

## 도형 과제 수행 때 나타나는 청소년의 지능별 대뇌 및 소뇌의 활성화 차이 분석

김 예 립

서정대학교

대뇌 피질과 지능과의 관련성은 다양한 방법으로 연구되어 왔으며, 지능 발현에 관여하는 뇌 영역이 속속 밝혀지고 있다. 이와 함께 소뇌도 대뇌처럼 언어와 기억, 정보 처리 등 다양한 인지 기능 수행에 밀접한 관련이 있다는 사실도 연구 결과 나타났다. 그러나 특정 과제 수행 때 지능별 대뇌와 소뇌 영역들의 활성화 차이를 밝힌 연구 결과는 찾기 어렵다. 본 연구는 공간유추 과제를 수행할 때 나타난 대뇌와 소뇌의 활성화 영역을 탐색하고, 그 차이를 분석하였다. 건강한 81명(평균 16세 3개월)의 남자 청소년을 대상으로 WAIS 지능 검사를 하여 5개 지능 범주로 나누고, 도형 유추 과제를 수행하게 하면서 기능성자기공명영상기술(fMRI)로 뇌 영상을 촬영하였다. 그 결과 12개 뇌 영역에서 활성이 나타났는데, 대뇌 피질에서는 시각영역인 양측 하후두회 외에 양측 상두정회와 우측하전두회, 양측 미상회, 그리고 소뇌의 5개 세부 영역들이다. 특히 지능(IQ)이 높을수록 이들 영역의 활성이 강하게 나타났으며, 영재 중에서도 지능이 아주 높은 140~147 범주의 피험자들은 다른 지능그룹에 비해 월등히 높은 활성을 보였다. 이런 결과는 아주 높은 지능의 영재들의 뇌 활용 특질일 수 있기 때문에 ‘슈퍼 영재’들의 판별에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 대뇌 피질, 지능, 청소년, fMRI, 소뇌, 영재

### I. 서 론

지능은 뇌 속의 어디에 있는 것일까? 라는 질문은 뇌 신경학의 오랜 화두였으며, 다양한 방법으로 연구되어 왔다. 골상학 연구, 뇌와 행동과의 연관성을 관찰한 연구 등을 통해 인간 지능의 연구가 진행 된 이래 지금까지 뇌파나 감각 기관의 예민성, 대뇌 피질의 활성화, 대뇌 피질의 두께 등을 이용한 연구가 다양하게 이어지고 있다. 그 중에서도 양전자방출단층촬영 기술(PET), 자기공명단층촬영기술(MRI), 기능성자기공명단층촬영기술(fMRI) 등 뇌 연구에

교신저자: 김예림(bj1320@naver.com)

\*본 연구는 한국과학창의재단의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

활용할 수 있는 첨단 기술의 등장은 지능과 관련한 많은 증거를 대뇌 피질에 해당하는 Brodmann 영역(BA)에서 다수 찾아냈으며, 그 상관성을 밝히기도 하였다.

PET를 활용한 연구(Haier, 1993; Ghatan et al., 1995; Haier & Benbow, 1995; Goel et al., 1997; Goel et al., 1998; Duncan & Owen, 2000; Haier, White & Alkire, 2003)는 전두엽(Frontal lobe)의 BA46, BA47 등 10개 영역, 대상피질(Cingulate Cortex)의 BA24, BA32, 두정엽(Parietal Lobe)의 BA7 등 3개 영역, 측두엽(Temporal Lobe)의 BA20 등 5개 영역, 후두엽(Occipital Lobe)의 BA18, BA19 영역이 지능과 관련이 있는 것으로 나타났으며, 그 중에서도 후두엽 영역과 측두엽의 세부 영역들의 활성화 비율이 높게 나타났다(Jung & Haier, 2007).

fMRI를 활용한 연구(Prabhakaran et al., 1997; Goel & Dolan, 2001; Atherton et al., 2003; Gray, Chabris, Braver, 2003; O'Boyle et al., 2005; Lee et al., 2006; Fangmeier, Knauff, Ruff & Sloutsky, 2006; Schmithorst & Holland, 2006; Choi et al., 2008)는 전두엽의 BA6 등 10개 영역, 대상피질의 BA32 등 5개 영역, 두정엽의 BA7 등 3개 영역, 측두엽의 BA21 등 4개 영역, 후두엽의 BA19 등 3개 영역, 소뇌 일부 영역에서 활성이 나타났다(Jung & Haier, 2007). Lee 외(2006)는 BA7, BA19, BA40 영역이 지능과의 상관성이 높다고 밝혔고, Choi 외(2008)는 대뇌피질 두께와 활성도를 이용하여 결정성 지능(gC)과 유동성 지능(gF)의 상관관계를 밝혔다.

중요한 운동 기능을 담당하는 소뇌의 경우도 대뇌처럼 다양한 인지 기능 수행에 관여하며, 그런 기능을 수행할 때 관련된 대뇌 부위들이 함께 작동하고 있다는 사실이 속속 밝혀지고 있다. Timothy와 Richard(2001)는 공간 시각의 인지 기능 수행 때 소뇌가 관여하며, 소뇌의 뒤 네모소엽(Hemisphere Lobule VI)과 위와 아래 반달소엽(Hemisphere Lobule Crus I, II) 영역이 후두엽과 가까이 있기 때문에 안구 운동에 따른 활성화가 나타난다는 사실을 알아냈다. Lewis 외(2003)는 도형을 볼 때와 도형을 따라 그릴 때 소뇌 전체에서 활성이 나타난다고 보고하였으며, Claeys 외(2003)는 색과 시각과의 차이를 분별할 때 소뇌의 네모소엽(Hemisphere Lobule IV, V, VI) 등 소뇌의 4개 세부 영역이 활성화되는 것을 관찰하였다. Goel과 Dolan(2001)은 언어 추론 실험을 통해 양측 후두-두정-전두 영역으로 이어지는 채널을 비롯한 7개 소뇌 영역이 활성화되는 것을 밝혔다. Atherton 외(2003)의 연구에서 네모소엽이 인지 기능과의 연관이 있는 영역으로 나타났다.

PET와 fMRI를 이용한 이런 다양한 연구는 대뇌 또는 대뇌와 소뇌가 함께 인지 기능에 관여한다는 사실을 알아내는 데 크게 기여했고, 일부는 대뇌 피질의 활성화 정도도 지능에 따른 차이가 발생한다는 사실도 아울러 알아냈다. 그러나 이들의 연구 중 지능과 연관된 것은 대뇌를 대상으로 한 것들이며, 특정 과제를 수행하는 실험을 하면서 대뇌와 소뇌가 함께 기능할 때 지능에 따른 활성화 정도의 차이를 연구한 것은 없다. 더구나 Goel과 Dolan(2001)의 피험자는 14명이며, Atherton 외(2003)의 피험자는 7명에 불과하다.

본 연구에서는 81명의 청소년들의 피험자를 대상으로 도형 유추 과제를 수행할 때 대뇌와 소뇌가 함께 기능하는 영역과 그 영역별 활성도가 지능에 따라 어떻게 차이가 나는지를 fMRI 영상을 활용해 분석하고자 하였다.

fMRI 영상으로 측정된 뇌 활성화도는 지능의 높고 낮음 뿐 아니라 지능과 관련한 뇌 영역, 특정한 과제를 수행할 때 그와 관련한 뇌 영역을 찾는 데도 활용되는 등 주의력, 정서, 인지 기능 등 다양한 뇌 기능을 연구하는 데 활용하고 있다. 예를 들어 Lewis 외(2003)의 연구에서 도형을 볼 때와 도형을 따라 그릴 때 소뇌 전체에서 활성이 나타난다는 연구결과를 내놨는데 이는 그런 작업을 피험자가 할 때 소뇌 전체를 사용하고 있다는 것을 의미한다.

Ogawa 외(1993)에 따르면 fMRI 영상에 나타난 뇌 활성 정도는 뇌 신경세포의 활동 정도를 반영하는 것으로, 이 영상에서 활성이 나타나지 않는 뇌 영역은 특정 과제를 수행할 때 그 뇌 영역을 사용하지 않는 것으로 해석한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

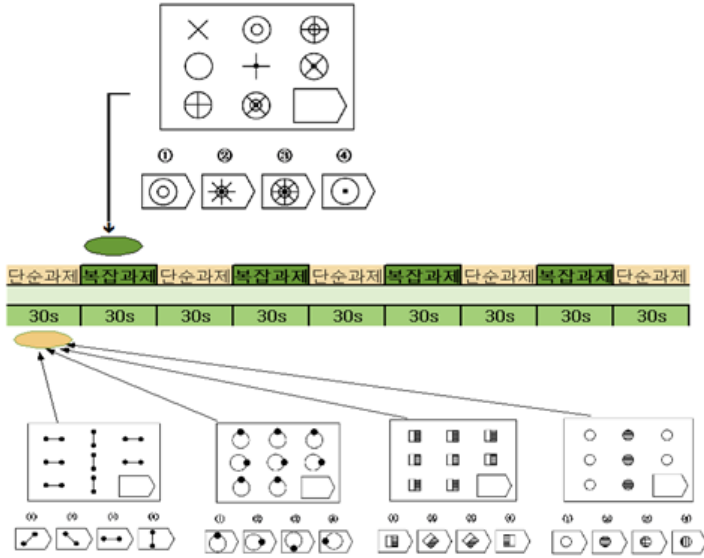
연구 대상은 두 그룹으로 인천과 부산에서 모집한 건강한 오른손잡이 남자 고교생 81명(나이 평균 16세 3개월)으로 구성하였고, 모두 fMRI 실험에 참가한 경험이 없었으며, 국제적으로 공인된 K-WAIS 지능 검사를 하였다. 그리고 그 결과를 활용해 5개 지능 범주로 나뉘었으며, 그 현황은 <표 1>과 같다.

<표 1> 피험자의 지능범주

그룹	지능	N
A그룹	IQ 140~147	5
B그룹	IQ 130~139	36
C그룹	IQ 120~129	22
D그룹	IQ 100~119	10
E그룹	IQ 85~99	8
		계: 81명

### 2. 측정도구와 절차

본 연구에서는 인지검사와 뇌기능 검사를 실시하였다. 인지검사 도구로는 일반 지능(IQ)을 알아보기 위해 K-WAIS를, 뇌기능을 분석하기 위한 도구는 피험자들이 과제를 수행할 때 뇌의 활성 부위와 활성 정도를 알아보기 위해 fMRI를 사용하였다. K-WAIS는 1981년판 WAIS-R(Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised)은 1939년판 W-BI(Wechsler Bellevue Intelligence Scale)의 Form 1을 개정한 1955년 판 WAIS(Wechsler Adult Intelligence Scale)의 재 개정판이며, WAIS의 한국판 KWIS에 대한 첫 번째 개정판이다. K-WAIS의 적용 범위는 16세 이상부터 64세 이하의 성인을 대상으로 지능검사를 하는 데 사용하는데, 매우 높은 능력을 가진 성인을 정교하게 변별하기 위해 고안된 것이 아니기 때문에, IQ 150 이상(매우 뛰어난 높은 지능으로서 모집단 평균에서 3표준편차 이상의 점수)은 실시 요강에 나타나 있지



[그림 1] fMRI 과제 모식도

않다. 그리고 지능검사 실시 시에는 1대 1로 검사했으며, 1시간에서 1시간 30분 정도 소요되었다(김예림, 2013).

기능성 자기공명영상촬영기술(fMRI)로 뇌 영상을 얻을 때 제시된 과제는 ‘도형의 유추’ 문제이다. ‘도형의 유추’는 시각에 의하여 지각되는 공간에서 도형들의 선의 변화, 위치와 방향, 도형구성에 대한 변화를 파악하는 것으로, 피험자들이 시공간 과제를 수행하는 동안 뇌 활성화 영역과 정도를 알아보기 위하여 Lee 외(2006)가 개발한 것을 사용하였다. 과제의 모식도는 [그림 1]과 같다. 이 과제는 형태상의 차이는 없으나 g-상관도와 난이도가 다른 복잡과제와 단순과제 두 과제를 교대로 제시하는 블록설계 방법을 사용하여 제시되었다. 과제는 1회(한 블록) 당 네 개의 단순 과제(각 문제당 7.5초)가 30초 동안 제시되고, 그 다음 한 문제의 복잡과제(30초)가 제시되는데, 총 19회 반복된다. 참가자들은 촬영실에 수평으로 누워 머리 위에 놓인 12cm의 LCD모니터(IFIS-SA, MRI Devices, FA USA)를 통해 제시된 문제와 우편 상단에 표시되는 초시계를 보고 각 문제 종료 3초 전에 가슴 위에 올려놓은 버튼을 눌러 답을 하였다. 과제에 대한 반응은 실시간으로 PC에 기록되었으며, 과제 제시와 기록은 모두 자동으로 이루어지도록 하였다.

이 같은 실험을 위해 가천대학교 부설 뇌과학연구소로부터 MRI 사용 허락과 가천대의 임상실험심사위원회(IRB, Institutional Review Board) 승인을 받고, 피험자들의 학부모들로부터 자녀의 실험참가 동의서도 받았다.

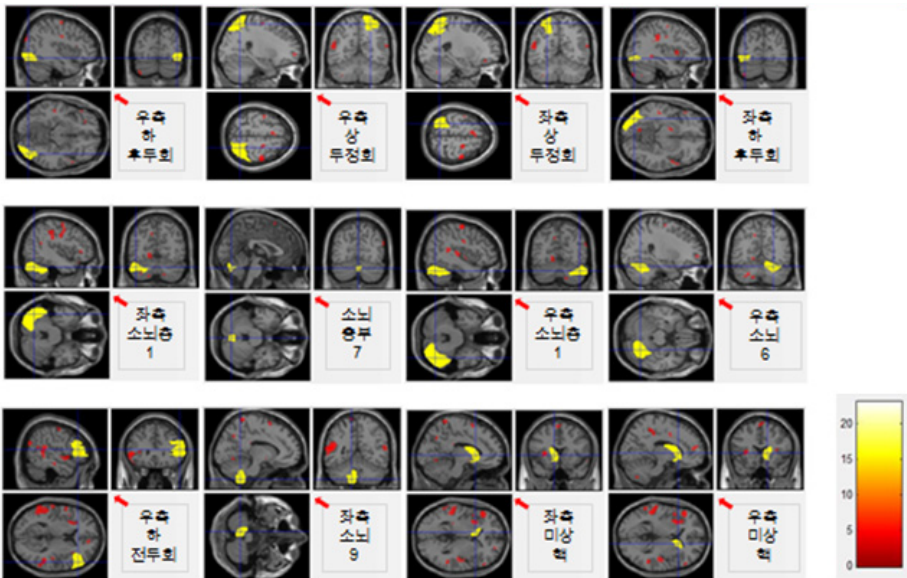
### 3. fMRI 영상 획득과 처리

뇌 영상은 3.0T(Tesla) MR scanner(Siemens, MAGNETOM Verio)를 통해 얻어졌다. 먼저 과제를 수행하는 동안 EPI(echo planar image) gradient echo sequence로 기능 영상을 촬영하였다. 기능 영상은 EPI영상 촬영 시 자기공명 변수(MR parameter)는 TR(Repetition time) 2500ms, TE(Time of Echo) 30ms, FA(flip angle) 90°, 화질소(voxel) size 3.5\*3.5\*3.5, resolution(matrix size) 64\*64, measurement 89, BW 2232, FOV(Field of View) 224\*224였다. axial 방향(머리 위에서 밑으로)으로 절편 두께(slice thickness) 3.5mm로 피험자 한 사람 당 절편(slice) 영상 39장씩을 얻었다. 획득된 기능성 뇌 영상은 MATLAB(Mathworks Inc. USA) R2008a 환경에서 구현되는 SPM(Statistical Parametric Mapping, version8 welcome department of cognitive neurology, London, UK) 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 모든 fMRI 촬영은 가천대 부설 뇌과학연구소에서 이루어졌다.

## III. 연구 결과

### 1. 결과의 내용

도형 유추 과제를 수행할 때 나타난 지능 그룹별 기능성자기공명촬영기술(fMRI) 영상에서 뇌 활성화 영역을 알아보기 위해 단순과제 수행 때의 뇌 활성화 데이터를 제거하고, 복잡과제



[그림 2] 도형 과제 수행 때 활성화된 12개 뇌 영역의 영상과 활성화 부위(화살표)

<표 2> 도형유추과제 수행 때 나타난 각 그룹의 뇌 영역 활성화 정도(%)

구 분	A그룹		B그룹		C그룹		D그룹		E그룹	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
우측하 후두회	1.647	.002	.952	.005	.984	.005	.784	.003	.780	.004
우측상 두정회	1.433	.002	1.019	.007	.862	.005	.571	.005	.571	.003
좌측상 두정회	1.365	.003	.869	.006	.869	.005	.565	.005	.601	.003
좌측하 후두회	1.203	.005	.870	.004	.727	.004	.589	.005	.516	.003
좌측 소뇌층1	.706	.002	.392	.003	.262	.003	.110	.003	.033	.002
소뇌층부 7	.643	.002	.441	.004	.367	.003	.156	.002	.200	.002
우측 소뇌층1	.568	.002	.264	.003	.196	.003	.070	.003	.071	.002
우측소뇌 6	.548	.002	.254	.003	.204	.003	.062	.003	.051	.002
우측하 전두회	.430	.001	.260	.002	.227	.003	.246	.002	.148	.001
좌측소뇌 9	.310	.001	.174	.002	.089	.002	.084	.002	.047	.002
좌측 미상회	.232	.001	.089	.002	.072	.002	.061	.002	.054	.002
우측 미상회	.210	.001	.077	.002	.067	.001	.046	.001	.025	.002

수행 때의 뇌 활성화 데이터만을 선택하였다. 그 결과 12개의 뇌 세부 영역의 활성화가 모든 지능 그룹에서 나타났는데, 우측 하후두회(Occipital-Inf-R), 우측 상두정회(Parietal-Sup-R), 좌측 상두정회(Parietal-Sup-L), 좌측 하후두회(Occipital-Inf-L), 좌측 소뇌층1(Cerebellum-Crus1-L), 소뇌층부7(Vermis-7), 우측 소뇌층1(Cerebellum-Crus1-R), 우측 소뇌6(Cerebellum-6-R), 우측 하전두회(Frontal-Inf-Tri-R), 좌측 소뇌9(Cerebellum-9-L), 좌측 미상회(Caudate-L), 우측 미상회(Caudate-R)가 그곳들이며, 이는 활성화도 순서이기도 하다. 영역별 활성화도는 [그림 2]와 <표 2>에 나타났다. [그림 2]의 오른쪽 옆의 색 막대는 위로 갈수록 활성화가 강하다는 것을 의미한다.

이번에 활성화가 나타난 좌우측 상두정회와 좌우측 미상회는 선행 연구(Ghatan et al., 1995; Duncan & Owen, 2000; Haier et al., 2003; Goel & Dolan, 2001; Atherton et al., 2003; Lee et al., 2006; Fangmeier et al., 2006; Choi et al., 2008)에서도 지능과의 관련이 깊은 영역으로 나타났다. 본 연구에서 활성을 보인 소뇌의 5개 영역의 MNI 좌표는 <표 3>과 같으며, Goel과 Dolan(2001)의 연구에서 활성을 보인 7개 영역의 MNI 좌표상 인접한 곳이라는 하나 동일 부위는 없는 것으로 나타났다.

<표 3> 도형유추과제 수행 때 나타난 뇌 활성화영역의 MNI 좌표

두뇌 해부학 영역	활성영역	cluster size	MNI coordinates			t- score
			x	y	z	
후두엽	우측 하 후두회(Occipital-Inf-R)	912	40	-80	-11	3.65
	좌측 하 후두회(Occipital-Inf-L)	890	-44	-76	-9	3.42
두정엽	우측 상 두정회(Parietal-Sup-R)	1,215	25	-57	60	3.58
	좌측 상 두정회(Parietal-Sup-L)	1,215	-10	-48	74	3.56
전두엽	우측 하 전두회(Frontal-Inf-Tri-R)	1,010	30	14	40	3.20
소뇌	좌측 소뇌층1(Cerebellum-Crus1-L)	1,577	-16	-64	-48	3.36
	소뇌층부7(Vermis-7)	544	2	-72	-28	3.34
	우측 소뇌층1(Cerebellum-Crus1-R)	1,577	16	-62	-46	3.28
	우측 소뇌6(Cerebellum-6-R)	1,012	16	-68	-48	3.21
	좌측 소뇌9(Cerebellum-9-L)	817	-16	-64	-48	2.98
기저핵	좌측 미상핵(Caudate-L)	724	-2	6	20	2.92
	우측 미상핵(Caudate-R)	724	2	4	22	2.78

uncorrected  $p < .01$

지능별로 나눈 피험자 그룹 중 지능이 140~147로 가장 높은 A그룹은 12개 모든 뇌 영역에서 다른 4개 그룹에 비해 활성이 아주 높게 나타났으며, 그룹 간 차이도 아주 컸다. 뇌 영역의 활성 정도 차이(그룹 간  $t$ 값)는 <표 4>에 나타내었다. A그룹은 다른 그룹과 통계상 유의한 차이( $p < .1$  이하)가 나는 모든 영역이 43개나 됐다. 그룹당 12개 영역이므로 48개 영역에서 5개 영역만을 빼고 통계상 유의한 차이를 보였다. 구체적으로 A그룹과 다른 그룹별 활성화도 차이를 보면, B그룹과는 12곳 중 10곳, C그룹과는 10곳, D그룹과는 12곳 모두, E그룹과는 11곳이 유의한 차이를 보였다. 유의한 차이가 한 개 영역도 보이지 않은 비교 그룹 쌍은 B와 C였으며, B와 D그룹 간에는 3개 영역, B와 E그룹 간에는 4개 영역으로 나타났다. C그룹과 D그룹 간에는 한 곳도 없고, C와 E 간에는 한 곳, D와 E그룹 간에는 한 곳도 유의한 차이가 나는 영역이 나타나지 않았다. A그룹과 다른 그룹을 비교할 때를 제외하고는 대부분 인접한 지능 그룹과의 비교에서는 유의한 차이가 나는 영역이 많이 나타나지 않았으며, 상대적으로 지능이 높은 그룹(130~139)에 드는 B그룹과 비교를 할 때 그러한 차이가 3~4곳 나타났다. 이는 지능의 차이가 많이 날수록 통계적으로 유의한 수준의 활성화도 차이가 나타나는 곳이 많다는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 논의

본 연구에서는 피험자들이 도형 유추 과제를 수행할 때 뇌 활성화 영역과 지능과의 관련성을 알아보고자 하였다. 피험자 규모의 경우 기존 소뇌의 인지 기능 관련 연구가 10명 내외인 반면 본 연구는 81명으로 크게 늘렸다. 특히 그동안 지능 관련 연구가 대뇌 위주로 이루어지고, 소뇌에서는 인지 기능 관련 연구가 이뤄졌을 뿐 지능 범주별로 나눈 연구는 없었으나 본

연구에서는 피험자들을 지능 범주별로 나눠 도형 유추 과제를 수행할 때 소뇌의 활성을 대뇌 피질 활성 영역과 함께 분석하였다. 그 결과 12개의 뇌 세부 영역의 활성이 모든 지능 그룹에서 나타났는데, 우측 하후두회, 우측 상두정회, 좌측 상두정회, 좌측 하후두회, 좌측 소뇌층1, 소뇌층부7, 우측 소뇌층1, 우측 소뇌6, 우측 하전두회, 좌측 소뇌9, 좌측 미상회, 우측 미상회가 그 영역들이다. 이들 영역을 대뇌 피질과 소뇌로 나눌 경우 대뇌 피질에서는 시각 영역 외에 양측 두정소엽, 양측 미상회, 우측 하전두회가, 소뇌에서는 좌측 소뇌층1 영역 등 5개 영역에서 활성이 나타났다. 이들의 활성 정도는 상당부분 지능 차이의 영향을 반영하고 있는 것으로 분석되었다. 지능이 높을수록 12곳의 대부분의 뇌 영역에서 활성이 더 높게 나타났으며, 아주 지능이 높은 IQ 140~147의 피험자들을 모은 A그룹은 12개 모든 영역에서 다른 모든 그룹에 비해 월등히 높은 활성을 보였다. A그룹과 그보다 지능이 낮은 그룹인 나머지 4개 그룹(B, C, D, E)과의 활성도 차이를 비교한 값( $t$ )에서 총 4개 그룹 48개 영역 중 5개 영역만을 빼고, 43개의 영역이  $p < .1$  수준 이하로 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

특히 지능 차이별 소뇌와의 연관성을 이번 연구 결과에서는 보여주고 있는데, 활성을 보

<표 4> 뇌 영역의 활성 정도 차이(각 그룹 간의  $t$ 값)

구분	A : B	A : C	A : D	A : E	B : C	B : D	B : E	C : D	C : E	D : E
지능 (IQ)	.000***	.000***	.000***	.000***	.000***	.000***	.000***	.000***	.000***	.000***
우측하 후두회	.000***	.000***	.000***	.000***	.820	.263	.315	.154	.214	.983
우측상 두정회	.048*	.002**	.000***	.000***	.392	.050*	.033*	.095	.050*	.100
좌측상 두정회	.028*	.023*	.003**	.003**	.998	.157	.152	0.98	.075	.860
좌측하 후두회	.190	.079	.036*	.024*	.197	.056	.029*	.261	.128	.647
좌측 소뇌층1	.016*	.002**	.000***	.000***	.177	.016*	.004**	.131	.031	.498
소뇌층부 7	.137	.043	.003**	.006**	.447	.008**	.023	.015	.053	.614
우측 소뇌층1	.039*	.015*	.004**	.004**	.475	.127	.073	.275	.179	.994
우측소뇌 6	.027*	.012*	.003**	.002**	.566	.107	.043*	.196	.085	.922
우측하 전두회	.047*	.014*	.035*	.004**	.635	.853	.069	.788	.091	.115
좌측소뇌 9	.015*	.000***	.007**	.002**	.085	.229	.080	.950	.531	.663
좌측 미상회	.028*	.014*	.029*	.053	.712	.690	.671	.867	.815	.933
우측 미상회	.043*	.021*	.015*	.032*	.833	.588	.503	.634	.541	.785

\*  $p < .1$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$



인 소뇌 5개 영역 중 4곳인 좌측소뇌층1, 소뇌층부7, 우측 소뇌층1, 우측소뇌6이 그런 곳이다. 또 아주 지능이 높은 A그룹과 그 이하의 나머지 그룹과의 활성화 차이가 확연하게 나타난 것은 이 영역들이 ‘슈퍼 영재’들의 독특한 특징의 하나가 아닌가 추정해 볼 수 있다. 조선희 외(2005)는 지능 과제를 수행할 때 대뇌 피질의 활성화가 지능이 높을수록 높게 나타난다는 사실을 밝혔는데 그 같은 지능과 뇌 영역 활성화 정도의 상관관계를 본 연구에서 나타난 소뇌의 활성화와 지능과의 상관성에 적용하면 이번 연구 결과는 ‘슈퍼 영재’의 새로운 뇌 활성화 특징을 찾아낸 것으로 볼 수 있다. 즉, 소뇌 세부 영역의 활성화가 높고 낮음이 곧 지능이 높고 낮음을 반영하는 것으로 해석될 수 있다는 것이다.

이와 함께 이번 연구에서는 Lee 외(2006)가 밝혔듯이 양측 상두정소엽에서 지능이 높을수록 활성화가 높아진다는 사실을 확인했다. 또한 Goel과 Dolan(2001)의 사실적인 문장과 추상적인 문장을 이용한 추론 실험 때 활성화된 뇌 영역과 이번에 도형을 이용한 유추실험 때에 활성화된 뇌 영역이 동일하지는 않아도 인접 지역인 점을 감안하면 문장을 이용한 유추나 도형을 이용한 유추 때 관여하는 뇌 영역들이 어느 정도 연관되어 있을 가능성이 있다는 것을 유추해볼 수 있다. Goel과 Dolan(2001)의 실험에서는 양측 후두부-두정-전두를 연결하는 네트워크와 소뇌의 7개 영역 등이 두드러지게 활성화되었다. Goel과 Dolan(2001)은 ‘Karen is in front of Larry.(사실적인 문장)’, ‘k is in front of L.(추상적인 문장)’과 같은 문장을 이용해 피험자들이 추론하도록 하였으며, 이번 연구에서는 [그림 1]과 같은 도형을 본 뒤 도형의 결합을 유추하도록 했다. 이런 점에 비춰볼 때 특정 사물(도형)을 보면서 유추하거나 어떤 시공간적인 상황을 연상해야 하는 문장을 보며 추론할 때 활성화되는 뇌 영역이 거의 비슷하게 관여할 가능성이 있다고 볼 수 있다. Goel과 Dolan(2001)은 대뇌와 소뇌의 활성화 영역을 분석하면서 지능의 차이에 따른 영향을 밝히는 쪽으로는 접근하지 않았다.

특히 이번 연구에서 도형 유추를 할 때 관여하는 뇌 영역들의 활성화도가 대뇌뿐 아니라 소뇌의 일부 영역들도 지능의 차이에 따라 다르게 나타난다는 사실이 새롭게 밝혀진 것은 소뇌의 지능과의 관련성 연구 방향에 시사하는 바가 크다 하겠다.

## 참 고 문 헌

- 김예림 (2013). 청소년의 지능범주별 대뇌피질 변화성 분석 연구. *영재교육연구*, 23(3), 421-434.
- 조선희, 김희백, 최유용, 채정호, 이진호 (2005). 뇌기능영상 측정법을 이용한 영재성 평가의 타당성 연구. *영재교육연구*, 15(2), 101-125.
- Atherton, M., Zhuang, J., Bart, W. M., Hu, X., & He, S. (2003). A functional MRI study of high-level cognition. I. The game of chess. *Cognitive Brain Research*, 16(1), 26-31.
- Choi, Y. Y., Shamosh, N. A., Cho, S. H., DeYoung, C. G., Lee, M. J., Lee, J. M., Kim, S. I., Cho, Z. H., Kim, K., Gray, J. R., & Lee, K. H. (2008). Multiple Bases of Human Intelligence Revealed by Cortical Thickness and Neural Activation. *The Journal of*

- Neuroscience*, 28(41), 10323-10329.
- Clayets, K. G., Orban, G. A., Dupont, P., Sunaert, S., Hecke, P. V., & Schutter, E. D. (2003). Involvement of multiple functionally distinct cerebellar regions in visual discrimination: A human functional imaging study. *NeuroImage*, 20, 840-854.
- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences* 23(10), 475-483.
- Fangmeier, T., Knauff, M., Ruff, C. C., & Sloutsky, V. (2006). fMRI evidence for a three-stage model of deductive reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(3), 320-334.
- Ghatan, P. H., Hsieh, J. C., Wirsén-Meurling, A., Wredling, R., Eriksson, L., Stone-Elander, S., Levander, S., & Ingvar, M. (1995). Brain activation induced by the perceptual maze test: A PET study of cognitive Performance. *Neuro-Image*, 2(2), 112-124.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2001). Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning. *Neuropsychologia*, 39(9), 901-909.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1997). The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning. *NeuroReport*, 8(5), 1305-1310.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(3), 293-302.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6(3), 316-322.
- Haier, R. J. (1993). Cerebral glucose metabolism and intelligence. In P. A. Vernon. (Ed.), *Biological approaches to the study of human intelligence* (pp. 317-373). Norwood, NJ: Ablex.
- Haier, R. J., & Benbow, C. P. (1995). Sex differences and lateralization in temporal lobe glucose metabolism during mathematical reasoning. *Developmental Neuropsychology*, 11(4), 405-415.
- Haier, R. J., White, N. S., & Alkire, M. T. (2003). Individual differences in general intelligence correlate with brain function during non-reasoning tasks. *Intelligence*, 31(5), 429-441.
- Lee, K. H., Choi, Y. Y., Gray, J. R., Cho, S. H., Chae, J. H., Lee, S., & Kim, K. (2006). Neural correlates of superior intelligence: Stronger recruitment of posterior parietal cortex. *NeuroImage*, 29(2), 578-586.
- Lewis, S. M., Jerde, T. A., Tzagarakis, C., Gergopoulos, M. A., Tsekos, N., Amirikian, B., Kim, S. G., Ugurbil, K., & Georgopoulos, A. P. (2003). Cerebellar activation during copying geometrical shapes. *Journal of Neurophysiology*, 90, 3874-3887.
- Prabhakaran, V., Smith, J. A., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1997). Neural substrates of fluid reasoning: An fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices test. *Cognitive Psychology*, 33(1),

43-63.

- O'Boyle, M. W., Cunnington, R., Silk, T. J., Vaughan, D., Jackson, G., Syngeniotis, A., & Egan, G. F. (2005). Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 25(2), 583-587.
- Ogawa, S., Menon, R. S., Tank, D. W., Merkle, H., Kim, S. G., Ellermann, J. M., & Ugurbil, K. (1993). Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging. A comparison of signal characteristics with a biophysical model. *Biophysical Journal*, 64(3), 803-812.
- Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Sciences*, 30, 135-187.
- Schmithorst, V. J., & Holland, S. K. (2006). Functional MRI evidence for disparate developmental processes underlying intelligence in boys and girls. *NeuroImage*, 31(3), 1366-1379.
- Timothy, C. J., & Richard, B. I. (2001). The Cognitive neuropsychology of the cerebellum, *International Review of Psychiatry*, 13, 276-282.

= Abstract =

## Activation Differences of Superior Parietal Lobule and Cerebellum Areas While Inferring Geometrical Figures per Intellectual Category in Adolescents

Ye Rim Kim

*Seojeong University*

The relationship between the cerebral cortex and human intelligence has been studied using various methods, and related brain areas involved in intellectual manifestation have been discovered individually. Such studies have also shown the cerebellum is closely involved in various cognitive functions such as language, memory, and information processing. However, studies showing an activity difference between the cerebral cortex and cerebellum when performing specific tasks are hard to find. This study searched and analyzed the active regions of the cerebral cortex and cerebellum seen while performing the inference of geometrical figures. A WAIS intelligence test was conducted using 81 healthy boys (16.3 years of age on average), and five categories were classified. While performing the inference of shapes, their brain images were taken using functional magnetic resonance imaging (fMRI). As a result, the activity in 12 brain regions was observed, including in the cerebral cortex, the bilateral inferior parietal, the visual cortex, bilateral superior parietal, frontal-Inf-Tri-R, and bilateral caudate, while activities in 5 discrete areas were seen in the cerebellum. In particular, the higher the intelligence (IQ) of the subject, the stronger their activity. Among those with the most superior intelligence, subjects with an IQ of 140-147 showed significantly higher activity compared to the other groups. Such results seem to represent a very high utilization of intelligence in a highly gifted group, and we can expect to use this to determine the super gifted.

**Key Words:** Cerebral cortex, Intelligence, fMRI, Cerebellum, Gifted

1차 원고접수: 2013년 9월 25일
수정원고접수: 2013년 10월 22일
최종게재결정: 2013년 10월 22일