Standard deviation

또한 불일치 조건(평균: 2.57 μV)에 비해 일치 조건(평균: 3.03 μV)에서 유의하게 더 큰 진폭을 보였다($p < .05$). 구체적으로, 두 집단 간 조건 간 차이를 확인하고자 독립표본 *t*-검정을 추가적으로 실시한 결과, 정상통제군의 조건 간 차이가 ADHD 성향군의 조건 간 차이 보다 유의하게 더 큰 것으로 관찰되었다, $t(61)=2.07$, $p < .05$. 전극 위치와 집단 간의 상호작용 효과의 경우, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4 채널에서 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 감소된 P300 진폭을 보였으며, F3, Fz, F4 채널에서는 집단 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 자극 조건과 전극 위치 간의 상호작용 효과의 경우, Fz, F4, FCz, FC4, Cz, C4, P3, Pz, P4 채널에서 불일치 조건에 비해 일치 조건에서 더 큰 P300 진폭이 관찰된 반면, F3, FC3, C3 채널에서는 두 조건 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

P300 잠재기의 경우, 집단에서 유의한 차이는 관찰되지 않은 반면, $F(1,61)=2.46$, $p=.122$, 자극 조건, $F(1,61)=30.08$, $p < .001$, 전극 위치, $F(11,671)=10.29$, $p < .001$, 에서 유의한 차이가 관찰되었다. 즉, 불일치 조건에 비해 일치 조

건에서 더 빠른 잠재기가 관찰되었고, F3 채널에서 가장 빠른 잠재기(346.39ms)가 관찰된 반면, C4에서 가장 느린 잠재기(371.71ms)가 관찰되었다. Table 4는 정상통제군과 ADHD 성향군이 각 전극 위치에서 보인 P300의 평균 진폭과 잠재기를 두 조건 별로 기술한 것이다.

공간 2-back 과제의 수행 및 사건관련전위 결과와 ADHD 증상 간의 관련성

ADHD 성향군과 정상통제군의 공간 2-back 과제의 수행과 사건관련전위 요소 사이의 관련성을 알아보기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였다. 또한 ADHD 성향군의 ADHD 증상 점수와 두 집단 간의 유의한 차이가 관찰된 일치 조건의 반응 정확률, 사건관련전위 요소인 N200 잠재기(Fz, Fcz, Cz 채널 포함)와 P300 진폭(Fz, Fcz, Cz, Pz 채널 포함) 간의 관련성을 알아보기 위하여 Pearson 상관 분석을 실시하였다. 그 결과가 Table 5와 Table 6에 제시되어 있다. 전체 참여자를 대상으로 과제의 반응 정확률과 N200 잠재기 및 P300 진폭 사이의 상관 분석을 한 결과, 반응 정확률

Table 4. Mean P300 amplitudes and latencies in control and ADHD-trait groups

	site	Control group (n=32)		ADHD-trait group (n=31)	
		congruent	incongruent	congruent	incongruent
amplitude (μV)	F3	.91 (2.70)	1.00 (2.28)	.64 (1.77)	1.00 (2.83)
	Fz	1.01 (3.17)	-.03 (2.88)	.39 (2.01)	-.16 (2.56)
	F4	2.56 (2.53)	1.74 (2.07)	1.78 (2.04)	1.16 (2.12)
	FC3	3.83 (2.55)	3.59 (1.96)	1.86 (1.69)	2.13 (1.57)
	FCz	5.14 (3.33)	3.61 (2.45)	2.19 (1.91)	1.67 (2.08)
	FC4	5.87 (2.67)	4.26 (1.79)	3.15 (2.17)	2.59 (1.99)
	C3	5.28 (2.64)	4.68 (1.63)	3.05 (2.00)	3.03 (1.63)
	Cz	7.82 (3.50)	5.87 (2.62)	3.96 (2.84)	3.29 (2.28)
	C4	6.95 (2.67)	5.48 (1.97)	3.95 (2.55)	3.04 (1.84)
	P3	7.29 (2.61)	5.79 (1.91)	4.97 (1.69)	4.33 (1.49)
	Pz	8.04 (3.13)	6.41 (2.83)	5.38 (2.58)	4.51 (2.41)
	P4	7.27 (2.97)	5.99 (2.80)	4.96 (1.91)	4.22 (1.66)
	latency (ms)	F3	331.38 (19.78)	343.75 (22.08)	350.45 (24.43)
Fz		351.38 (19.06)	369.25 (24.39)	356.90 (16.29)	369.48 (23.40)
F4		355.88 (15.66)	373.31 (20.83)	351.36 (20.11)	363.10 (30.75)
FC3		360.88 (22.35)	364.00 (24.99)	364.90 (27.08)	367.48 (28.82)
FCz		355.75 (25.90)	360.69 (30.15)	357.68 (26.77)	359.36 (25.14)
FC4		363.50 (22.07)	370.50 (21.90)	362.07 (24.98)	373.03 (25.65)
C3		366.13 (20.42)	370.13 (21.70)	365.23 (20.96)	367.10 (20.60)
Cz		361.75 (26.63)	362.88 (21.63)	370.71 (17.39)	371.10 (21.16)
C4		365.63 (18.20)	371.00 (18.00)	371.74 (12.69)	378.45 (16.74)
P3		366.28 (21.08)	367.53 (17.40)	376.90 (20.02)	369.55 (19.88)
Pz		359.63 (19.93)	356.88 (17.35)	377.55 (20.78)	372.13 (21.60)
P4		357.88 (22.35)	364.38 (17.64)	368.13 (19.34)	368.65 (16.78)

() Standard deviation

Table 5. Correlations between behavioral measures and ERP components in all participants (n=63)

ERP component	Site	Accuracy of spatial 2-back task
N200 latency	Fz	-.02
	Fcz	.01
	Cz	-.03
P300 amplitude	Fz	-.01
	Fcz	.19
	Cz	.25 (.052)
	Pz	.30 *

() p value; *p<.05

과 Pz에서의 P300 진폭 간에 유의한 정적 상관이 관찰되었다. $r=.30, p<.05$. 즉, 과제의 반응 정확률의 증가는 Pz에서 측정된 P300 진폭이 증가하는 것과 관련이 있었다.

ADHD 성향군의 ADHD 증상과 과제 수행 및 사건관련 전위 요소 간의 관련성을 알아보기 위하여 Conners의 하위 척도 중 DSM-IV의 증상으로 구성된 부주의 증상척도, 과잉 행동/충동성 증상척도, ADHD 지수척도 점수와 반응 정확률 사이의 상관 분석을 한 결과, ADHD 증상을 가장 잘 변별하는 것으로 보고되는 ADHD 지수와 반응 정확률 사이에 비록 유의한 수준은 아니지만 부적 상관의 경향이 관찰되었다($r=-.326, p=.073$). 그러나 ADHD 증상 점수와 사건관련 전위 요소 간의 유의한 상관은 관찰되지 않았다.

Table 6. Correlations between ADHD symptoms and behavioral measures and ERP components in the ADHD-trait group (n=31)

		ADHD symptoms		
		DSM-IV Inattention	DSM-IV Hyperactivity/impulsivity	ADHD Index
Behavioral result	Accuracy	-.12	-.26	-.33 (.07)
N200 latency	Fz	.28	.09	.08
	Fcz	.14	-.03	-.09
	Cz	.06	.00	-.24
P300 amplitude	Fz	-.10	-.25	-.26
	Fcz	-.11	-.25	-.11
	Cz	-.19	-.11	.08
	Pz	-.14	.02	.05

() *p* value

논 의

본 연구는 ADHD 성향을 가진 대학생의 공간 작업 기억을 공간 2-back 과제와 사건관련전위를 사용하여 알아보았다. 공간 2-back 과제의 수행을 분석한 결과, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 일치 조건에서 통계적으로 유의한 수준은 아니지만 더 긴 반응 시간이 관찰되었다($p=.090$). 반응 정확률의 경우, 두 집단 모두 불일치 조건보다 일치 조건에서 유의하게 낮은 반응 정확률을 보였으며, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 일치 조건에서 유의하게 낮은 반응 정확률을 보였다. 이는 ADHD 성향군이 ADHD 환자군처럼 공간 작업 기억의 어려움을 가지고 있음을 시사하며, 이 결과는 ADHD 환자군을 대상으로 작업 기억을 조사한 선행 연구의 결과와도 일치한다. 예를 들어, Strand 등(2012)은 공간 *n*-back 과제를 사용한 연구에서 일치 및 불일치 조건에 대한 정반응을 계산한 반응 정확률이 정상통제군에 비해 ADHD 환자군에서 유의하게 낮음을 관찰하였으며, Stroux 등(2016)은 언어 *n*-back 과제를 사용한 연구에서 정상통제군에 비해 성인 ADHD 환자군이 일치 조건에서 유의하게 낮은 반응 정확률을 보임을 보고하였다. 또한 van Ewijk 등(2014)은 8-29세의 넓은 범위의 연령을 가진 ADHD 환자군을 대상으로 공간 작업 기억 과제를 사용한 연구에서 정상통제군에 비해 ADHD 환자군이 더 낮은 반응 정확률을 보임을 관찰하였으며, 이 결과가 ADHD 환자의 공간 작업 기억 결함이 비교적 일관적으로 나타나고 성인 초기에까지 지속됨을 반영한다고 제안하였다.

공간 2-back 과제에서 관찰된 사건관련전위를 분석한 결과 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 더 지연된

N200 잠재기를 보였다. N200은 이전에 제시된 자극과 현재 제시된 자극을 서로 비교하는 과정 혹은 불일치로 인한 갈등 과정을 반영하는 것으로 여겨지고 있고 N200 잠재기는 이러한 과정에 소요되는 시간을 반영한다(Daffner et al., 2011; Folstein & van Petten, 2008). 아동 ADHD 환자군을 대상으로 작업 기억을 조사한 선행 연구는 지연된 N200의 잠재기가 이전에 기억된 정보로부터 현재 필요한 정보를 인출하는 것이 지연됨을 반영한다고 제안하였고(Keage et al., 2008), 또 다른 연구는 *n*-back 과제에서 높은 행동 수행을 보인 집단에 비해 낮은 행동 수행을 보인 집단에서 지연된 N200이 관찰됨을 보고하며 지연된 N200의 잠재기가 *n*-back 과제에서 요구되는 자극의 일치 및 불일치에 대한 결정 과정의 결함을 반영한다고 제안하였다(Daffner et al., 2011; Lopez Zunini et al., 2016). 본 연구에서 비록 ADHD 성향군과 정상통제군이 N200 진폭에서는 유의한 차이를 보이지 않았지만 ADHD 성향군이 정상통제군에 비해 유의하게 지연된 N200 잠재기를 보임이 관찰되었는데, 이는 ADHD 성향군이 공간 작업 기억 과제에서 요구되는 자극 간 비교 및 인출 과정의 결함을 가지고 있기 보다는 이러한 과정의 처리에 더 많은 시간을 필요로 함을 시사한다.

P300 진폭의 경우 자극 조건 및 집단에 따른 유의한 차이가 관찰되었다. 즉, 두 집단 모두 불일치 조건에 비해 일치 조건에서 유의하게 더 큰 P300 진폭을 보였으며, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 감소된 P300 진폭을 보였다. 이러한 결과는 아동 및 성인 ADHD 환자군, 성인 ADHD 성향군을 대상으로 여러 작업 기억 과제를 사용한 일부 선행 연구들의 결과와 일치한다(Keage et al., 2008; Kim et al., 2014; Kim & Kim, 2016). 예를 들어, 지연 표

본 대응 과제(Kim et al., 2014), 언어 n -back 과제(Keage et al., 2008; Kim & Kim, 2016) 등을 사용하여 ADHD 환자군 또는 성향군의 작업 기억을 조사한 연구들은 중앙, 두정 및 후두 영역에서 정상통제군에 비해 ADHD 환자군 및 성향군이 유의하게 감소된 P300 진폭을 보임을 일관되게 보고하였다. P300은 주의 자원의 할당, 자극의 분류 및 정보의 최신화 과정 등을 반영하는 것으로 설명되고 있다(Donchin & Coles, 1988; Kok, 2001; Polich, 2007; Saliassi, Geerligs, Lorist, & Maurits, 2013). 특히 작업 기억 과제의 수행 시 불일치 조건에 비해 일치 조건에서 더 큰 P300 진폭이 관찰되는데(Crego et al., 2009; Kim & Kim, 2016; Kim, Kwon, & Kim, 2004; Stroux et al., 2016), 이는 P300이 일련의 정보를 최신화 하고, 과제와 관련된 의사결정 및 자극의 가치(value) 판단과 같은 과정을 반영하기 때문인 것으로 이해되고 있다(Kim et al., 2014; Rohrbaugh, Donchin, & Eriksen, 1974; Sutton & Ruchkin, 1984). 이에 따라 ADHD 환자군에서 감소된 P300 진폭이 작업 기억에서 요구되는 정보의 최신화(Keage et al., 2008)와 정보를 부호화 하는데 필요한 주의 자원 할당의 결함을 반영하는 것으로 제안되고 있다(Kim et al., 2014). 나아가 P300이 전두 및 두정 피질에서 발생하는 것으로 알려져 있는데(Bledowski et al., 2004; Nakao et al., 2012), 성인 ADHD 환자군을 대상으로 한 뇌 영상 연구들은 이들이 공간 작업 기억에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있는 전두-두정 및 선조 영역 등에서 기능적 이상을 보임을 보고하고 있다. 예를 들어, Ko 등(2013)은 공간 작업 기억 과제를 수행하는 동안 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 작업 기억의 최신화에 관여하는 것으로 알려진 보조운동 영역에서 유의하게 증가한 활성화를 보임을 보고한 한편, Bollmann 등(2017)은 성인 ADHD 환자군이 정상통제군에 비해 전두-선조 영역, 상두정 영역 및 해마에서 감소된 활성화를 보임을 보고하였다. 따라서 본 연구에서 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 감소된 P300 진폭을 보인 결과는, 이들이 공간 작업 기억 과제에서 요구되는 자극에 대한 주의 자원의 분배 및 정보의 최신화에 어려움을 가지고 있고 이러한 어려움이 전두-두정 및 선조 영역 등의 기능 이상과 관련되어 있을 가능성을 시사한다.

정상통제군과 ADHD 성향군의 공간 2-back 과제의 수행과 사건관련전위의 관련성을 알아본 결과, 일치 조건의 반응 정확률과 P300 진폭 간의 유의한 정적 상관이 관찰되었다. 즉, 반응 정확률이 증가할수록 P300 진폭의 증가를 보였다. 작업 기억 과제에서 관찰되는 P300은 주의 및 작업 기억의

처리와 관련된 신경 활동을 반영하는 것으로 여겨지고 있는데(Polich & Kok, 1995), 일부 선행 연구들은 P300 진폭과 작업 기억 과제의 수행 간의 정적 상관을 보고하면서, P300 진폭의 증가가 작업 기억 과제의 효율적인 수행과 관련되어 있음을 제안하였다(Polich, 2007; Saliassi et al., 2013).

ADHD 성향군의 ADHD 증상과 과제 수행 및 사건관련전위 간의 관련성을 알아본 결과, 비록 통계적으로 유의한 수준은 아니지만 일치 조건의 반응 정확률과 ADHD 지수 척도, 즉 ADHD 증상을 가장 잘 변별하는 것으로 여겨지는 지수 사이의 부적 상관의 경향($p=.073$)이 관찰되었다. CAARS의 ADHD 지수 척도는 ADHD의 부주의, 충동성 및 과잉행동 증상을 나타내는 문항들로 이루어져 있는데(Sandra Kooij et al., 2008) ADHD 성향군에서 ADHD 지수가 증가할수록 공간 작업 기억 과제의 수행이 저하되는 경향이 관찰되었다. 이러한 결과는 ADHD 환자군을 대상으로 공간 작업 기억 과제의 수행과 ADHD 증상 간의 관련성을 조사한 선행 연구들의 결과와 일치한다(Elisa et al., 2016; Rogers et al., 2011; Tillman et al., 2011). 예를 들어, Tillman 등(2011)은 아동 및 청소년 ADHD 환자군의 공간 작업 기억 과제의 수행과 부주의 증상간의 부적 상관을 보고하였으며 공간 작업 기억 과제의 수행이 ADHD 증상과 관련 있음을 제안하였다.

종합하면, 정상통제군과 ADHD 성향군이 공간 2-back 과제의 반응 정확률에서 유의한 차이를 보였다. 즉 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 더 낮은 반응 정확률을 보였다. 사건관련전위의 경우 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 유의하게 지연된 N200 잠재기와 감소된 P300 진폭을 보였다. N200은 자극 간의 비교 및 인출 과정과 불일치로 인한 갈등 과정을 반영하는 한편 P300은 자극의 범주화 및 최신화와 주의 자원의 할당을 반영하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구 결과는 ADHD 성향군이 공간 작업 기억의 결함을 가지고 있고, 이러한 결함이 자극 간의 비교 과정, 주의 자원의 할당 및 정보의 최신화 과정의 어려움과 관련되어 있는 것을 시사한다. 또한 본 연구의 결과는 ADHD로 진단을 받지 않은 성향군임에도 불구하고 ADHD 환자군과 유사한 공간 작업 기억의 결함이 행동 수행뿐만 아니라 사건관련전위와 같은 신경생리적 변화로도 관찰됨을 보여주면서 이들의 공간 작업 기억 결함의 신경학적 기제에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 여겨진다. 더욱이 공간 작업 기억 과제의 수행과 ADHD 성향군의 ADHD 증상간의 부적 상관의 경향이 관찰되었으며, 이는 공간 작업 기억 과제의 수행과 ADHD 증상이 관련되어 있음을 시사한다. 하지만 ADHD

증상과 사건관련전위 간의 직접적인 관련성이 관찰되지 않았기 때문에 ADHD 성향군에서 관찰되는 지연된 N200 잠재기, 감소된 P300 진폭의 해석에 신중을 기할 필요가 있다.

본 연구는 다음과 같은 제한점을 가지고 있다. 첫째, 본 연구에 참여한 대상자가 성인 초기에 있기 때문에 본 연구 결과를 전체 성인 집단에 일반화시키기에 어려움이 있다. 따라서 추후 연구에서 다양한 연령대의 성인을 포함하면 연구 결과의 일반화를 확보할 수 있을 것이다. 둘째, ADHD 증상의 유형에 따라 인지 기능의 차이가 있음이 보고되고 있는데 (Dinn, Robbins & Harris, 2001; Lockwood, Marcotte & Stern, 2001), 본 연구에 참여한 연구대상자의 수가 적은 관계로 ADHD 성향군을 하위 유형(혼합형, 부주의 우세형, 과잉행동/충동성 우세형)과 성별에 따라 구분하지 못하였다. 따라서 추후 연구에서는 보다 많은 연구참여자를 대상으로 ADHD 하위유형 및 성별 특성을 연구할 필요성이 있다. 셋째, ADHD 환자군에서 자주 관찰되는 우울 및 불안과 같은 공병 요인들이 인지기능에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Seo, 2012; Weyandt, 2005). 본 연구의 경우, 연구에 참여한 연구대상자를 대상으로 구조화된 임상 면담(SCID-NP)을 실시하여 불안 및 기분 장애의 증상을 확인하였지만 공병을 완전히 통제하지는 못하였다. 따라서 추후 연구에서는 이와 관련된 척도를 실시하여 공병을 통제한다면 ADHD의 공간 작업 기억 결함에 대해 보다 정확한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 넷째, n -back 과제가 작업 기억을 조사하는데 매우 유용한 것으로 알려져 있지만 작업 기억의 부호화, 파지 및 조작, 인출 단계를 명확히 구분하여 조사하기에는 제한적이다. 또한 2-back 과제를 정확히 수행하기 위해서는 제시되는 일련의 자극 순서를 기억해야 하는 시간 정보처리(temporal processing)가 요구되기도 한다. 최근 일부 연구들에서 성인 ADHD 환자군의 시간 순서 판단에 대한 결함이 보고되고 있다(Fostick, 2017). 따라서 후속 연구에서는 작업 기억의 처리 단계를 구분하고 작업 기억 외에 다른 인지 처리 과정을 제외할 수 있는 과제 또는 통제 조건을 보완하여 사용하면 보다 세분화되고 명확한 작업 기억 처리 과정에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 여겨진다. 다섯째, 본 연구에서는 척도를 사용하여 ADHD 증상이 높은 성향군을 대상으로 연구가 이루어졌기 때문에 추후 연구에서 임상적으로 진단을 받은 환자군과 비교 연구를 진행한다면 성인 ADHD의 공간 작업 기억 결함의 특성을 이해하는데 추가적인 정보를 제공할 것으로 여겨진다. 여섯째, 본 연구에서는 사건관련전위의 분석만이 이루어졌지만 추후 연구에서는 뇌파의 근원지를 추적할 수 있는 근원지 국제화 기

법(source localization)과 뇌 네트워크 분석(brain network) 방법 등을 사용한다면, 공간 작업 기억의 신경 기제에 관해 보다 명확하고 깊이 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다.

References

- 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.
- American Psychiatric Association. 2013. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5th edition(DSM-5)*. Washington, DC: American Psychiatric Association Press.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, 8, 47-89. New York: Academic Press.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
- Barkley, R. A. (2006). The relevance of the still lectures to attention-deficit/hyperactivity disorder: a commentary. *Journal of Attention Disorders*, 10, 137-140.
- Barkley, R. A., Murphy, K., & Fischer, M. (Eds.). (2008). *Adult ADHD: What the science says*. New York: Guilford Press.
- Bayerl, M., Dielentheis, T. F., Vucurevic, G., Gesierich, T., Vogel, F., Fehr, C., Stoeter, P., Huss, M., & Konrad, A. (2010). Disturbed brain activation during a working memory task in drug-naive adult patients with ADHD. *Neuroreport*, 21, 442-446.
- Bedard, A. C., Newcorn, J. H., Clerkin, S. M., Krone, B., Fan, J., Halperin, J. M., & Schulz, K. P. (2014). Reduced prefrontal efficiency for visuospatial working memory in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 53, 1020-1030.
- Bledowski, C., Prvulovic, D., Hoehstetter, K., Scherg, M., Wibrall, M., Goebel, R., & Linden, D. E. (2004). Localizing P300 generators in visual target and distractor processing: A combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 24, 9353-9360.
- Bollmann, S., Ghisleni, C., Poil, S. S., Martin, E., Ball, J., Eich-Hochli, D. Klaver, P., O'Gorman, R. L., Michels, L.,

- & Brandeis, D. (2017). Age-dependent and-independent changes in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) during spatial working memory performance. *The World Journal of Biological Psychiatry*, *18*, 279-290.
- Brown, T. E., Reichel, P. C., & Quinlan, D. M. (2009). Executive function impairments in high IQ adults with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, *13*, 161-167.
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: The search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 617-628.
- Chang, M. S., & Kwak, H. W. (2007). Exploration fo Sub-Clusters in Adults with ADHD Tendency: Depression, Self-Exteem and Interpersonal Problems. *The Korean Journal of Clinical Psychology*, *26*, 827-843
- 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. *Neuroscience*, *32*, 17753-17761.
- Colzato, L. S., Jongkees, B. J., Sellaro, R., & Hommel, B. (2013). Working Memory Reloaded: Tyrosine Repletes Updating in the N-Back Task. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *7*, 200.
- Conners, C. K., Erhardt, D., & Sparrow, E. P. (1999). *Conners' Adult ADHD rating scales: Technical manual*. New York: Multi-Health Systems.
- Crego, A., Holguin, S. R., Parada, M., Mota, N., Corral, M., & Cadaveira, F. (2009). Binge drinking affects attentional and visual working memory processing in young university students. *Alcoholism, Clinical and Experimental Research*, *33*, 1870-1879.
- Cubillo, A., & Rubia, K. (2010). Structural and functional brain imaging in adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Expert Review of Neurotherapeutics*, *10*, 603-620.
- Cubillo, A., Smith, A. B., Barrett, N., Giampietro, V., Brammer, M., Simmons, A., & Rubia, K. (2014). Drug-specific laterality effects on frontal lobe activation of atomoxetine and methylphenidate in attention deficit hyperactivity disorder boys during working memory. *Psychological Medicine*, *44*, 633-646.
- Daffner, K. R., Chong, H., Sun, X., Tarbi, E. C., Riis, J. L., McGinnis, S. M., & Holcomb, P. J. (2011). Mechanisms underlying age- and performance-related differences in working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 1298-1314.
- Dinn, W. M., Robbins, N. C., & Harris, C. L. (2001). Adult attention-deficit/hyperactivity disorder: Neuropsychological correlates and clinical presentation. *Brain and Cognition*, *46*(1-2), 114-121.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating?. *Behavioral and Brain Sciences*, *11*, 357-374.
- Dores, A. R., Barbosa, F., Carvalho, I. P., Almeida, I., Guerreiro, S., da Rocha, B. M., ... & Castro Caldas, A. (2017). Study of behavioural and neural bases of visuo-spatial working memory with an fMRI paradigm based on an n-back task. *Journal of Neuropsychology*, *11*, 122-134.
- Dowson, J. H., McLean, A., Bazanis, E., Toone, B., Young, S., Robbins, T. W., & Sahakian, B. J. (2004). Impaired spatial working memory in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder: Comparisons with performance in adults with borderline personality disorder and in control subjects. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *110*, 45-54.
- Ecker, U. K., Lewandowsky, S., Oberauer, K., & Chee, A. E. (2010). The components of working memory updating: An experimental decomposition and individual differences. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *36*, 170-189.
- Ehlis, A. C., Bähne, C. G., Jacob, C. P., Herrmann, M. J., & Fallgatter, A. J. (2008). Reduced lateral prefrontal activation in adult patients with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) during a working memory task: a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Journal of Psychiatric Research*, *42*, 1060-1067.
- Elisa, R. N., Balaguer-Ballester, E., & Parris, B. A. (2016). Inattention, working memory, and goal neglect in a community sample. *Frontiers in Psychology*, *7*, 1428.
- First, M. B., Spitzer, R. L., Gibbon, M., & Williams, J. B. W. (1996). *Structured clinical interview for DSM-IV axis I disorder*. New York: New York State Psychiatric Institute.
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, *45*, 152-170.
- Fostick, L. (2017). The effect of attention-Deficit/Hyperactivity disorder and methylphenidate treatment on the adult auditory temporal order judgment threshold. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *60*, 2124-2128.

- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Kirkwood, H. J., Elliott, J. G., Holmes, J., & Hilton, K. A. (2008). Attentional and executive function behaviours in children with poor working memory. *Learning and Individual Differences, 18*, 214-223.
- Gevens, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex, 7*, 374-385.
- Hervey, A. S., Epstein, J. N., & Curry, J. F. (2004). Neuropsychology of adults with attention-deficit/hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Neuropsychology, 18*, 485-503.
- Hudziak, J. J., Achenbach, T. M., Althoff, R. R., & Pine, D. S. (2007). A dimensional approach to developmental psychopathology. *International Journal of Methods in Psychiatric Research, 16*(S1), S16-S23
- Huffmeijer, R., Bakermans-Kranenburg, M. J., Alink, L. R., & van Ijzendoorn, M. H. (2014). Reliability of event-related potentials: The influence of number of trials and electrodes. *Physiology & Behavior, 130*, 13-22.
- Hur, J., Iordan, A. D., Dolcos, F., & Berenbaum, H. (2017). Emotional influences on perception and working memory. *Cognition & Emotion, 31*, 1294-1302.
- Jacola, L. M., Willard, V. W., Ashford, J. M., Ogg, R. J., Scoggins, M. A., Jones, M. M., ... & Conklin, H. M. (2014). Clinical Utility of the N-back Task in Functional Neuroimaging Studies of Working Memory. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 36*, 875-886.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory, 18*, 394-412.
- Jang, K. M., & Kim, M. S. (2015). Neuropsychological functions of college students with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) traits. *The Korean Journal of Health Psychology, 20*, 665-685.
- Kane, M. J., Conway, A. R., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology, 33*, 615-622.
- Kaplan, R. F., & Stevens, M. (2002). A review of adult ADHD: A neuropsychological and neuroimaging perspective. *CNS Spectrums, 7*, 355-362.
- Keage, H. A., Clark, C. R., Hermens, D. F., Williams, L. M., Kohn, M. R., Clarke, S., ... & Gordon, E. (2008). ERP indices of working memory updating in AD/HD: Differential aspects of development, subtype, and medication. *Journal of Clinical Neurophysiology, 25*, 32-41.
- Kessler, R. C., Adler, L., Ames, M., Demler, O., Faraone, S., Hiripi, E., Howes, M. J., Jin, R., Secnik, K., Spencer, T., Ustun, T. B., & 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*, 245-256.
- Kim, H., Lee, J., Cho, S., Lee, I. S., & Kim, J. H. (2005). A Preliminary study on reliability and validity of the Conners Adult ADHD Rating Scales-Korean version in college students. *The Korean Journal of Clinical Psychology, 24*, 171-185.
- 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*, 41-46.
- Kim, J. Y., Kwak, H. W., & Chang, M. S. (2010). Relationships among depression anxiety and quality of sleep in adults with ADHD tendency. *The Korea Journal of Counseling, 11*, 75-89.
- Kim, M. S., Kwon, J. S., & Kim, J. J. (2004). The neurophysiological mechanism of working memory: an event-related potential study. *The Korean Journal of Clinical Psychology, 23*, 313-326.
- Kim, S., & Kim, M. S. (2016). Deficits in verbal working memory among college students with attention-Deficit/Hyperactivity disorder traits: An event-related potential study. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience, 14*, 64-73.
- Kim, S., Liu, Z., Glizer, D., Tannock, R., & Woltering, S. (2014). Adult ADHD and working memory: Neural evidence of impaired encoding. *Clinical Neurophysiology, 125*, 1596-1603.
- Ko, C. H., Yen, J. Y., Yen, C. F., Chen, C. S., Lin, W. C., Wang, P. W., & Liu, G. C. (2013). Brain activation deficit in increased-load working memory tasks among adults with ADHD using fMRI. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, 263*, 561-573.
- Kobel, M., Bechtel, N., Weber, P., Specht, K., Klarhofer, M., Scheffler, K., ... & Penner, I. K. (2009). Effects of methylphenidate on working memory functioning in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *European Journal of Paediatric Neurology, 13*, 516-523.

- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., & Raiker, J. S. (2010). ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38, 149-161.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Lee, S. I., Byoun, S. C., Chang, M. S., & Kwak, H. W. (2015). Characteristics of post-error behavior in adult ADHD tendency. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 27, 519-542.
- Lee, S. I., Chang, M. S., & Kwak, H. W. (2016). Performance Characteristics on a Continuous Performance Test in Malingered Adults ADHD Tendency. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 35, 411-433.
- Lee, Y. S., & Kim, Z. S. (1995). Validity of short forms of the Korean-Wechsler Adult Intelligence Scale. *The Korean Journal of Clinical Psychology*, 14, 111-116.
- Lis, S., Baer, N., Stein-en-Nosse, C., Gallhofer, B., Sammer, G., & Kirsch, P. (2010). Objective measurement of motor activity during cognitive performance in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 122, 285-294.
- Liu, Z. X., Glizer, D., Tannock, R., & Woltering, S. (2016). EEG alpha power during maintenance of information in working memory in adults with ADHD and its plasticity due to working memory training: A randomized controlled trial. *Clinical Neurophysiology*, 127, 1307-1320.
- Lockwood, K. A., Marcotte, A. C., & Stern, C. (2001). Differentiation of attention-deficit/hyperactivity disorder subtypes: Application of a neuropsychological model of attention. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23, 317-330.
- Lopez Zunini, R. A., Knoefel, F., Lord, C., Dzuali, F., Breau, M., Sweet, L., ... & Taler, V. (2016). Event-related potentials elicited during working memory are altered in mild cognitive impairment. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 109, 1-8.
- Luck, S. J. (Ed.). (2014). *An introduction to the event-related potential technique* (second ed.). MA: MIT press.
- Mariani, M. A., & Barkley, R. A. (1997). Neuropsychological and academic functioning in preschool boys with attention deficit hyperactivity disorder. *Developmental Neuropsychology*, 13, 111-129.
- Martin, J., Hamshere, M. L., Stergiakouli, E., O'Donovan, M. C., & Thapar, A. (2014). Genetic risk for neurodevelopmental traits in the general population. *Biological Psychiatry*, 76, 664-671.
- Mattfeld, A. T., Whitfield-Gabrieli, S., Biederman, J., Spencer, T., Brown, A., Fried, R., & Gabrieli, J. D. (2015). Dissociation of working memory impairments and attention-deficit/hyperactivity disorder in the brain. *NeuroImage Clinical*, 10, 274-282.
- McCabe, D. P., Roediger, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A., & Hambrick, D. Z. (2010). The Relationship Between Working Memory Capacity and Executive Functioning: Evidence for a Common Executive Attention Construct. *Neuropsychology*, 24, 222-243.
- Missonnier, P., Hasler, R., Perroud, N., Herrmann, F. R., Millet, P., Richiardi, J., ... & Baud, P. (2013). EEG anomalies in adult ADHD subjects performing a working memory task. *Neuroscience*, 241, 135-146.
- Mostert, J. C., Onnink, A. M. H., Klein, M., Dammers, J., Harneit, A., Schulten, T., ... & Franke, B. (2015). Cognitive heterogeneity in adult attention deficit/hyperactivity disorder: A systematic analysis of neuropsychological measurements. *European Neuropsychopharmacology*, 25, 2062-2074.
- Nakao, Y., Kodabashi, A., Yarita, M., Fujimoto, T., & Tamura, T. (2012). Temporal activities during P3 components on the working memory-related brain regions: N-back ERP study. In *Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics* (pp. 424-427).
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46-59.
- Panagiotidi, M., Overton, P., & Stafford, T. (2017a). Increased microsaccade rate in individuals with ADHD traits. *Journal of Eye Movement Research*, 10(1), 1-9.
- Panagiotidi, M., Overton, P., & Stafford, T. (2017b). Attention-deficit hyperactivity disorder-like traits and distractibility in the visual periphery. *Perception*, 46, 665-678.
- Panagiotidi, M., Overton, P. G., & Stafford, T. (2018). The relationship between ADHD traits and sensory sensitivity in the general population. *Comprehensive Psychiatry*, 80, 179-185.

- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*, 2128-2148.
- Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological Psychology*, *41*, 103-146.
- Polner, B., Aichert, D., Macare, C., Costa, A., & Ettinger, U. (2015). Gently restless: association of ADHD-like traits with response inhibition and interference control. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *265*, 689-699.
- Rogers, M., Hwang, H., Toplak, M., Weiss, M., & Tannock, R. (2011). Inattention, working memory, and academic achievement in adolescents referred for attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Child Neuropsychology*, *17*, 444-458.
- Rohrbaugh, J. W., Donchin, E., & Eriksen, C. W. (1974). Decision making and the P300 component of the cortical evoked response. *Perception & Psychophysics*, *15*, 368-374.
- Saliasi, E., Geerligs, L., Lorist, M. M., & Maurits, N. M. (2013). The relationship between P3 amplitude and working memory performance differs in young and older adults. *PLoS One*, *8*(5), e63701.
- Sandra Kooij, J. J., Marije Boonstra, A., Swinkels, S. H., Bekker, E. M., de Noord, I., & Buitelaar, J. K. (2008). Reliability, validity, and utility of instruments for self-report and informant report concerning symptoms of ADHD in adult patients. *Journal of Attention Disorders*, *11*, 445-458.
- Seo, B. K. (2012). Executive function in adult attention deficit/hyperactivity (ADHD) disorder. *The Korean Journal of Psychology*, *31*, 301-321.
- 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*, 929-931.
- Spencer, T. J., Biederman, J., & Mick, E. (2007). Attention-deficit/hyperactivity disorder: Diagnosis, lifespan, comorbidities, and neurobiology. *Journal of pediatric psychology*, *32*, 631-642.
- Strand, M. T., Hawk, L. W. Jr., Bubnik, M., Shiels, K., Pelham, W. E. Jr., & Waxmonsky, J. G. (2012). Improving working memory in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: The separate and combined effects of incentives and stimulant medication. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *40*, 1193-1207.
- Stroux, D., Shushakova, A., Geburek-Hofer, A. J., Ohmann, P., Rist, F., & Pedersen, A. (2016). Deficient interference control during working memory updating in adults with ADHD: An event-related potential study. *Clinical Neurophysiology*, *127*, 452-463.
- Sutton, S., & Ruchkin, D. S. (1984). The late positive complex: advances and new problems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *425*, 1-23.
- Tillman, C., Eninger, L., Forssman, L., & Bohlin, G. (2011). The relation between working memory components and ADHD symptoms from a developmental perspective. *Developmental Neuropsychology*, *36*, 181-198.
- Tucker, D. M. (1993). Spatial sampling of head electrical fields: The geodesic sensor net. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *87*, 154-163.
- van Ewijk, H., Heslenfeld, D. J., Luman, M., Rommelse, N. N., Hartman, C. A., Hoekstra, P., et al. (2014). Visuospatial working memory in ADHD patients, unaffected siblings, and healthy controls. *Journal of Attention Disorders*, *18*, 369-378.
- Weyandt, L. L. (2005). Neuropsychological performance in adults with attention deficit hyperactivity disorder. In D. Gozal, & D. L. Molfese (Eds.), *Attention Deficit Hyperactivity Disorder From Genes to Patients* (pp. 457-486). Totowa, NJ: Humana Press.
- Yum T. H., Park Y. S., Oh K. J., Kim J. G., Lee. Y. H. (1992). *Manual of the Korean-Wechsler Adult Intelligence Scale*. Seoul: Korean Guidance Press.

주의력결핍 / 과잉행동 성향을 가진 대학생의 공간 작업 기억 결함에 관한 사건관련전위 연구

장경미¹, 김명선^{1*}

¹성신여자대학교 심리학과

본 연구는 주의력결핍/과잉행동(attention deficit/hyperactivity; ADHD) 성향을 가지고 있는 대학생의 공간 작업 기억의 결함을 사건관련전위를 사용하여 조사하였다. Conners' Adult ADHD Rating Scale-한국판과 성인 ADHD 자기보고 척도의 점수에 근거하여 ADHD 성향군($n=31$)과 정상통제군($n=32$)을 선정하였다. 공간 작업 기억의 측정에 공간 2-back 과제가 사용되었는데, 이 과제는 2 시행 전에 제시되었던 자극의 위치가 현재 제시되는 자극의 위치와 일치하는 일치 조건과 일치하지 않는 불일치 조건으로 구성되며, 일치 조건에서 가능한 빠르고 정확하게 반응하는 것이 요구된다. 행동 자료의 분석 결과, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군이 일치 조건에서 유의하게 낮은 반응 정확률을 보였다. 사건관련전위의 경우, 정상통제군에 비해 ADHD 성향군에서 유의하게 지연된 N200 잠재기와 감소된 P300 진폭이 관찰되었다. 즉, ADHD 성향군은 공간 작업 기억 과제에서 행동 수행의 저하뿐만 아니라 작업 기억 과정에서 요구되는 자극 간의 비교 및 인출(N200), 정보의 최신화(P300)에서 정상통제군에 비해 저하된 신경생리적 기능을 보였다. 따라서 본 연구의 결과는 ADHD 성향군이 공간 작업 기억의 결함과 공간 작업 기억에 관여하는 신경생리적 기능의 결함 가지고 있음을 시사한다.

주제어: 성인 ADHD 성향군, 공간 작업 기억, 사건관련전위, N200, P300