

ADHD 아동의 뇌 기능적 특성 분석¹⁾

홍 선 주(한국교육과정평가원 연구위원)*
손 영 돈(가천대학교 조교수)
성 태 제(이화여자대학교 교수)
김 성 숙(한국교육과정평가원 선임연구위원)
진 경 애(한국교육과정평가원 선임연구위원)
이 명 진(한국교육과정평가원 부연구위원)**

《 요 약 》

주의력결핍과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder: ADHD)는 학령기 아동에게 흔하게 발병하는 정신장애로 산만성, 부주의성, 그리고 충동성의 부적응 행동을 보인다. ADHD 학습자는 특징적 증상들로 인해 학업을 포함하여 또래 및 교사와의 관계 등에도 어려움을 경험한다. 특히 발달과정에서 품행장애, 우울증 등을 포함한 다양한 공존질환을 유발하여 청소년기의 정서 및 인지 발달에도 영향을 미친다. 이에 이 연구에서는 ADHD 아동의 정서·행동 문제를 야기하는 뇌 기능적 특성에 초점을 맞추어 초등학교 3~4학년 ADHD 아동과 일반 아동의 실행기능상 뇌 기능적 특성을 기능성 자기공명영상을 사용하여 살펴보았다. fMRI 영상 분석 결과 ADHD 아동은 자동적인 인지반응에 대한 억제와 인지전환에서 일반 아동과 다른 뇌 활성화 패턴을 나타냈다. 이 연구에서 발견된 ADHD 아동의 뇌 활성화 패턴에 대한 결과와 ADHD 아동의 뇌 기능적 특성에 대한 신경학적 연구에 대한 고찰을 토대로 ADHD 아동의 뇌 발달과 기능 촉진을 위한 인지증진훈련 프로그램의 개발과 활용 필요성에 대하여 제안하였다.

주제어: 주의력결핍과잉행동장애(ADHD), 뇌 기능, 기능성 자기공명영상(fMRI), 인지증진훈련

1) 본 연구는 한국교육과정평가원(2013)에서 수행한 'ADHD 학생의 뇌영상 진단 및 뇌기반 훈련 프로그램 개발'의 일부 내용을 발췌·수정한 것임.

* 제1저자, sunhong@kice.re.kr

** 교신저자, myunglee@kice.re.kr

I. 서론

신경교육학은 학습과학 패러다임으로부터 파생되어 학습자의 능동적인 학습과정을 신경과학적 방법으로 연구하는 새로운 학문분야이다. 이 분야에서는 학습이 뇌에서 일어나는 경험에 의한 신경전달의 효율적 체계 구성이라고 전제하고, 학습과정의 뇌 기제를 규명하여 이를 교육적으로 활용하고자 한다. 이를 위해 인간의 인지과정을 탐구하는 인지심리학, 인지과정에 대한 신경생물학적 접근인 뇌신경과학과 인지신경과학, 그리고 교육학 간의 협동연구가 수행된다. 신경교육학에서는 주로 뇌 발달의 방향과 시기, 뇌 가소성(plasticity)²⁾, 뇌 발달에 적합한 환경과 경험의 제공, 정서와 인지과정의 촉진적 관계 등에 대하여 연구한다. 신경교육학은 개인마다 독특한 특성을 가지는 개인 뇌에서 모든 학습이 일어나며 이러한 개인 뇌가 환경과 상호작용을 통해 학습한다고 가정한다. 개인의 뇌가 특수성을 가진다는 것은 개인 간 뇌 발달 정도와 수준, 그리고 개인별로 특화된 뇌의 기능도 다르기 때문에 이에 알맞는 학습 환경과 교육 기회 제공의 필요성을 의미한다(김성일, 2006). 신경교육학은 다양한 학문분야에 기반을 두고 인간의 기억, 학습, 정보처리과정, 정서와 인지정보처리의 관계 등의 교육현상에 대하여 비가시적이고 미시적인 뇌세포의 수준에서 접근한다. 연구단위와 관점이 전통적인 교육학과 다르기 때문에 신경교육학은 다양한 연구분야 간의 개념적 간극을 메우고, 뇌세포 수준의 뇌신경학적 연구 결과를 토대로 실제 학습과 교육장면에 유용한 활용방안을 구안해내고자 한다. 우리나라뿐만 아니라 세계적으로도 인간의 학습과 뇌 인지과정에 대한 신경교육학 연구는 ‘학습자 맞춤형 교육 지원’이라는 큰 틀에서 개별 학습자에게 보다 더 적합한 교육과정과 내용, 교수·학습방법 등을 제공하기 위한 기초연구로 정립되고 있다.

신경교육학 연구 결과는 특히 주의력결핍과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder: ADHD)나 학습장애와 같이 일반적인 교수·학습 원리와 방법을 통해서는 학습 효과를 거두기 힘든 학습자들에게 유용하게 활용될 수 있다. 신경학적 측면에서 뇌의 기능적 독특성이나 기능 손상에 의한 장애의 원인과 특성을 명확히 진단하고, 이로부터 원인이 되는 뇌 인지과정의 근본적인 문제를 해결하는 교육적 처방과 중재가 매우 필요하며 또 신경교육학 연구를 통해 이것이 가능하기 때문이다(강경숙, 이명희, 2007). 일반적으로 ADHD에 대한 치료는 약물치료를 비롯한 의학적 처치와 행동수정 및 인지-행동치료 등의 임상적 처치가 있다. 그러나 약물치료와 행동치료는 효과는 있으나 단기적이며 장기적으로 입증된 효과성이 부족하다는 점에서(Waschbusch & Hill, 2003; Toplak et al., 2008에서 재인용), 또한 인지-행동치료 역시 다소의 효과에도 불구하고 시간 경과에 따라 치료효과가 감소하며 더욱이 그 효과가 가정이나 학교 등의 사회 환경으로 일반화되기 어렵다는 점에서 추가적인 전략과 새로운 접근의 필

2) 뇌의 가소성이란 뇌 기능의 대부분이 환경과의 상호작용을 통해 변화할 수 있다는 것이다.

요성이 제기되어 왔다(Toplak et al., 2008). 이에 최근에는 ADHD가 실행기능(executive function)³⁾과 관련한 뇌 기능의 미세한 손상에 의해 발병한다는 신경심리학적 원인론에 근거하여 ADHD 아동의 실행기능 향상을 통해 인지기능을 개선하고 증상을 완화하고자 하는 인지증진치료(Cognitive Enhancement Therapy)가 주목 받고 있다(박현진 외, 2010; 이명희, 2006). 특히 ADHD 아동에 대한 인지증진치료는 기능성 자기공명영상(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)을 활용하여 이들의 실행기능 관련 뇌 기능의 결함을 밝히고 이와 관련한 훈련 프로그램에 대한 가이드라인을 제공한다(Tamm et al., 2010). 최근의 신경과학 연구들은 ADHD뿐만 아니라 다양한 아동기 정신장애와 관련하여서도 뇌의 기능부전을 밝히고 이에 알맞은 치료적 개입을 통해 손상된 영역을 다시 활성화시키는 수준에 이르고 있다(이명주 외, 2007).

이에 이 연구에서는 신경과학적 연구 방법을 통해 교육장면에서 어려움을 경험하는 것으로 알려진 ADHD 학생들의 실행기능과 관련한 뇌 기능적 및 네트워크 활성화를 확인하고자 하였다. 이를 위해 초등학교 3~4학년으로 구성된 ADHD 학생과 일반 학생의 과제 수행 중의 뇌 기능영상을 분석함으로써 일반 아동과 차별화되는 ADHD 아동의 뇌 기능적 특징 살펴보고, 학교장면에서 활용 가능한 인지증진치료 접근에 기반한 중재 프로그램의 개발에 대해 제안하였다.

II. 이론적 배경

ADHD는 학령기의 5.29%에서(Polanczyk et al., 2007; 이정림, 강경숙, 2012에서 재인용) 발병하는 것으로 추정되는 아동기 장애로서, 미국정신의학회(American Psychiatric Association: APA) 정신장애진단 통계편람(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM)에 근거하여 진단된다. ADHD는 복합적인 병인을 가지는데 크게 유전 및 생물학적 요인, 심리사회적 요인, 신경심리학적 요인 등이 발병원인으로 지목되고 있다.

ADHD의 병인에 대한 신경심리학적 연구들은 ADHD와 실행기능 결함의 관련성을 보여준다(Barkley, 1997a, 1997b; Sergeant, Geurts, & Oosterlaan, 2002; Tamm et al., 2010). 연구자들은 ADHD 아동이 실행기능의 손상을 보인다는 점에 의견을 모으고 있으나, ADHD와 관련된 실행기능의 특정기능이 무엇인가에 대해서는 일관된 견해를 보이지 못하고 있다(Barkley, 1997b; Nigg, 1999; Pennington & Ozonoff, 1996; Tamm et al., 2010).

3) 실행기능은 계획 수립, 심리적 유연성, 주의력 분배, 작업기억, 반응억제력의 통제 등과 같은 다양한 인지활동을 포함하고 이들의 복합적 작용으로 나타나는 고차 인지기능이다. 그 구성요소에 대하여는 연구자들마다 다양한 주장을 하고 있으나 대체로 억제, 계획능력, 전환능력, 작업기억을 구성요소로 간주한다(이명주 외, 2004).

신경생물학 및 신경심리학 분야의 해부학적 뇌영상 연구에 따르면 ADHD 아동은 전체적인 뇌의 용적이 일반 아동에 비하여 작다(Carmona et al., 2005; Castellanos et al., 2002). 특히 ADHD 아동이 약물이나 인지-행동치료 등 여타의 치료를 받지 않은 경우 연령이 증가함에 따라 미상핵(caudate nucleus)의 용적이 감소하거나, 백질의 용적이 감소하는 등 뇌의 구조적인 차이가 점차 커진다(Castellanos et al., 2002; Durston, 2003). 구조적인 문제는 대뇌피질에 있어서도 나타난다. Wolosin 외(2009)는 ADHD 아동의 좌·우반구 모두에서 대뇌피질의 전체적인 부피가 작고 피질의 주름도 적다는 연구 결과를 바탕으로, 특히 우반구에서 관찰되는 현저한 피질 주름의 감소가 우반구의 전두 기능의 결함으로 ADHD 증상을 발현시킨다고 주장하였다.

뇌 기능에 관한 영상연구는 뇌의 전전두피질(Prefrontal Cortex), 전대상피질(Anterior Cingulate Cortex), 선조체(striatum) 영역에 관심을 가지며, 전두-선조(fronto-striatal)회로, 중변연계(mesolimbic)회로, 운동집행(motor-execution)회로, 그리고 두정-측두(parieto-temporal)회로를 ADHD와 관련한 신경회로로 꼽는다(Vaidya & Stollstorff, 2008). Vaidya와 Stollstorff(2008)가 주장한 네 가지 신경회로들은 공통적으로 복내측(ventral) 전전두피질, 배외측(dorsolateral) 전전두피질, 안와 전전두피질(orbitofrontal cortex), 배측(dorsal) 전대상피질, 배측 선조체를 포함하는데 이 영역들은 실행기능과 관련한 영역들로 알려져 있다(Bush, Valera, & Seidman, 2005; Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004). 연구자들은 이러한 실행기능의 수행에 깊이 관여하는 영역들을 포함하는 신경회로의 기능적 결함이 ADHD 아동의 다양한 인지·행동 문제들을 발생시킨다고 주장한다(김진구, 김홍근, 2008; 신민섭 외, 2006; 이명주 외, 2004; Doyle, 2006; Willcutt et al., 2005).

Pennington과 Ozonoff(1996)는 ADHD의 실행기능 결함 관련 연구에 대한 메타분석을 통해 실행기능을 구성하는 하위요소인 계획하기, 행동 및 인지적 억제, 작업기억 중 특히 언어 작업기억력 등에서 ADHD가 현저한 기능부전을 보인다고 주장하였다. Durston(2003)은 ADHD 아동들에게서 작업기억, 인지적 설정 전환, 계획, 그리고 인지적 유창성이 약화되었다고 주장하였다. 우리나라 ADHD 아동을 대상으로 한 연구들에서도 일반 아동과 비교하여 ADHD 아동이 상대적으로 실행기능 검사에 따른 수행능력이 저조한 것으로 보고된다(배대석 외, 2006). 특히 ADHD 아동은 행동에 대한 억제, 조절능력, 작업기억능력이 일반 아동과 비교하여 두드러진 결함을 보인다고 보고된다(Stevens et al., 2002). 수행능력의 하위요소들 중 현저한 결함을 보이는 하위능력에 대한 연구들에 따르면 자기조절과 억제능력의 결함(이효신, 손양희, 2003), 억제능력과 작업기억의 두드러진 결함(이명주 외, 2004), 억제능력의 결함과 제한된 정보처리 용량(박순말, 신민섭, 2010)을 실행기능의 주요 결함으로 보고한다. 이처럼 ADHD 아동이 일반 아동에 비하여 실행기능상 결함을 보인다는 연구 결과가 일관되게 보고되고 있으며, 연구자나 연구에 사용한 과제 등에 따른 결과의 차이에도 불구하고 억제능력과 작업기억능력의 결함이 공통적으로 지목된다.

일반적으로 ADHD의 일차적인 치료법은 약물치료로 알려져 있으나, 상술한 바와 같이 최근 ADHD의 실행기능 부전에 대한 신경학적 연구가 활발해짐에 따라 이들 연구 결과를 토대로 인지증진치료가 주목받고 있다. 인지증진치료는 뇌의 가소적 특성을 바탕으로 취약한 뇌 기능에 대한 훈련과 치료적 중재를 통해 기능 향상을 꾀하는 치료법으로, 뇌의 문제와 관련된 어떤 질환에도 적용 가능하다(송현주, 2007). 이 치료법은 비약물적 치료이면서도 치료의 효과가 가정이나 학교 등의 사회 환경으로 일반화가 가능하며(Rutledge et al., 2012), 훈련한 인지기능 영역뿐만 아니라 직업과 관련한 영역에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 장점이 있다(박현진 외, 2010). 특히 ADHD가 신경학적으로 실행기능, 특히 주의력 및 작업기억과 관련한 뇌 기능의 미세한 손상에 의해 발병한다는 점에서 작업기억이나 실행기능의 훈련을 포함하는 인지증진 훈련이 효과적인 치료법이 될 수 있다(박현진 외, 2010).

인지증진훈련은 기술훈련 또는 보다 전통적인 인지훈련 개념과 맥을 같이하며, 인지통제 혹은 실행기능에 관련한 훈련이 포함된다. 실행기능에 관련한 훈련 중에서 특히 ADHD 아동 및 청소년을 위한 작업기억 훈련 효과에 대한 연구들은 훈련이 이들의 인지기능 발달을 촉진하여 작업기억의 향상을 가져온다는 공통된 결과를 보고한다(Holmes, Gathercole, & Dunning, 2010; Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002). 이 연구자들은 ADHD 아동이나 청소년들을 대상으로 작업기억 훈련 프로그램을 집중적으로 실시하여 이들의 행동상 문제와 작업기억능력의 증진 등의 긍정적 결과를 보고하였는데, 이는 집중적인 작업기억 훈련이 작업기억 전략 사용이나 주의 통제와 같은 인지기능의 발달을 촉진하여 작업기억의 하위 기능을 향상시켰으며, 이는 뇌 신경 가소성의 예가 된다고 주장하였다. 특히, Beck과 동료들은 이와 같은 작업기억 훈련을 통한 문제행동의 감소와 작업기억능력 증진의 효과가 수 개월 동안 지속되었음을 보고하였다(Beck et al., 2010). ADHD 아동과 청소년에 대한 인지증진훈련 프로그램의 효과에 관한 연구들은 교육장면에서 어려움을 겪는 ADHD 학생을 대상으로 한 작업기억 훈련이 이들 학생의 인지기능 발달을 촉진하고 ADHD 증상을 완하시켜 학교적응에 도움을 줄 수 있는 가능성을 보여준다.

III. 연구 방법

ADHD의 인지·행동 문제들이 뇌의 실행기능 관련 영역들 간 신경회로의 기능적 결합에 의하여 발생한다는 데 의견을 일치하고 있으나 특정 하위 기능에 대하여는 견해를 달리하고 있으므로, 이 연구에서는 실행기능 중 특정 기능을 중심으로 이를 확인해보고자 하였다. 이에 초등 학교 3~4학년으로 구성된 ADHD 학생 및 일반 학생의 뇌영상 분석을 통해 이들이 실행기능의

주의전환(attention switching: 전환-비전환)과 응답갈등(response conflict: 일치-불일치)의 두 요소를 모두 포함하는 과제를 수행하는 동안에 나타내는 뇌 활성화 패턴의 차이가 있는지를 살펴보고, ADHD 학생의 과제 수행시 뇌 기능적 특징을 살펴보았다.

1. 연구 참여자

I시 초등학교 3~4학년들 중 연구 참여를 희망하는 학생들에 대하여 먼저 지능검사⁴⁾와 부모용 면접 진단검사⁵⁾를 실시하였다. 검사 결과 지능지수가 평균범위에서 2표준편차 이상의 산포를 보이는 학생과 중증도 이상의 ADHD로 진단된 학생은 연구에서 제외하였다. 이에 따라 총 17명의 학생(일반 학생 6명, ADHD 학생 11명)이 fMRI를 사용한 뇌영상 촬영에 참여하였다⁶⁾. 연구에 참여한 일반 학생은 여학생 1명과 남학생 5명이었으며, ADHD 학생의 경우 남아에게서 발병률이 높은 질병의 특성상 11명의 참여학생 모두가 남학생이었다. 부모용 면접 진단검사 결과 일반 학생들은 모두 ADHD가 아닌 것으로 진단되었으며, ADHD 학생 중 1명의 복합형 ADHD를 제외하고 10명에 대해서는 부주의형 ADHD로 진단되었다. 두 집단에서 전체 지능지수를 포함하여 언어이해, 지각추론, 작업기억, 그리고 처리속도의 네 하위영역에서도 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이가 발견되지 않았으므로, 두 집단은 지능에 있어서 동질하다고 판단하였다. 연구에 참여한 학생들의 연령과 지능검사 점수의 평균은 아래와 같다.

〈표 1〉 일반 학생과 ADHD 학생의 연령 및 지능검사 점수

	연령	지능검사				
		언어이해	지각추론	작업기억	처리속도	전체
ADHD 학생(N=11)	9.00(.63)	102.33 (6.86)	102.67 (8.85)	98.67 (13.47)	88.83 (15.99)	98.17 (11.34)
일반 학생(N=6)	9.33(.52)	101.09 (11.709)	108.45 (11.184)	98.45 (10.16)	86.09 (9.82)	98.64 (10.98)

* 괄호()안은 표준편차

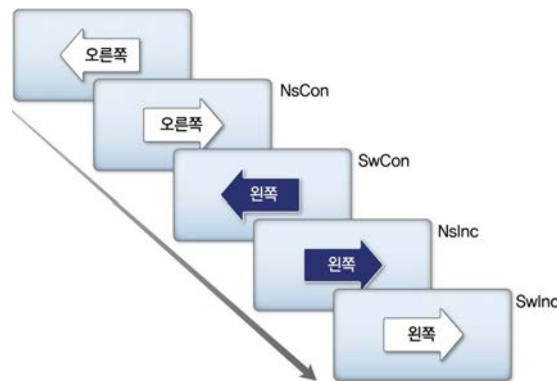
4) 한국판 웨슬러 아동지능검사 4판(K-WISC-IV: 박금주, 오상우, 김청택, 2011)을 사용하여 전체 15개의 소검사를 모두 실시한 후, 이에 따른 4개의 하위지표와 전체 지능지수를 산출하여 일반 학생들과 ADHD 학생들의 지적 능력의 동질성을 확인하였다.

5) 한국어판 부모용 소아정신장애 진단면접도구 4판(Diagnostic Interview Schedule for Children: DISC-IV: 조수철 외, 2007)을 사용하여 주양육자와 소아청소년정신의학과의 전문의 면담을 통해 학생의 ADHD 여부를 확인하였다.

6) fMRI 촬영을 위해 먼저 참가학생의 부모들은 스캐너와 이 실험을 통해 인체에 미칠 수 있는 부정적인 영향에 대한 상세한 안내를 제공받고, 가천대학교 IRB 승인을 받은 실험참여동의서에 서명하였다.

2. 실행기능 측정 과제

인지과제 수행 시 나타나는 집단 간 뇌 활성화의 차이를 알아보기 위하여 실행기능을 측정하기 위한 과제 중 화살표-단어 스트룹(Arrow-Word Stroop: AWS, Kim, Johnson, & Gold, 2012)과제를 사용하였다. 이 과제는 2 x 2 요인설계로 실행기능의 주의전환(전환-비전환)과 응답갈등(일치-불일치)의 두 요소를 모두 포함한다. 실험참가자는 화살표나 방향지시단어의 색이 검정일 때 검정이 지시하는 방향에 따라 반응해야 한다. 이 과제를 수행하는 동안 현재 화면에 보이는 화살표와 방향지시단어의 색을 보고 이전의 시행과 비교하여 화살표 또는 방향지시단어의 어느 쪽 지시를 따라야 하는지에 대한 인지전환(set shifting)과 이전의 지시를 따르고자 하는 자동적 인지반응에 대한 인지억제(cognitive inhibition) 능력을 측정할 수 있다. 과제는 과제 수행 시 마다 달라지는 조건에 따른 뇌 활성화 반응을 알아보기 위하여 사건관련 디자인(event-related design)을 하였다(그림 1) 참조).



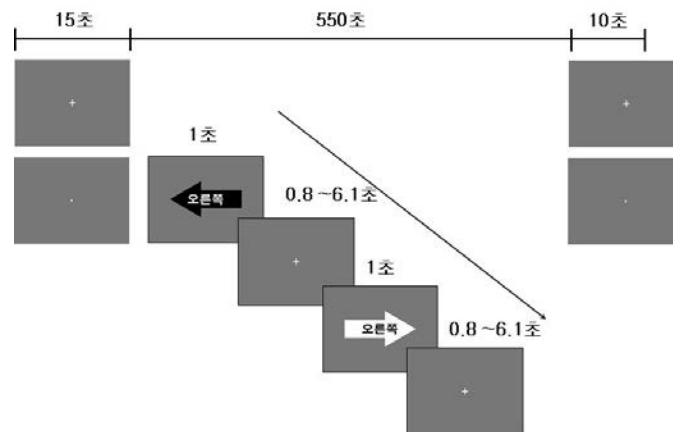
[그림 1] 화살표-단어 스트룹 과제(출처: Kim, Johnson, & Gold, 2012)

3. 뇌영상 자료 수집 및 분석 절차

뇌영상 촬영에 동의한 17명의 학생들(일반 학생 6명, ADHD 학생 11명)은 뇌영상 촬영에 앞서 이후의 진행 절차에 대한 안내를 받고 스캐너 안에서 수행하게 될 과제를 충분히 연습하였다. fMRI 이미지를 얻기 위하여 3T 지멘스(Siemens, Verio) 전신 스캐너를 사용하였으며, 각 학생은 스캐너 안에서 뇌의 해부학적 영상 촬영 및 인지과제 수행 시의 기능적 영상 촬영에 약 20여분 가량 소요되었다.

뇌영상 자료를 수집하기 위해 사용한 화살표-단어 스트룹 과제는 사건관련 디자인으로 설계되었다. 응답과제 시행 전 연구 참여자의 준비시간을 확보하기 위하여 화면에 15초 가량 하얀

십자가와 점으로 초점두기를 유도하였고, 과제가 모두 끝난 후 10초 동안 하얀 십자가와 점을 번갈아 보여주어 과제가 끝났음을 알려주었다. 응답반응을 해야 하는 화살표-단어 스트룹 과제는 화면에 1초 동안 제시되도록 하였으며, 시행 간 간격(inter-trial interval)은 하얀 십자가를 사용하여 0.8초에서 6.1초까지(평균 2.0초) 무선적으로 제시하였다.



[그림 2] 과제 제시 시퀀스

해부학적 이미지를 얻기 위해서는 3D T1 강조 영상을 사용하였고, 기능적 영상 이미지는 T2* 강조 영상 EPI(echo-planar imaging)를 사용하였다. 기능영상을 얻기 위한 EPI 파라미터는 TR(repetition time) = 2000ms, TE (echo time) = 30ms, FA(Flip angle) = 90°, voxel size = 3.5 x 3.5 x 3.5mm³, number of slice=38의 파라미터로 촬영하였고, 소요시간은 9분 30초이다.

얻어진 영상자료는 MATLAB(The MathWorks, Inc., <http://www.mathworks.co.kr/products/matlab/>)을 기반으로 하는 SPM8(Statistic Parametric Mapping; <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>, Wellcome Department of Imaging Neuroscience)을 사용하여 분석하였다. 기능영상에 대한 통계분석 이전에 전처리(preprocessing) 분석을 실시하여 호흡이나 심박에 의한 미세수준의 움직임 보정(realignment), 구조영상과 기능영상 정렬(coregistration), 표준화 해부학 좌표인 MNI(Montreal Neurological Institute, Montreal., Canada) 좌표에 개인별 뇌영상 표준화(normalization), 뇌 활성화 신호를 수집하는 동안 함께 수집된 잡신호(noise)를 가우시안 커널(a Gaussian filter of 6 mm full width at half maximum [FWHM])로 최소화(smoothing)시켰으며, 이미지는 3D화소(voxel)로 2 x 2 x 2mm³ 해상도로 처리하였다. 인지과정 동안의 ADHD 학생과 일반 학생 간 뇌 활성화 패턴의 차이를 알아보기 위하여 일반선형모델(General Linear Modeling: GLM)을 사용하여 활성화 영역들 간 차이를 분석(subtraction analysis)하였다.

IV. 연구 결과

ADHD 학생 11명과 일반 학생 6명의 영상을 획득하였으나, 머리 움직임(head movement)에 의하여 수집된 영상자료를 사용할 수 없는 4명의 자료를 제외하고 모두 13명(ADHD 학생 11명, 일반 학생 4명)의 자료를 분석에 사용하였다.

1. 과제 수행 시 ADHD 학생과 일반 학생 간 뇌 활성화 패턴 비교

ADHD 학생 집단과 일반 학생 집단 각각에서 휴지상태의 뇌 활성화 영역을 제외하고 순수하게 과제 수행 시 활성화된 뇌 영역(과제 수행 시 뇌 활성화 > 휴지상태 시 뇌 활성화)을 살펴보았다. AWS 과제 수행 시의 두 집단 각각에서 나타난 뇌 활성화 패턴을 확인한 결과 집단 간 활성화된 뇌 영역에 차이가 있음을 발견하였다. ADHD 학생 집단에서는 AWS 과제를 수행할 때 전반적으로 주의집중과 작업기억에 관련한 영역으로 알려진 뿔기소엽(Cuneus)을 포함하여(Nagahama et al., 1999) 우측 중후두이랑(Middle Occipital gyrus), 우측 방추상회(Fusiform gyrus), 설회(Lingual Gyrus) 등이 활성화된 것에 반하여 일반 학생 집단에서는 뿔기소엽(Cuneus) 영역만이 유의미하게 활성화되었다. ADHD 학생 집단 활성화가 발견된 우측 중후두이랑은 2차 시각피질로 주어진 과제와 관련하여 자극패턴의 파악과 주어진 시각정보에 선별적으로 주의를 두는 선택적 주의과정에 관여한 것으로 볼 수 있다(Waberski et al., 2008). 이 외에 방추상회는 자폐증의 하나인 아스퍼거 증후군의 원인으로 지목되기도 하는 얼굴인식과 관련한 영역으로 알려져 있으며(Radua et al., 2010), 설회는 단어의 파악과 재인지에 중요한 기능을 담당하는데(Mechelli et al., 2000) 아동에 있어서는 기억의 복구 유창성(retrieval fluency)과 관련이 있다(Leshikar, Duarte, & Hertzog, 2012).

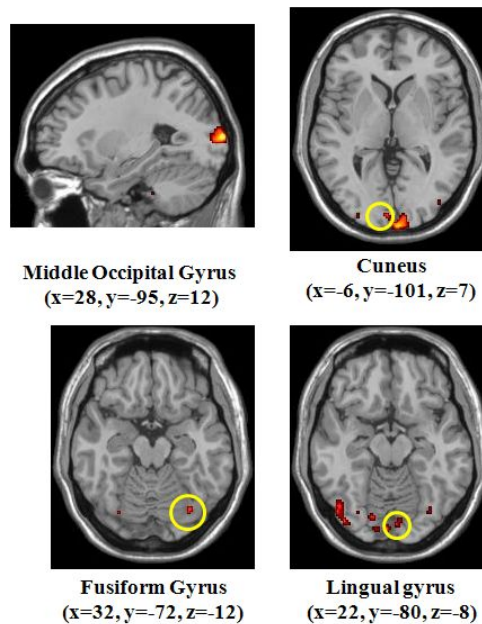
이러한 결과는 ADHD 학생 집단에서 AWS 과제와 관련한 인지과정 이외에 부가적인 인지적 활동이 있었음을 의미한다고 볼 수 있다. 이는 인지기능의 효율성과 관련하여 설명할 수 있는데, ADHD 학생이 과제 수행을 위해 상대적으로 많은 인지적 자원을 요구하여 동일한 과제 수행에 있어서 뇌 기능상 낮은 효율성을 가진다고 보인다. 이 연구에서 주어진 과제는 시각적으로 제시되고 있으며, 정확한 응답을 위해서는 현재의 반응규칙을 작업기억에 유지해야 하고, 자극의 변화에 따른 반응규칙의 전환을 위해서 필요한 경우 정해진 규칙에 대한 기억 복구 기능이 요구된다. 따라서 주어진 시각정보에 주의를 집중하고 적절한 반응규칙의 전환을 위해서 중전두회와 설회의 기능적 지원을 필요로 하였다고 해석할 수 있다. 이 연구에서는 전전두 피질과 전대상피질 등을 포함하여 작업기억과 실행기능에 관여하는 영역으로 알려진 대표적인 영역들의 활성화를 발견하지 못하였다. 또한 앞서 기술된 일반 학생의 과제 수행 시 활성화된 뇌영역들도

단지 4명의 일반 학생과 비교된 것이므로 결과를 해석함에 있어 많은 주의가 요구된다. 이에 추후 더 많은 일반 학생의 자료를 확보하여 유사한 연구를 진행할 필요가 제기된다.

〈표 2〉 AWS 과제 수행 시 ADHD 학생 및 일반 학생의 주요 뇌 활성화 영역

영역	BA	R/L	탈라이라 좌표			z
			x	y	z	
ADHD 학생						
Middle Occipital Gyrus		R	28	-95	12	4.84
Cuneus	18	L	-6	-101	7	4.46
Fusiform Gyrus	19	R	32	-72	-12	3.23
Lingual Gyrus		R	22	-80	-8	3.05
일반 학생						
Cuneus		L	-16	-98	12	4.01

* 모든 영역은 유의수준 .005 수준에서 유의함($p < .005$). BA=브로드만 영역(Broadman's area); R/L=우(right) 또는 좌(left)반구. 탈라이라 좌표: 표준화된 3차원 공간의 뇌 표상으로 x(좌→우), y(뒤→앞), z(아래→위) 좌표로 표기함



〔그림 3〕 ADHD 집단의 AWS 과제 수행 시의 주요 활성화 영역

2. ADHD 학생의 과제 성공 유무에 따른 뇌 활성화 패턴

ADHD 학생 집단에서 과제를 수행하는 동안의 버튼반응을 통해 성공시행과 실패시행을 구분하였다. 과제의 성공시행 시, 양측 중후두이랑, 좌측 췌기소엽, 아래마루소엽(inferior parietal lobule), 시상(Thalamus), 하전두회(Inferior Frontal Gyrus), 전중심회(Precentral Gyrus), 상두정소엽(Superior Parietal Lobule) 영역 등의 활성화가 관찰되었다. 2차 시각피질인 중후두이랑의 두드러진 활성화는 ADHD 집단이 과제를 성공적으로 수행하기 위하여 시공간적 정보처리와 주어진 정보에 대한 선택적 주의과정에 관련한 인지처리가 활발하게 일어난 것으로 해석될 수 있다(Waberski et al., 2008). 시상은 각성(arousal)과 주의체계를 조절하며, 감각정보의 분류와 증폭에 관여하는 영역으로 이 영역의 결함이 ADHD의 인지기능상 문제점을 야기한다고 알려져 있다(최진오, 2008). 이는 과제를 성공적으로 수행하는 동안 주어진 정보들 중 성공적인 수행을 위하여 필요한 부분과 그렇지 않은 부분을 걸러내는 시상의 거름체(filter)로서의 기능이 잘 수행되었다고 볼 수 있으며, 특히 과제의 성공적 수행에 결정적인 정보를 선택적으로 골라내어 이를 적극적으로 처리하기 위한 주의체계의 조절 기능도 원활히 일어난 것이라고 볼 수 있다(Coull et al., 2004; Portas et al., 1998). 하전두회는 주어진 자극을 받아들여 처리할 것인지에 대한 의사결정에 있어 더 좋은 결과를 얻기 위해 자신의 선호나 자동적 인지처리를 억제하는 과정에서 활성화되는 것으로 보고된다(Poldrack et al., 1999). 따라서 중후두이랑과 시상, 그리고 하전두회의 동시적 활성화는 ADHD 학생 집단이 과제를 성공적으로 수행하기 위해 불필요한 정보를 걸러내고, 정보의 선택에 있어서 과제와 관련이 낮은 정보의 선택을 억제하며, 과제에서 요구하는 시공간적 정보의 효율적인 처리를 위하여 관련 영역을 유기적으로 활성화시키고 있음을 보여준다.

ADHD 학생 집단에서 AWS 과제의 실패시행에서는 췌기소엽, 앞췌기소엽(precuneus), 아래마루소엽, 중후두이랑, 상두정소엽, 그리고 방추상회 등의 유의미한 활성화를 발견하였다. 앞췌기소엽은 특정의 인지과제를 수행하지 않는 휴지상태에서 항상적으로 되는 회로인 디폴트 모드 네트워크(Default Mode Network; DMN)를 구성하는 대표적인 영역이다(Uddin et al., 2008). DMN은 외부 자극에 집중하지 않고 잡념에 빠질 때 활성화되는 영역을 말하는데 ADHD 아동들은 일반 아동들에 비하여 과제 수행 시 특별히 큰 보상이 주어지거나 약물을 복용하지 않을 때에는 DMN의 억제에 어려움을 겪는 것으로 보고된다(Liddle et al., 2011). 앞췌기소엽은 DMN의 구성영역으로서의 기능뿐만 아니라, 자신(self)과 관련한 정보와 절차를 인출(retrieval)하는 과정에도 관여한다(Cavanna & Trimble, 2006). 그러나 DMN을 구성하는 전전두피질의 영역들의 활성화가 함께 발견되지 않아, ADHD 집단이 과제를 실패하는 데에는 이 영역을 비롯한 DMN의 활성화에 의하여 주의집중 분산현상이 발생하였을 것이라고 조심스럽게 추측해 볼 수 있다.

〈표 3〉 ADHD 학생의 AWS 과제 성공/실패 시 주요 뇌 활성화 영역

영역	BA	R/L	탈라이라크 좌표			z
			x	y	z	
성공 시행						
Middle Occipital Gyrus	18	L	-12	-96	14	5.52
	18	R	10	-96	16	4.89
Cuneus	18	L	-6	-101	9	4.84
Superior Parietal Lobule	7	R	26	-63	55	2.93
Inferior Parietal Lobule	40	L	-46	-39	44	3.78
Inferior Frontal Gyrus	10	L	-48	9	31	3.23
Precentral Gyrus	6	L	-38	-1	28	3.02
Thalamus		L	-4	-11	13	3.46
Cerebellar Tonsil		L	-30	-39	-38	2.98
실패 시행						
Cuneus	19	R	28	-90	27	3.21
Precuneus	7	L	-20	-60	40	3.17
Superior Parietal Lobule	7	R	32	-58	45	2.85
Inferior Parietal Lobule	40	R	40	-43	43	2.81
	40	L	-42	-39	41	3.73
Middle Occipital Gyrus	19	L	-36	-83	4	2.90
Fusiform Gyrus	37	R	48	-61	-17	3.15

* 모든 영역은 유의수준 .005 수준에서 유의함($p < .005$). BA=브로드만 영역(Broadman's area); R/L=우(right) 또는 좌(left)반구. 탈라이라크 좌표: 표준화된 3차원 공간의 뇌 표상으로 x(좌→우), y(뒤→앞), z(아래→위) 좌표로 표기함

3. ADHD 학생의 과제 조건별 뇌 활성화 패턴

ADHD 학생 집단 내에서 과제에서 요구되는 인지전환과 억제기능 수행 시 뇌 활성화 영역을 살펴보았다. 과제의 특성이 변화하여 반응규칙에 대한 인지적 전환을 요구하는 시행(전환: Switch)과 과제 특성의 변화 없이 반응규칙이 유지되는 시행(비전환: Non-switch)간 활성화 영역의 차이를 비교(전환 > 비전환)한 결과 상변연회(Supramarginal Gyrus), 중측두회(Middle Temporal Gyrus), 그리고 아래마루소엽(Inferior Parietal Lobule)의 두드러진 활성화를 발견하였다. 이 영역들을 통칭하여 베르니케 영역(Wernicke's area)이라고 하며 언어의 이해와 수용에 관여한다(정희정, 2006). 중측두회 역시 읽기기능과 관련한 영역으로 알려

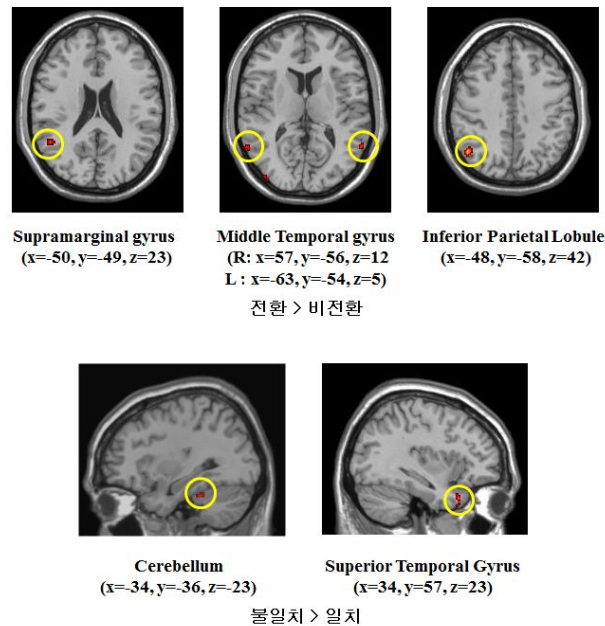
져 있다(George et al., 1999). AWS 과제에의 전환 조건은 이전 시행까지 유지하던 반응규칙이 이번 시행의 자극에서 새로운 규칙으로 전환되는 것으로 제시된 언어지시자극을 이해하여 적절한 반응규칙에 따르도록 하기 위한 인지기능 체계의 활성화를 요구한다. 따라서 이러한 영역들의 연대활성화는 과제에서 요구하는 반응규칙의 전환을 위해 필요한 언어적 정보를 받아들이고 활용하기 위한 것으로 볼 수 있다.

인지적 억제과제 수행 조건에서 뇌 활성화 패턴을 알아보기 위하여 화살표의 방향이 지시와 일치하는 경우(일치)와 화살표와 방향지시단어가 일치하지 않는 경우(불일치)의 활성화 영역을 비교하였다(불일치 > 일치). 분석결과 화살표와 방향지시단어의 불일치 조건의 과제 시행에서 소뇌(Cerebellum)와 상전두회(Superior Frontal Gyrus) 영역의 활성화를 발견하였다. 소뇌는 감각 인지의 통합과 운동근육의 미세 조정 및 제어에서 중요한 역할을 담당하는 것으로 알려져 있는데(Seidman, Valera, & Makris, 2005), 불일치 조건에서 시각적으로 제시된 방향지시단어의 지각과 동시에 단어의미에 대한 활성화가 일어나는 과정을 빠르게 억제하고 이를 반응규칙에 따라 판단하여 정확한 반응을 하고자 하는 과정에 소뇌가 중요한 역할을 하였다고 볼 수 있다.

〈표 4〉 ADHD 학생의 AWS 과제 하위 조건별 주요 뇌 활성화 영역

영역	BA	R/L	탈라이라 좌표			z
			x	y	z	
전환 > 비전환						
Supramarginal Gyrus	40	L	-50	-49	23	3.90
Middle Temporal Gyrus	21	L	-63	-54	5	2.81
	39	R	57	-56	12	3.23
Inferior Parietal Lobule	40	L	-48	-58	42	4.29
비전환 > 전환						
-						
불일치 > 일치						
Cerebellum		L	-34	-36	-23	3.48
Superior Frontal Gyrus	10	R	34	57	23	3.16
일치 > 불일치						
Cerebellar Vermis		R	4	-41	30	3.19

* 모든 영역은 유의수준 .005 수준에서 유의함($p < .005$). BA=브로드만 영역(Broadman's area); R/L=우(right) 또는 좌(left)반구. 탈라이라 좌표: 표준화된 3차원 공간의 뇌 표상으로 x(좌→우), y(뒤→앞), z(아래→위) 좌표로 표기함



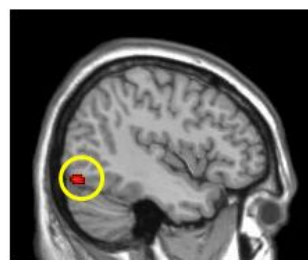
[그림 4] 인지전환 및 억제기능 시 주요 활성화 영역

AWS 과제에서 인지전환과 억제 시행에서 활성화된 뇌 영역을 확인한 데 이어, 두 차원의 인지 기능의 조합에 의한 네 조건의 활성화를 비교 분석하였다. 반응규칙의 전환이 요구되지 않는 비전환 조건에서 화살표의 방향과 방향지시단어가 일치하는 시행과 불일치하는 시행 간(비전환-일치 > 비전환-불일치)의 활성화 영역을 비교하였다. 분석결과 비전환-일치 조건의 과제 수행 시 상측두회(Superior Temporal Gyrus), 소뇌, 해마방회(Parahippocampal Gyrus) 등의 활성화를 발견하였다. 해마방회는 장면기억을 포함한 시각적 기억을 담당하는 영역으로 실제 기억과는 무관하게 친숙한 것과 그렇지 않은 것을 결정하는 역할 또한 담당하는 것으로 알려져 있다 (Poldrack et al., 1999). 이는 화살표의 방향이 일치되는 과제를 수행함으로써 일관된 방향성의 친숙함 혹은 적응성을 나타내는 결과라고 할 수 있다. 연구자들은 AWS 과제에서 특히 전환-불일치 조건은 인지전환과 인지적 억제를 모두 요구하는 복합적인 조건으로 실행기능을 수행하는 뇌 영역의 활성화를 탐색하기 위하여 매우 적절하다고 주장하였다. 이에 반응규칙의 변화로 인지적 전환이 요구되는 전환 조건에서 화살표의 방향과 방향지시단어가 일치하지 않는 시행과 일치하는 시행 간(전환-불일치 > 전환-일치)의 활성화 영역을 비교한 결과 중후두이랑과 하반월소엽(Inferior Semi-lunar Lobule) 등의 현저한 활성화를 발견하였다. 이는 반응규칙의 변화로 인하여 주어진 자극에 대한 패턴 파악에 필요한 주의집중 기능이 요구되면서 중후두이랑의 활성화가 관찰된 것으로 볼 수 있다.

〈표 5〉 ADHD 학생의 AWS 과제 인지기능 조합에 의한 하위 조건별 주요 뇌 활성화 영역

영역	BA	R/L	탈라이라 좌표			z
			x	y	z	
비전환-일치 > 비전환-불일치						
Superior Temporal Gyrus	38	R	40	7	-19	3.67
Parahippocampal Gyrus	28	L	-20	-18	-18	2.92
Cerebellum		L	-12	-32	-15	3.82
비전환-불일치 > 비전환-일치						
Fusiform Gyrus	19	R	36	-69	-12	4.59
Precuneus	7	L	-16	-71	61	4.29
Supramaginal Gyrus	40	R	42	-50	58	4.10
전환-일치 > 전환-불일치						
-						
전환-불일치> 전환-일치						
Middle Occipital Gyrus	18	R	46	-78	-10	3.61
Inferior Semi-lunar Lobule		R	8	-76	-37	3.36

* 모든 영역은 유의수준 .005 수준에서 유의함($p < .005$). BA=브로드만 영역(Broadman's area); R/L=우(right) 또는 좌(left)반구. 탈라이라 좌표: 표준화된 3차원 공간의 뇌 표상으로 x(좌→우), y(뒤→앞), z(아래→위) 좌표로 표기함



Middle Occipital Gyrus
(x=46, y=-78, z=-10)



Inferior Semi-lunar Lobule
(x=8, y=-76, z=-37)

(그림 5) 전환 조건 중 불일치-일치 과제 수행의 주요 뇌 활성화 영역

V. 결론 및 논의

ADHD의 인지적 결함은 실행기능의 손상에 의한 것이라고 알려져 있다. 이 연구에서는 실행기능의 전환 및 억제 영역의 복합적 기능을 요구하는 AWS 과제를 수행하는 동안 ADHD 학생과 일반 학생의 뇌 활성화 패턴을 비교하였다. 그 결과 일반 학생 집단에서는 주어진 과제의 수행에 직접적으로 관여하는 주의집중과 작업기억에 관련한 영역이 활성화된 반면, ADHD 학생 집단에서는 과제 수행 관련 영역을 포함한 다양한 영역들이 활성화된 것으로 나타났다. 이는 ADHD 학생이 주어진 과제를 수행하는 데 부가적인 다른 인지적 처리를 위한 뇌 영역을 활성화시키는 등 일반 학생과는 다른 인지체계를 작동하고 있는 것으로 해석된다. ADHD 학생 집단의 뇌 기능적 특성을 자세히 알아보기 위한 분석에서 인지전환과 반응억제의 기능을 동시에 요구하는 전환-불일치 조건과 전환-일치 조건의 활성화 영역을 비교한 결과 중앙후두골회와 하반월소엽 등의 현저한 활성화를 발견하였다. AWS 과제 수행의 정답율과 뇌 활성화 영역의 상관관계를 분석한 결과 과제 수행 정답율은 내측전두회와 정적인 상관을 나타냈다. 반면 오답율은 내측전두회를 포함하여, 상전두회, 중전두회, 전중심회, 중간측두회, 해마방회, 전대상피질, 편도체, 시상, 소뇌 등이 활성화되었다. 이러한 결과는 ADHD 학생 집단이 가진 부주의성 특징과 관련하여 설명될 수 있는데, 과제에 집중하기 위하여 자유사고 네트워크인 DMN을 억제하는 능력이 결핍되어 있다고 해석될 수 있다. 다시 말해, 자동적으로 활성화되는 인지 반응을 억제하는 기능과 과제에서 요구하는 인지기능을 성공적으로 수행하기 위한 인지전환에도 어려움이 있는 것으로 보이며, 이는 ADHD 학생 집단의 행동적 특징들을 가져오는 원인으로 여겨진다. 그러나 이러한 결과들을 도출한 표본 집단의 크기가 매우 작았다는 점에서 이 연구에서 제시한 결과를 일반화하여 해석하거나 전적으로 신뢰하기 어렵다는 점을 간과하지 말아야 할 것이다.

이 연구의 결과가 비록 적은 수의 연구 참여자로부터 얻어졌으나, ADHD 학생 집단과 일반 학생 집단 간의 뇌 활성화 패턴의 차이가 분명히 나타났고, 이는 교육장면에서 ADHD 학생들이 직면하는 어려움이 이들의 뇌 기능적 차이에 의한 것이라는 종전 연구 결과들을 지지한다. 앞서 여러 연구 결과들을 통해 뇌 가소성 개념에 바탕을 둔 인지증진훈련이 ADHD의 실행기능의 결함과 관련한 특징적 뇌 기능의 결함을 상쇄시키고, 특히 학업과 관련하여 ADHD 학생들에게 결핍된 작업기억력과 인지기능의 향상을 가져올 수 있음을 살펴보았다. 이를 토대로 인지증진치료에 기반한 중재 프로그램의 개발과 활용에 대하여 논의하고자 한다.

ADHD가 학령기 아동에게 흔히 발병하는 아동기 정신장애임에도 불구하고 이에 대한 의료적 진단과 치료가 일반화되지 않아 상당수의 ADHD 아동이 학교생활에 어려움을 경험하게 되므로 이들을 위한 교육적·치료적 중재 프로그램의 개발이 매우 시급하다. 현재 ADHD의 치료로는 정기적이고 장기적으로 약물을 투약하거나 전문가에 의한 훈련이 주를 이루고 있으며, 이는 치

료비용의 부담이 높고 시간과 장소가 특정된다는 단점을 가진다. 따라서 경미한 수준에서 ADHD로 진단받았으나 의료적 처치를 받지 못하는 아동이나 또는 학교생활에서 ADHD의 특징적인 문제행동에 해당하는 유사 행동을 보이는 아동의 학교적응과 학습능력 향상을 돕기 위해 일반적이고 효과적인 중재 프로그램을 개발할 필요가 있다.

많은 선행 연구들은 ADHD의 특징적 문제행동이 뇌의 실행기능 결함에서 비롯되고 지속적인 인지훈련이 뇌 가소성을 촉진시켜 뇌 기능의 회복과 발달을 도울 수 있음을 보여준다. 이는 인지증진훈련의 필요성과 효과성에 대한 근거가 될 수 있으며, 이러한 훈련이 실행기능을 중심으로 구성되어야 함을 시사한다. 특히 실행기능을 구성하는 하위 인지기능 중 작업기억은 연구자들에 의하여 공통적으로 지적되는 기능부전 영역(Barkley, 1997b; Castellanos & Tannock, 2002; Martinussen et al., 2005; Rapport et al., 2000)이므로 이 영역의 훈련을 우선적으로 시도할 필요가 있다. 작업기억은 실행기능의 핵심요소로(Klingberg et al., 2005), 아동의 학습이나 언어 장애와 관련이 있고(McLean & Hitch, 1999), 작업기억의 손상은 학습에 직접적인 영향을 미쳐 학업성취도를 저하시킬 수 있으며(Gathercole et al., 2004) 사회적 상호작용에도 부정적 영향을 준다(Alloway et al., 2005)는 점에서 ADHD 아동을 위한 중재 프로그램 개발 시 훈련 영역으로서 최우선적으로 고려될 필요가 있다.

ADHD는 학령기에 흔하게 발견되는 소아정신장애로 학교 현장에 ADHD 아동의 수가 상당한 것으로 알려져 있다. 이들은 가정에서 조기 발견되어 적절한 치료와 중재를 받는 경우보다는 가정에서 ADHD 여부를 인지하지 못한 채 방치되는 경우가 더 많다. 학교장면에서 ADHD 아동은 수업에 주의를 집중하지 못하며, 수업시간 내내 책상에 앉아 있기 힘들어하고 교실을 배회하며, 의자를 흔들거나 책상을 두드리거나 소리를 지르기 때문에(DuPaul & Stoner, 2003) 교사에 의한 발견이 오히려 수월한 면이 있다. ADHD의 이러한 증상은 연령이 높아짐에 정서·행동장애, 충동장애, 학습장애 등과 같은 공존질환의 발병으로 인해 더욱 악화되기 때문에, ADHD는 조기 진단에 의한 조기 치료의 효과성이 높은 정신질환이라 할 수 있다(최진오, 2008; Jensen et al., 2001). 이런 이유로 ADHD 증상이 객관적으로 관찰 가능한 학령기 초기에 ADHD 아동에 대한 최대한 빠른 진단과 중재가 필요하다. 의무교육이 시작되는 초등학교 시기는 공존질환의 가능성도 낮은 시기로서, 학교 현장에서 가장 오랜 시간 학생들을 관찰하는 담임교사가 ADHD 아동을 조기 발견하고 후속 조치를 취할 수 있다면 ADHD 증상 호전의 효과를 높일 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 중재 프로그램의 개발은 초등학생을 대상으로 개발되어야 하며, 이 프로그램은 학교 현장에서의 조기 치료에 방점을 두고 교내 상담교사 혹은 담임교사에 의한 시행이 가능해야 할 것이다. 또한 교사가 일정 기간 동안 일일 훈련 시간을 염수하여 ADHD 학생에게 프로그램을 적용할 수 있도록 컴퓨터 기반의 적응적(adaptive) 프로그램의 형태로 개발될 필요가 있다.

이 연구에서는 ADHD 아동들이 일반 아동들과 뇌 기능적 차이를 보인다는 fMRI 영상 분석 결과와 ADHD의 뇌신경학적 특성에 대한 선행 연구들을 바탕으로 ADHD 초등학생을 위한 인

지증진훈련 프로그램의 개발 필요성을 제기하였다. ADHD에 대한 중재 프로그램의 투입이 단기간에 효과를 나타내기는 어려우나 꾸준한 훈련은 손상된 뇌 기능을 회복시키며 이러한 뇌 기능 회복은 나이가 어릴수록 더욱 유리하다(신민섭, 김현미, 2005). 이에 발달에 따라 다양한 공존장애를 동반하는 ADHD를 아동기 초기에 치료하기 위한 시도가 반드시 필요할 것이며, 정신장애로서의 중대한 문제로 다루어지기 힘든 경증의 ADHD 아동을 위한 훈련 프로그램의 개발과 보급이 매우 필요한 시점이라 하겠다.

참 고 문 헌

- 강경숙, 이명희(2007). 뇌과학 이론에 기초한 장애아동의 교육적 적용 탐색. **유아특수교육연구**, 7(3), 165-188.
- 곽금주, 오상우, 김청택(2011). **한국 웨슬러 아동 지능검사(K-WISC-IV) 지침서**. 서울: 학지사.
- 김동일 (2009) 편역. **ADHD 학교상담**. 서울: 학지사. DuPaul, G. J., & Stoner, G. (2003). *ADHD in the Schools: Assessment and Intervention Strategies* (2nd Ed.).
- 김성일(2006). 뇌기반 학습과학: 뇌과학이 교육에 대해 말해주는 것은 무엇인가? **인지과학**, 17(4), 375-398.
- 김진구, 김홍근(2008). ADHD 아동의 전두엽-관리기능. **한국심리학회지: 임상**, 27(1), 139-152.
- 박순말, 신민섭(2010). 주의력결핍 과잉행동장애, 불안장애 아동의 실행기능 비교. **소아청소년정신의학**, 21(3), 147-152.
- 박현진, 배주미, 허자영, 김영화, 송현주, 이수림, 허지은(2010). ADHD 아동-부모 프로그램 개발. **한국청소년상담원 연구보고서, 청소년상담연구**, 153.
- 배대석, 서완석, 구본훈, 박권생, 정자은(2006). ADHD 하위유형에 따른 관리기능 결함양상. **한국심리학회지: 건강**, 11(2), 275-299.
- 송현주(2007). 학습 장애에 인지증진치료의 활용 고찰. **심리치료**, 7, 1-22.
- 신민섭, 김현미(2005). 발달 신경심리학. **소아·청소년정신의학**, 16(1), 33-46.
- 신민섭, 김현미, 온싱글, 황준원, 김봉년, 조수철(2006). 주의력결핍 과잉행동 장애, 아스퍼거 장애, 학습 장애 아동의 실행 기능 비교. **소아·청소년정신의학**, 17(2), 131-140.
- 이명주, 김귀애, 김상엽, 홍창희(2004). 주의력결핍 과잉행동 장애 아동의 억제능력, 계획능력, 그리고 작업기억능력. **소아·청소년정신의학**, 15(1), 82-90.
- 이명주, 안성우, 김학진, 서유경(2007). 아동기 장애에 대한 뇌과학적 접근: 읽기장애, ADHD, 자폐증을 중심으로. **특수교육저널: 이론과 실천**, 8(1), 153-172.
- 이명희(2006). 주의력결핍 과잉행동장애 아동의 부주의와 충동성 감소를 위한 인지 중재 집단 프로그램의 효과. 박사학위 논문, 서울여자대학교 특수치료전문대학원.
- 이정림, 강경숙(2012). Review on the characteristics, changed definition of ADHD and the impact of ADHD on students' life. **한국아동심리치료학회지**, 7(1), 115-137.
- 이효신, 손양희(2003). 주의력결핍과잉행동 장애 아동의 실행기능 분석. **정서·행동장애 연구**, 19(4), 243-263.
- 정희정(2006). 학습장애의 신경생물학적 기전: 읽기장애를 중심으로. **Korean Journal of Pediatrics**, 49(4), 341-353.

- 조수철, 김봉년, 김재원, 김효원, 최현정, 정선우, 한성희(2007). 한국어판 DISC-IV (Diagnostic interview schedule for children version IV) 의 신뢰도 및 타당도. *소아청소년정신의학*, 18(2), 138-144.
- 최진오(2008). 주의결핍/과잉행동성장애(ADHD)의 뇌과학적 기제와 교육중재방안. *학습장애연구*, 5(2), 23-42.
- 홍선주, 이명진, 진경애(2013). ADHD 학생의 뇌영상 진단 및 뇌기반 훈련 프로그램 개발. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2013-3.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A. M., Willis, C., Eaglen, R., & Lamont, E. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(3), 417-426.
- Barkley, R. A. (1997a). *ADHD and the nature of self control*. New York: Guilford Press.
- Barkley, R. A. (1997b). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
- Beck, S. J., Hanson, C. A., Puffenberger, S. S., Benninger, K. L., & Benninger, W. B. (2010). A controlled trial of working memory training for children and adolescents with ADHD. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 39(6), 825-836.
- 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.
- Carmona, S., Vilarroya, O., Bielsa, A., Tremols, V., Soliva, J. C., & Rovira, M. (2005). Global and regional gray matter reductions in ADHD: a voxel-based morphometric study. *Neuroscience letters*, 389(2), 88-93.
- Castellanos, F., Lee, P. P., Sharp, W., Jeffries, N. O., Greenstein, D. K., & Clasen, L. S. (2002). Developmental trajectories of brain volume abnormalities in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, 288(14), 1740-1748.
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: the search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 617-628.
- Cavanna, A. E., & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129(3), 564-583.
- Coull, J. T., Jones, M., Egan, T. D., Frith, C. D., & Maze, M. (2004). Attentional effects of

- noradrenaline vary with arousal level: selective activation of thalamic pulvinar in humans. *Neuroimage*, 22(1), 315-322.
- Doyle, A. E. (2006). Executive functions in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Psychiatry*, 67, 21-26.
- Durston, S. (2003). A review of the biological bases of ADHD: what have we learned from imaging studies? *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 9(3), 184-195.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1-16.
- George, M., Kutas, M., Martinez, A., & Sereno, M. I. (1999). Semantic integration in reading: engagement of the right hemisphere during discourse processing. *Brain*, 122(7), 1317-1325.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2010). Poor working memory: Impact and interventions. *Advances in child development and behavior*, 39, 1-43.
- Jensen, P. S., Hinshaw, S. P., Kraemer, H. C., Lenora, N., Newcorn, J. H., & Avikoff, H. B. (2001). ADHD comorbidity findings from the MTA study: Comparing comorbid subgroups. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 40(2), 147-158.
- Kim, C., Johnson, N. F., & Gold, B. T. (2012). Common and distinct neural mechanisms of attentional switching and response conflict. *Brain research*, 1462, 92-102.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., Gillberg, C. G., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD - A randomized, controlled trial. *Journal of ACAD Child and adolescent Psychiatry*, 44(4), 177-186.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with working memory. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-791.
- Leshikar, E. D., Duarte, A., & Hertzog, C. (2012). Task-selective memory effects for successfully implemented encoding strategies. *PloS one*, 7(5), e38160.
- Liddle, E. B., Hollis, C., Batty, M. J., Groom, M. J., Totman, J. J., Liotti, M., & Liddle, P. F. (2011). Task related default mode network modulation and inhibitory control in ADHD: effects of motivation and methylphenidate. *Journal of Child Psychology and*

- Psychiatry*, 52(7), 761-771.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(4), 377-384.
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 240-260.
- Mechelli, A., Humphreys, G. W., Mayall, K., Olson, A., & Price, C. J. (2000). Differential effects of word length and visual contrast in the fusiform and lingual gyri during. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1455), 1909-1913.
- Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H., Sawamoto, N., & Shibasaki, H. (1999). Transient neural activity in the medial superior frontal gyrus and precuneus time locked with attention shift between object features. *Neuroimage*, 10(2), 193-199.
- Nigg, J. T. (1999). The ADHD response-inhibition deficit as measured by the stop task: Replication with DSM-IV combined type, extension, and qualification. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 27, 393-402.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79.
- Pennington, B., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37, 51-87.
- Polanczyk, G., de Lima, M., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: A systematic review and metaregression analysis. *The American Journal of Psychiatry*, 164, 942-948. (이정림, 강경숙 (2012). Review on the characteristics, changed definition of ADHD and the impact of ADHD on students' life. *한국아동심리치료학회지*, 7(1), 115-137.에서 재인용)
- Poldrack, R. A., Prabhakaran, V., Seger, C. A., & Gabrieli, J. D. (1999). Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. *Neuropsychology*, 13(4), 564.
- Portas, C. M., Rees, G., Howseman, A. M., Josephs, O., Turner, R., & Frith, C. D. (1998). A specific role for the thalamus in mediating the interaction of attention and arousal in humans. *The Journal of Neuroscience*, 18(21), 8979-8989.
- Radua, J., Phillips, M. L., Russell, T., Lawrence, N., Marshall, N., Kalidindi, S., & Surguladze, S. A. (2010). Neural response to specific components of fearful faces in healthy and

- schizophrenic adults. *Neuroimage*, 49(1), 939-946.
- Rapport, M., Chung, K. M., Shore, G., Denney, C. B., & Isaacs, P. (2000). Upgrading the science and technology of assessment and diagnosis: Laboratory and clinic-based assessment of children with ADHD. *Journal of clinical child psychology*, 29(4), 555-568.
- Rutledge, K. J., Bos, W., McClure, S. M., & Schweitzer, J. B. (2012). Training Cognition in ADHD: Current Findings, Borrowed Concepts, and Future Directions. *Neurotherapeutics*, 9(3), 542-558.
- 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., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder? *Behavioral Brain Research*, 130, 3-28.
- Stevens, J., Quittner, A. L., Zuckerman, J. B., & Moore, S. (2002). Behavioral inhibition, self-regulation of motivation, and working memory in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Developmental Neuropsychology*, 21, 117-139.
- Tamm, L., Hughes, C., Ames, L., Pickering, J., Silver, C. H., Castillo, C. L., Rintelmann, J., Moore, J., Foxwell, A., Bolanos, S. G., Hines, T., Nakonezny, P. A., & Emslie, G. (2010). Attention Training for School-Aged Children With ADHD: Results of an Open Trial. *Journal of Attention Disorders*, 14(1), 86-94.
- Toplak, M. E., Connors, L., Shuster, J., Knezevic, B., & Parks, S. (2008). Review of cognitive, cognitive-behavioral, and neural-based interventions for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Psychology Review*, 28, 801-823.
- Uddin, L. Q., Kelly, A. M., Biswal, B. B., Margulies, D. S., Shehzad, Z., Shaw, D., & Milham, M. P. (2008). Network homogeneity reveals decreased integrity of default-mode network in ADHD. *Journal of neuroscience methods*, 169(1), 249-254.
- Vaidya, C. J., & Stollstorff, M. (2008). Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder: current status and working hypotheses. *Developmental disabilities research reviews*, 14(4), 261-267.
- Waberski, T. D., Gobbelé, R., Lamberty, K., Buchner, H., Marshall, J. C., & Fink, G. R. (2008). Timing of visuo-spatial information processing: electrical source imaging related to line bisection judgements. *Neuropsychologia*, 46(5), 1201-1210.
- Waschbusch, D. A., & Hill, G. P. (2003). Empirically supported, promising, and unsupported

- treatments for children with attention-deficit/hyperactivity disorder. In S. O. Lilienfield, S. Jay Lynn, & J. M. Lohr (Eds.), *Science and pseudoscience in clinical psychology*. New York: Guilford Press. (Toplak, M. E., Pitch, A., Flora, D. B., Iwenofu, L., Ghelani, K., Jain, U., & Tannock, R. (2009). The unity and diversity of inattention and hyperactivity/impulsivity in ADHD: evidence for a general factor with separable dimensions. *Journal of abnormal child psychology*, 37(8), 1137-1150.에서 재인용)
- Willcutt, E. G., Doyle, A. S., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biological Psychiatry*, 57, 1336-1346.
- Wolosin, S. M., Richardson, M. E., Hennessey, J. G., Denckla, M. B., & Mostofsky, S. H. (2009). Abnormal Cerebral Cortex Structure in Children with ADHD. *Human Brain Mapping*, 30, 175-184.

• 논문접수 : 2014-09-01/ 수정본접수 : 2014-09-30/ 게재승인 : 2014-10-13

ABSTRACT

Analysis of ADHD Children's Cognitive Function using fMRI

Sunjoo Hong

(Researcher, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

Young-Don Son

(Assistant Professor, Gachon University)

Tae-Je Seong

(Professor, Ewha Womans University)

Sungsook Kim

(Senior Researcher, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

Kyung-Ae Jin

(Senior Researcher, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

Myung-Jin Lee

(Assistant Researcher, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

Currently, school bullying and suicidal ideation and behavior of adolescents are important causes of undermining the quality of education and satisfaction at public school. Students who experience school bullying and suicidal behavior have diverse psychological difficulties including Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). ADHD is a kind of mental disorder that is commonly detected in school-aged children and could be one serious origin of bullying and depression lead to suicide of adolescents. In the current study, we compared the brain activation patterns between ADHD children and normal children during Arrow-Word Stroop task using fMRI. The result indicated ADHD childrens' deficits of goal-driven cognition ability such as Default Mode Network (DMN) inhibition and cognitive set shifting. We suggested the necessity of development and application of cognitive enhancement training program for children who diagnosed ADHD and have similar symptoms of ADHD in early childhood.

Key Words : Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), brain function, functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), Cognitive Enhancement Training

