

주의력결핍 과잉행동장애(ADHD) 아동의 작업기억 과제 수행 시 fMRI 분석

Analysis of Working Memory for Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) Children using fMRI

이용기*, 안성민**

가천대학교 뇌과학연구원*, 가천대학교 방사선학과**

Yong-Ki Lee(yklee@gachon.ac.kr)*, Sung-Min Ahn(sman@gachon.ac.kr)**

요약

주의력결핍 과잉행동장애(ADHD) 학생의 지적결함, 학습 문제 및 저조한 학업 성취는 이들이 정상 학생에 비해 현저하게 낮은 지능을 가졌기 보다는 주의를 집중하지 못하는 특성 때문이다. 따라서 본 연구에서는 ADHD 학생들과 정상군 학생들의 뇌기능영상을 비교 분석함으로써 ADHD 학생들의 뇌기능 차이와 작업기억 과제 시 나타나는 뇌의 활성화영역의 차이를 보고자 하였다. 인천지역 초등학교 학생 26명을 대상으로 뇌기능영상과 임상설문검사를 실시하였으며, 뇌기능영상의 자극은 작업기억으로 하였다. 분석에는 통계적 파라미터 지도작성법과 사회과학통계패키지를 이용하여 단일표본 t 검정, 두 표본 t 검정, 다중 회기 분석 등으로 분석 하였으며, 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 에서 나타내었다. 그 결과 ADHD 학생들의 전두 피질, 두정엽 피질, 시상, 미상핵 등 많은 부분에서 불균형적인 발달을 볼 수 있었다. 또한, 작업기억 과제 수행의 어려움을 느낄수록 일부 안와 전두 피질, 해마가 활성화되었다. 보다 많은 ADHD 학생들의 대상자가 확보되어 ADHD 유형별 연구가 필요하며, 뇌기능영상에서 보다 많은 자극으로 실험한다면 ADHD 학생들의 전반적인 뇌기능평가에 유용할 것으로 판단된다.

■ 중심어 : | 주의력결핍과잉행동장애 | 작업기억 | 뇌기능영상 |

Abstract

Attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) students' intellectual defects, learning problems, and poor academic achievements seem to be due to significantly lower intelligence compared to the normal students, but rather the characteristic of inability to pay attention at a given time can be seen as the more attributing reason. In this study, a comparison between the ADHD students and the normal students will be performed using a fMRI analysis in order to differentiate the brain function between the two groups during a working memory task performance and to assess the difference in the activated regions of the brain. Clinical survey examinations and fMRI measurements were performed for a group of 26 elementary students from the Incheon area. The stimulus of fMRI was a working memory. Cartography statistically analyzed parameters and the Statistical Package of Social Sciences using single-sample t-test, two-sample t-test, were analyzed by multiple regression analysis, the statistical significance level was $p < 0.05$ in, respectively.

The disproportionate developments could be seen in the ADHD students group such as the frontal cortex, parietal cortex, thalamus, and caudate nucleus, among others. In addition, as some students felt the increase in the difficulty of working memory task performance, the orbitofrontal cortex and the hippocampus were activated, which seems to be the result of an effort for looking for an answer. More types of ADHD students needs to be secured as research subjects, and more stimulations for fMRI experiments should be considered as it would be useful in the overall evaluation of brain function.

■ keyword : | ADHD | Working Memory | fMRI |

* 본 논문은 2014년 석사학위 청구 논문 중 일부임

접수일자 : 2014년 09월 25일

수정일자 : 2014년 11월 25일

심사완료일 : 2014년 12월 05일

교신저자 : 안성민, e-mail : sman@gachon.ac.kr

I. 서론

학습 장애 혹은 학습 부진과 가장 밀접하게 관련되는 장애는 주의력결핍 과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD)라고 한다. ADHD 학생의 10~92%는 학습부진과 학습장애를 동반한다[1]. 하지만 위와 같은 증후는 이들이 정상 학생에 비해 현저하게 낮은 지능을 가졌기 보다는 주의를 집중하지 못하는 특성 때문이다[2].

Barkley(1989)는 ADHD를 ‘과잉운동증’, ‘과잉운동반응’, ‘과잉운동증후’ 등의 용어로 사용하였다[3]. 이는 아동의 과잉행동과 운동 불안정성이 강조되었기 때문이다. 이후 많은 연구가 진행되면서 과잉행동의 중요성은 감소하고 주의력결핍이 중요하게 여겨졌다. 이를 기반으로 DSM-III(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 1980)에서는 주의력결핍 장애를 과잉행동이 수반되는 것(ADHD)과 수반되지 않는 것으로 구분하였다.

가장 최근의 ADHD의 개념은 DSM-IV(1994)에 잘 나타내어지는데, DSM-IV에 따르면 ADHD가 크게 주의력결핍과 과잉행동충동성으로 구성되어 있다. 이 두 가지 요인은 다시 세 개의 하위 유형으로 나뉘는데, ‘주의력결핍 우세형’, 과잉행동충동성 우세형’, 그리고 이들이 합쳐진 ‘복합형’이다[4][5].

ADHD 학생 중 주의력결핍에 문제를 가지는 학생들의 임상적 특성을 보면, 한 활동에서 다른 활동으로 빠르게 옮겨 다니며, 다른 사람의 말을 주의 깊게 듣지 않고, 주의를 쉽게 분산되며, 집중을 잘 못하고, 한 가지 일을 꾸준하게 하지 못하며, 백일몽에 빠지거나 물건을 빈번하게 잃어버린다고 말한다[6].

과잉행동 학생들은 보통 학생들의 동작과는 다르게 지나치게 힘이 넘치며, 위협스럽고, 조화가 이루어지지 않고 행동의 목표가 결여된 것처럼 보일 수 있다. 다른 사람의 바람이나 특정 장소의 요구에 맞추어 자신의 행동을 조절하는데 어려움을 겪는 것처럼 보인다. 특히 암전히 앉아 있어야 할 때, 개개인에게 주의를 기울이지 않고 집단으로 어떤 일을 할 때, 익숙하고 반복적인 일에 집중해야 할 때 등에서 문제가 일어날 가능성이

크다[6].

충동성의 본질은 생각하지 않고 행동하는 데서 드러나듯이 행동 억제 능력의 결여에 있다. 참고 억제하고 행동을 통제하는 능력이 부족한 것이다. 충동성의 학생들은 어떠한 과제에서 상대적으로 빠르게 답을 고르면서 오답을 나타낸다[6].

Matters(1980)는 ADHD가 전두엽기능장애, 특히 전전두엽영역(Prefrontal area)을 연결하는 경로상의 결함으로 발생된다고 주장하였다[7]. ADHD 학생들이 전두엽에서 혈류와 신진대사, EEG(Electroencephalogram) 활성화의 감소를 보이고, 과거에 ADHD문제를 보였던 ADHD학생의 부모들도 전두엽에서 저하된 신진대사율을 보인다는 MRI(자기공명영상, Magnetic Resonance Imaging), SPECT(단일 광자 단층촬영, Single Photon Emission Computed Tomograph), PET(양전자 방출 단층 촬영, Positron Emission Tomography), EEG를 사용한 연구결과들이 그 증거가 된다[8-11].

ADHD에서 전전두엽(Prefrontal cortex)과 기저핵(Basal ganglia) 그리고 뇌량(Corpus callosum) 등은 구조이상의 주된 관심영역이다. 특히 ADHD와 관련이 깊은 신경전달물질인 도파민이 주된 신경물질로 관여하는 영역 중 하나인 기저핵은 전전두엽과 상호 밀접한 연관을 맺고 있으며, 기능적으로도 상호작용을 하는 것으로 알려져 있다. 이 중 미상핵(Caudate nucleus)의 비대칭성이 소실되었거나 역전되어 있다는 보고가 있다[12].

MRI 검사에서 ADHD를 가진 아이들은 전두전엽 피질, 기저핵 등을 포함한 몇 가지 뇌의 구조가 작다는 것을 보고하였다[13]. 전두엽피질은 주의력과 각성유지, 충동 조절 및 목표 지향적 활동의 기능을 담당하는 부위이고, 특히 전전두엽은 선택적 주의력에 중요한 부분이다. 또한 선조체, 특히 미상핵의 이상도 중요하다. 선조체의 이상은 도파민계의 낮은 활성화와 관련하여 과다 활동이나 충동성을 유발한다. 선조체는 전두엽으로부터 억제성 조절을 받으므로 이 두 영역의 기능이상은 서로 밀접한 관계를 가지고 있다[14].

ADHD 학생들은 주의력 과제에서 정상학생에 비해 전전두엽(prefrontal lobe)에 이상이 있는 것으로 보이

며[15], 신경심리검사나 PET 등을 이용한 많은 연구에서 이를 확인하였다[16].

최근 Vance 등 [17]의 연구에 따르면 공간 작업기억 과제를 이용한 뇌기능검사에서 설상엽(Cuneus), 췌기앞소엽(Precuneus), 하측 두정엽(Inferior parietal lobe), 미상핵의 낮은 활성도를 보였다. 그러나 선정 과제의 특성상 우뇌의 기능 장애에 초점을 둔 연구로 연구결과를 그대로 받아들이는데 제한점을 가질 수밖에 없었다.

따라서, 본 연구는 ADHD 학생들과 정상군 학생들의 뇌기능영상을 통하여 뇌의 전반적인 활성 정도와 특성을 알아보고자 하였다. 특히 정상군 학생들과 비교해 작업기억 과제 수행 시 특정 영역에 문제가 있는지와 뇌 발달의 균형정도를 알아보았다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상자 총 35명 중 MRI 검사하지 않은 학생 1명 과 설문검사를 하지 않은 학생 8명을 제외하여 26명(평균나이=10.38±1.33세, 남학생 15명, 여학생 11명)의 자료를 사용하였다. 참가한 학생들은 뇌기능영상검사 전에 길병원 신경과에서 신경심리상담을 받으며 DSM-IV기준에 따라 정상군 학생과 ADHD 학생으로 분류하였다. ADHD 학생은 10명(평균나이=10.2±1.4세, 남학생 8명, 여학생 2명), 정상군 학생은 16명(평균나이=10.5±1.32세, 남학생 7명, 여학생 9명)이다. 대상자들은 인천광역시 소재 초등학교 학생들이며, 2012년 1월 13일부터 2012년 5월 26일까지 가천대학교 뇌과학연구원에 방문하여 자기공명영상과 아동용 지능검사인 K-WISC-IV(Korean Wechsler Intelligence Scale For Children-IV)를 실시하였다. K-WISC-IV는 미국의 웨슬러 아동지능 검사를 광금주, 오상우, 김정택이 2011년에 표준화한 아동용 개인 지능검사 도구로, 만6세-16세 아동을 대상으로 한다. K-WISC-IV는 아동의 전반적인 능력을 의미하는 지능지수(FSIQ)와 4개의 하위지표인 언어이해, 시각추론, 작업기억, 처리속도에 대하여 환산 점수가 도출 된다.

2. 연구방법

대상자와 학부모가 가천대학교 뇌과학연구원에 방문하게 되면 각자 다른 장소에서 연구에 대한 설명을 듣게 되며, 가천대학교 길병원IRB(GCIRB2930-2012)에서 허가해준 동의서와 증례기록지를 작성한다. 연구에 대한 동의가 이루어지면 뇌기능영상 검사에 대한 설명을 듣고 수행과제에 대한 연습을 시행한다. 이후 MRI장비에 들어가 뇌기능영상 및 해부학적 영상을 30분간 검사한다.

연구에 사용된 MRI 장비는 3T MRI(Verio; Siemens, Erlangen, Germany)로 병원 진단용 전신 MRI로 널리 사용되고 있다.

MRI검사는 뇌기능검사와 기능 영상 결과 분석을 위한 해부학적 영상을 획득하였다. 뇌기능영상의 프로토콜은 EPI (Echo Planar Imaging) 시퀀스로 TR (Repetition Time)=3000ms, TE (Echo Time)=30ms, FA (Flip Angle)=90°, voxel size=3.5x3.5x3.5 mm³로 검사하였으며, 해부학적 영상은 3D MPRAGE(Magnetization Prepared RAPid Gradient Echo) 시퀀스로 TR=1900ms, TE=3.3ms, TI (Inversion Time)=900ms, FA=9°, FOV=208x256, voxel size=0.5x0.5x1.0 mm³로 검사하였다.

뇌기능영상 검사를 위해 MRI 뒤쪽에 프로젝터와 거울을 설치하여 자극이 거울에 반사되게 하였으며, head coil에도 거울을 설치하여 반사된 자극을 누워서도 볼 수 있게 하였다. 뇌기능영상의 자극은 Stream dx (Samsung medical center, Department of Radiology, Chanhong Moon, 2001.6.25.) 라는 프로그램을 통하여 실행하였다. Stream dx 는 MRI 신호가 나오는 즉시 재생 할 수 있는 설정이 가능하며, 자극의 이미지 파일과 디자인 패러다임만 있으면 실행 가능하여 뇌기능영상에 유용한 프로그램이다.

뇌기능영상의 자극은 작업기억으로 n 번째 이전에 나온 자극을 기억하는 N-Back task로 하였다. 자극은 하얀색 네모와 하얀색 세모가 무작위로 나오며, 현재 나온 도형과 2 번째 이전에 나온 도형이 같으면 버튼을 누르고, 같지 않으면 누르지 않는다. Rest는 30초 동안 중앙에 하얀 점이 1.2초, 하얀색 십자가가 0.8초씩 반복

되어 나오도록 되어있다. Task는 30초 동안 흰색의 삼각형과 사각형이 1.2초씩 반복되어 나오게 되는데 도형과 도형 사이에 하얀색 십자가가 0.8초씩 나오도록 되어있다. Task의 시작과 끝엔 빨간색 십자가와 파란색 십자가가 나오게 함으로써 대상자들이 시작과 끝을 알 수 있게 하였다[그림 1].

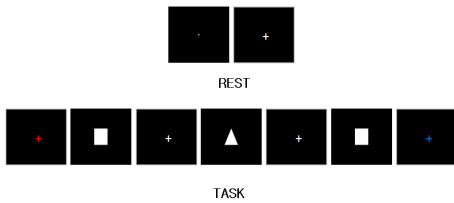


그림 1. 작업기억 자극

3. 분석방법

뇌기능영상의 분석에는 SPM (Statistical Parametric Mapping) (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>)을 사용하였다. SPM은 MATLAB (The MathWorks, Inc, <http://www.mathworks.co.kr/products/matlab/>)에서 실행이 되고, 이번 연구 분석 방법에선 SPM8과 MATLAB R2012b가 사용되었다. SPM은 fMRI(뇌기능영상, functional Magnetic Resonance Imaging) 뿐만 아니라 PET, SPECT, EEG에 대한 분석도 가능한 프로그램이다.

SPM8을 이용한 프로세싱은 크게 전처리 과정과 모델 구체화 과정으로 나누어진다. 전처리 과정은 재편성(Realign), 공동등록(Coregistration), 정규화(Normalization), 평탄화(Smoothing) 단계로 나뉘며, 모델 구체화 과정은 1차 수준 모델 구체화 과정과 2차 수준 모델 구체화 과정으로 분석한다. 1차 수준 모델 구체화 과정에선 각각의 대상자가 rest와 task를 비교하여 뇌의 활성도를 보여준다. 2차 수준 모델 구체화 과정은 1차 수준 모델 구체화 과정에서 나온 콘트라스트 파일을 이용하여 단일표본 t 검정, 두 표본 t 검정, 다중 회귀 분석 등으로 분석 하였으며, 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 에서 나타내었다. 또한 SPSS(Statistical Package for Social Science) 21.0을 이용하여 통계학적 검증을 실시하였다.

III. 실험결과

1. 그룹별 fMRI 분석

정상군 학생들과 ADHD 학생들에 대하여 작업기억 과제 수행 시 그룹별 뇌의 활성화 정도를 분석하였다. 각각의 그룹별로 분석을 함으로써 정상군 학생들과 ADHD 학생들에 대한 평균적인 뇌의 활성화 정도를 알 수 있다.

첫 번째로 [그림 2]에서 보듯이 정상군 학생들의 작업기억 과제 수행 시 뇌의 활성화 영역을 보면 양쪽 보완 운동 피질(Supplementary motor cortex), 중앙 전두 피질(Middle Frontal cortex), 상측 전두엽(Superior frontal cortex), 상부 내측 전두엽 피질(Superior medial frontal cortex), 뇌섬엽(Insula), 미상핵, 조거 피질(Calcarine cortex), 시상(Thalamus), 상측과 하측 두정엽(Superior and Inferior parietal cortex), 각 피질(Angular cortex), 췌기앞소엽(Precuneus) 등이 강하게 활성화된 것을 볼 수 있다.

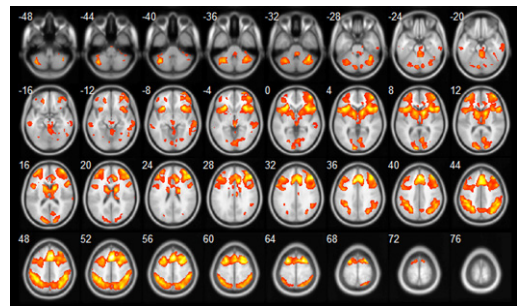


그림 2. 정상군 학생들에 대한 과제 수행 시 활성화 영역

두 번째로 [그림 3]에서 보듯이 ADHD 학생들의 작업기억 과제 수행 시 뇌의 활성화 영역을 보면 양쪽 보완 운동 피질, 중앙 전두 피질, 상측 전두엽, 상부 내측 전두엽 피질, 뇌섬엽, 하측 두정엽 피질 등이 활성화 된 걸 볼 수 있다. 하지만 정상군 학생들의 비해서 ADHD 학생들이 전체적인 활성화도가 낮은 것을 볼 수 있으며, 특히 전두 피질, 두정엽 피질 부분이 정상군 학생들은 대칭적으로 강하게 나타나는 반면 ADHD 학생들은 비대칭적인 활성화를 보이고 있다.

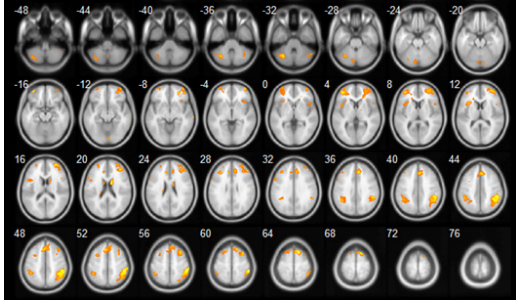


그림 3. ADHD 학생들에 대한 과제 수행 시 활성화 영역

2. 두 그룹 간 fMRI 비교 분석

ADHD 학생들이 정상군 학생들과 비교하여 작업기억 과제 수행 시 뇌 활성화 영역에 어떠한 차이가 있는지 비교 분석 하였다.

우선 각각의 대상자들의 1차 수준 구체화 모델에서 나온 콘트라스트 파일에서 5군데의 ROI(Region of Interest)에서 활성화 정도를 보았다[그림 4][표 1], 에서 보듯이 정상군 학생들과 ADHD 학생들의 평균 활성화 정도는 유효한 차이를 보이지 않았고, 표준편차에선 유효한 차이를 보이고 있다. 따라서 [표 2]의 K-WISC-IV 검사 결과 중 하나인 작업기억 점수를 확인 하였다. [그림 5]에서 보듯이 정상군 학생들의 작업기억 점수와 ADHD 학생들의 작업기억 점수의 교차점인 89점을 기준으로 정상군 학생들 중에선 점수가 낮은 학생 6명과 ADHD 학생들 중에선 점수가 높은 학생 4명을 제외하여 비교 분석 하였다.

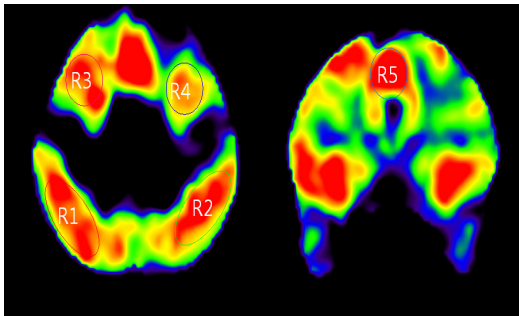


그림 4. 5군데의 ROIs : R1-R5

표 1. 측정된 ROIs 데이터 분석 : R1-R5

	모집군	N	평균	표준편차	유의확률
ROI1	정상군	16	1.5165791	1.12693398	0.866
	ADHD	10	1.6053301	1.51690118	
ROI2	정상군	16	0.7806933	0.55641916	0.886
	ADHD	10	0.8201589	0.84084699	
ROI3	정상군	16	1.1293767	0.62928701	0.075
	ADHD	10	0.6060781	0.79915693	
ROI4	정상군	16	1.2833225	0.64616559	0.415
	ADHD	10	0.9586297	1.34840284	
ROI5	정상군	16	2.0574722	0.86741736	0.204
	ADHD	10	1.4022850	1.69701151	

표 2. K-WISC-IV 검사 결과 중 작업기억 점수

	정상군 점수	ADHD 점수
	112	103
	97	92
	112	89
	100	68
	100	70
	100	89
	95	76
	73	79
	76	76
	76	83
	97	
	89	
	76	
	76	
	92	
	92	
평균±SD	91.44±12.754	82.5±10.845

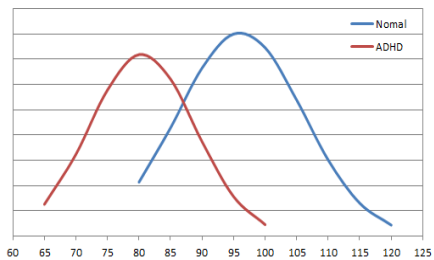


그림 5. K-WISC-IV 검사 결과 중 작업기억 점수 분포 곡선

위와 같이 정상군 10명과 ADHD 학생 6명을 비교 분석한 결과 양쪽 중앙 전두 피질, 오른쪽 상측 전두엽, 하측 전두 삼각이랑(Inferior frontal triangularis), 중앙 및 하측 전두덮개(Middle and Inferior frontal operculum), 중앙 및 하측 안와 전두 피질, 양쪽 보완 운동 피질, 양

쪽 상측과 하측 두정엽, 양쪽 췌기앞소엽, 왼쪽 부해마 피질(Parahippocampal cortex), 오른쪽 시상, 양쪽 방추상회(Fusiform gyrus) 등에서 ADHD 학생들이 정상군 학생들 보다 낮은 활성화 정도를 보였다. 반면 ADHD 학생들이 정상군 학생보다 높은 활성화 정도를 보인 곳은 양쪽 상부 내측 전두엽 피질, 양쪽 해마(Hippocampus) 등이 있다[그림 6][그림 7].

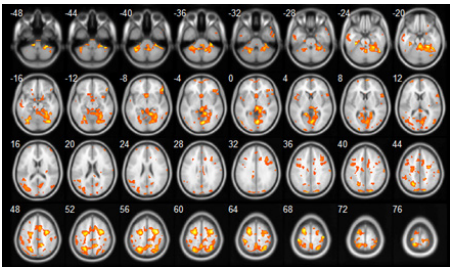


그림 6. 작업기억 과제 수행 시 정상군 학생들이 ADHD 학생들보다 활성화가 증가한 영역

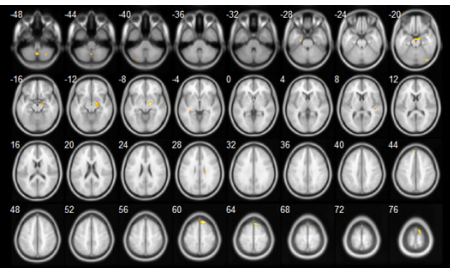


그림 7. 작업기억 과제 수행 시 ADHD 학생들이 정상군 학생들보다 활성화가 증가한 영역

3. 작업기억 점수에 대한 상관성 분석

표 2에 나타난 K-WISC-IV 검사 결과 중 작업기억 점수에 대한 상관성 분석을 수행하였다. ADHD 학생들과 정상군 학생들 모두를 합하여 분석하였다.

먼저 작업기억 점수가 높을수록 활성화되는 영역은 양쪽 미상핵, 췌기앞소엽, 설상엽, 중앙 전두 피질, 상측 전두엽, 방추상회, 상측과 하측 후두 피질(Superior and Inferior occipital cortex), 중앙 후두 피질(Middle occipital cortex), 상측과 하측 두정엽, 각회(Angular gyrus), 양쪽 중측 측두 피질(Middle temporal cortex), 양쪽 하측 측두 피질(Inferior temporal cortex) 등이 강

하게 활성화 되었다[그림 8].

반면, 작업기억 점수가 낮을수록 활성화되는 영역은 양쪽 부해마 피질, 양쪽 해마, 양쪽 편도(Amygdala), 양쪽 상부 내측 전두엽 피질, 양쪽 하측 안와 전두 피질(Inferior orbitofrontal cortex), 양쪽 중측 안와 전두 피질(Middle orbitofrontal cortex) 등이 있다[그림 9].

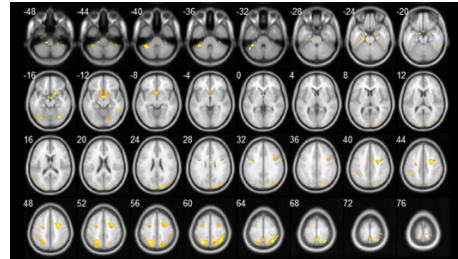


그림 8. 작업기억 점수에 대한 상관분석 : positive correlation

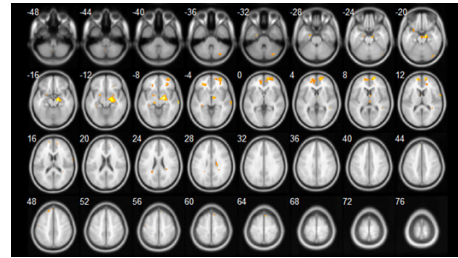


그림 9. 작업기억 점수에 대한 상관분석 : negative correlation

IV. 고찰

본 연구는 ADHD 학생들과 정상군 학생들의 뇌기능 영상을 비교 분석함으로써 ADHD 학생들의 뇌기능 차이와 작업기억 과제 시 나타나는 뇌의 활성영역의 차이를 보고자 하는 것이다. ADHD를 다룬 선행연구들을 보면, Semrud Clikeman et al.(1994)은 ADHD의 가장 흥미로운 뇌의 영역은 전두엽 및 그와 연결된 선조체 영역이라고 하였다. 전두엽의 손상은 ADHD의 여러 증후와 관련이 있는 것으로 알려져 있으며, 특히 주의와 집행 기능, 운동 기능에도 관련이 있다는 것이다[18].

집행기능과 움직임을 통제하는 전전두엽 영역은 자동차의 핸들이라 할 수 있는 명령 중추이며 미상핵과

담창구(Globus pallidus)는 액셀과 브레이크에 해당한다고 말할 수 있다[19].

ADHD의 뇌 이상을 말해주는 여러 연구 중 가장 일관성 있게 발견되는 이상은 우측 전두 영역과 미상핵, 담창구가 평균보다 작은 크기를 보인다는 것이다[20][21].

박성욱과 권수일(2004)은 ADHD환자의 뇌 SPECT 영상비교분석 연구에서 남녀의 차이는 있지만 우측 대뇌 도이랑, 우측 대뇌 측두엽, 좌우측 대뇌 전두엽, 대뇌 전두엽 중앙이랑, 좌우 대뇌 렌즈핵, 좌측 대뇌 두정엽에서 정상인에 비해 혈류가 감소했다고 하였다[22].

위와 같이 많은 연구에서 ADHD의 뇌기능에서 전두엽 영역과 기저핵 등을 관심영역으로 말하였듯이 본 연구에서도 전두엽 영역과 미상핵에서 정상군 학생들과 ADHD 학생들 간의 뚜렷한 활성화 차이를 보이며 ADHD의 여러 증상이 전두엽영역과 기저핵의 기능 이상으로 발현된다는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 선행연구[15]와 같은 결과로 선행연구 결과를 지지한다.

또한 서론에서 서술하였듯이 공간 작업기억 과제에서 큰 차이를 보인 두정엽에서의 활성화도도 많은 차이가 있었다[17]. 특히 두정엽은 고위 시공간 정보처리[23]와 언어에 관한 뇌의 주요 영역이다[24]. ADHD학생들의 활성화도가 떨어지며 비대칭이고, 작업기억 점수가 낮을수록 활성화도가 현저히 떨어졌다. 문제를 인식하고 이해하며 계산 및 연상 기능을 수행하는 두정엽 영역에도 주목할 필요가 있다.

하지만, 본 연구의 몇 가지 제한점을 생각해 보면 다음과 같다.

첫 번째, ADHD 학생들의 뇌기능을 평가하는 방법에는 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 정상군 학생들과 가장 뚜렷한 차이점을 보이는 작업기억 과제만 수행했지만, 보다 많은 과제수행 평가가 이루어져야겠다.

두 번째, ADHD의 요인 중 뇌의 각성 저하도 무시할 수 없다. 평균적으로 정상적인 아동들은 6세까지 전두엽의 빠른 발달이 이루어지며, 6세부터 12세 까지 측두엽과 두정엽이 발달되는 시기이다. 하지만 ADHD 학생들의 경우 뇌의 늦은 발달로 증상이 나타날 수 있다.

위에 언급한 것처럼 보다 많은 대상자를 확보하여

DSM-IV에 따른 ADHD의 하위 유형과 연령별로 나누고 하위 유형에 맞는 다양한 과제수행에 따른 평가가 이루어지는 추가적인 연구가 이루어진다면 뇌기능 이상에 따라 나타나는 ADHD 증상의 원인을 알 수 있으며 구체적인 치료방안도 찾을 수 있을 것이다.

V. 결론

ADHD 학생들의 뇌기능 평가 방법에는 Go/No-GO, Stroop, Arithmetic, Working memory 등 많은 방법이 있지만 선행 연구에서 말하였듯이 정상군 학생과 ADHD 학생간의 가장 뚜렷한 차이를 보이는 작업기억으로 뇌기능의 차이를 보았다[15]. 그 결과 두 가지 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, ADHD 학생들의 과제 수행 시 나타나는 뇌의 활성화가 많은 부분에서 비대칭을 이루는 것을 볼 수 있다. 작업기억 과제 시 나타나는 중요 부분인 전두 피질과 두정엽 피질에서 활성화 되는 패턴은 비슷해 보이나 그 정도가 현저히 떨어지고 비대칭을 보이고 있다. 특히 정상군 학생들은 하측 전두 삼각이랑, 중앙 및 하측 전두엽, 중앙 및 하측 안와 전두 피질 등에서 강하고 대칭적인 활성도를 보이는 반면 ADHD군은 상측 전두 피질, 상부 내측 전두 피질 등에서만 약하고 비대칭적인 활성도를 보였다. 또한 motor와 직접적으로 연결되어 있다고 알려진 시상과 주의력과 관계된 미상핵의 활성화도가 정상군에 비해 현저히 떨어져 있다.

둘째, 정상군 학생과 ADHD 학생 상관없이 작업기억 과제 수행의 어려움을 느낄수록 일부 안와 전두 피질, 해마가 활성화 될 것 볼 수 있다. 이는 과제가 어려워 수행하기 힘들거나 정답을 맞추기 위한 노력의 결과로 보인다. 전전단계의 도형을 기억해야 하는 N-back 작업기억 과제 특성상 많은 집중력과 기억력을 요구하기 때문인 것으로 추정되며, 작업기억 점수가 낮은 학생들에서 이와 같은 영역이 활성화 되었다.

위와 같이 전두엽, 두정엽, 시상, 미상핵, 해마등 많은 부분에서 ADHD 학생들의 뇌의 발달이 불균형적이며 낮은 것을 알 수 있다.

아직까지 우리나라는 뇌기능영상을 이용한 ADHD의 연구가 미흡하기 때문에 앞으로 많은 대상자를 대상으로 각각의 유형에 따라 분류하여 실험한다면 조금 더 유의한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 뇌기능영상에서 많은 과제 수행에 따른 실험도 필요하다. ADHD 학생들의 자세한 분류방법에 따라 실험 과제를 선정하여 뇌기능영상을 평가한다면 ADHD의 유형에 따른 뇌기능의 차이도 알 수 있을 것이다. ADHD 학생뿐만 아니라 학습부진 학생들에 대한 전반적인 뇌기능을 평가하고, 이를 바탕으로 뇌기능을 향상 시킬 수 있는 교육 프로그램을 개발한다면 학생들의 학업성취 및 교육발전에 큰 영향을 미칠 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김세연, “주의력결핍/과잉행동장애 (ADHD) 아동의 증상, 어머니의 양육스트레스 및 양육행동간의 관계”, 한국콘텐츠학회논문지, 제12권, 제10호, pp.330-339, 2012.
- [2] E. J. Mash and D. A. Wolfe, *Autism spectrum disorders and childhood onset schizophrenia*, Abnormal child psychology 4th ed, pp.299-328, Belmont, CA: Wadsworth, 2008.
- [3] Russell A. Barkley, “Hyperactive girls and boys: Stimulant drug effects on mother - child interactions,” *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, Vol.30, No.3, pp.379-390, 1989.
- [4] J. J. Bauermeister, H. R. Bird, G. Canino, M. Rubio-Stipec, M. Bravo, and M. Alegría, “Dimensions of attention deficit hyperactivity disorder: Findings from teacher and parent reports in a community sample,” *Journal of Clinical Child Psychology*, Vol.24, No.3, pp.264-271, 1995.
- [5] J. J. Hudziak, A. C. Heath, P. F. Madden, W. Reich, K. K. Bucholz, W. Slutske, L. J. Bierut, R. J. Neuman, and R. D. Todd, “Latent Class and Factor Analysis of DSM-IV ADHD: A Twin Study of Female Adolescents,” *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, Vol.37, No.8, pp.848-857, 1998.
- [6] 정명숙, 손영숙, 정현희, *아동기행동장애 5th edition*, 시그마프레스, 서울, pp.291-295, 2004.
- [7] A. J. Zametkin and J. L. Rapoport, “Neurobiology of attention deficit disorder with hyperactivity: where have we come in 50 years?,” *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, Vol.26, No.5, pp.676-686, 1987.
- [8] J. A. Mattes, “The role of frontal lobe dysfunction in childhood hyperkinesis,” *Comprehensive psychiatry*, Vol.21, No.5, pp.358-369, 1980.
- [9] A. D. Anastopoulos and R. A. Barkley, “Biological factors in attention deficit-hyperactivity disorder,” *Behavior Therapist*, Vol.11, No.3, pp.47-53, 1988.
- [10] H. C. Lou, L. Henriksen, P. Bruhn, H. Børner, and J. B. Nielsen, “Striatal dysfunction in attention deficit and hyperkinetic disorder,” *Archives of Neurology*, Vol.46, No.1, pp.48-52, 1989.
- [11] J. Diamond and A. Matteson, “Attention-deficit/hyperactivity disorders. Child and Adolescent Psychiatry,” St Louis, Mosby, pp.69-83, 1997.
- [12] Chandan J. Vaidya and Melanie Stollstorff, “Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder: current status and working hypotheses,” *Developmental disabilities research reviews*, Vol.14, No.4, pp.261-267, 2008.
- [13] 강봉균, 강경윤, 권오주, 김경태, 김대수, 김선정, 김인범, 김종남, 민철기, 박병운, 박중진, 백자현, 서민아, 서정석, 성기욱, 신기순, 윤봉준, 이원택,

전창진, 정설희, 정연두, 조근호, *신경과학: 뇌의 탐구 제 3판*, 바이오메딕북, 서울, p.644, 2009.

[14] 정준기, 이명철, *핵의학 제 3 판*, 고려의학, 서울, p.453, 2008.

[15] 조장희, *ADHD 성향의 학습부진학생의 뇌영상 분석*, 한국교육과정평가원, 연구보고 CRE 2013-2-2, 2012.

[16] Alan J. Zametkin, Laura L. Liebenauer, Glinda A. Fitzgerald, Anna C. King, Darian V. Minkunas, Peter Herscovitch, Yamada, Emily M. Cohen, and M. Robert, "Brain metabolism in teenagers with attention-deficit hyperactivity disorder," *Archives of General Psychiatry*, Vol.50, No.5, p.333, 1993.

[17] A. Vance, T. J. Silk, M. Casey, N. J. Rinehart, J. L. Bradshaw, M. A. Bellgrove, and R. Cunnington, "Right parietal dysfunction in children with attention deficit hyperactivity disorder, combined type: a functional MRI study," *Molecular psychiatry*, Vol.12, No.9, pp.826-832, 2007.

[18] M. Semrud-Clikeman, P. A. Filipek, J. Biederman, R. Steingard, D. Kennedy, P. Renshaw, and K. Bekken, "Attention-deficit hyperactivity disorder: magnetic resonance imaging morphometric analysis of the corpus callosum," *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, Vol.33, No.6, pp.875-881, 1994.

[19] M. D. Rapport, K. M. Chung, G. Shore, C. B. Denney, and P. Isaacs, "Upgrading the science and technology of assessment and diagnosis: Laboratory and clinic-based assessment of children with ADHD," *Journal of clinical child psychology*, Vol.29, No.4, pp.555-568, 2000.

[20] Russel A. Barkley, *Attention-Deficit Hyperactivity Disorder*, New York, Guilford Press, 1998.

[21] R. Tannock, "Attention deficit hyperactivity disorder: advances in cognitive, neurobiological, and genetic research," *Journal of child psychology and psychiatry*, Vol.39, No.1, pp.65-99, 1998.

[22] 박성옥, 권수일, "통계적 파라미터지도 작성법 (SPM)을 이용한 남녀별 ADHD 환자의 뇌 SPECT 영상비교분석", *방사선기술과학*, 제27권, 제3호, pp.31-41, 2004.

[23] 조현상, 이연희, 김기현, 유상우, 이희상, 유계준, "정신분열병의 신경심리학적 기능과 증상 차원", *대한정신약물학회지*, 제9권, 제2호, pp.169-177, 1998.

[24] 김연희, 김성용, 김형일, 홍인기, Parrish, T. B., 서정환, 김현기, "언어 자극의 종류에 따른 뇌 신경망 및 편측화: 기능적 뇌 자기공명영상 연구", *대한재활의학회지*, 제24권, 제3호, pp.594-602, 2000.

저 자 소 개

이 용 기(Yong-Ki Lee)

정희원



- 2014년 8월 : 가천대학교 보건대학원 방사선학과(방사선학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 뇌과학연구원

<관심분야> : 핵의학, 방사선관리

안 성 민(Sung-Min Ahn)

정희원



- 2010년 2월 : 한서대학교 화학과(이학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 핵의학, 방사선관리