

뇌기능영상 측정법을 이용한 영재성 평가의 타당성 연구*

조선희(서울대학교 생물교육과)

김희백(서울대학교 생물교육과)

최유용(서울대학교 뇌과학협동과정)

채정호(가톨릭대학교 정신과학교실)

이건호(서울대학교 생명과학부)**

요 약

본 연구에서는 뇌영상기술(fMRI)을 이용하여 뇌신경활동성에 기반한 영재성 평가의 가능성을 타진하였다. 이를 위해 현행 영재교육 수혜자 및 일반 고교생 50명을 대상으로 국제적으로 공인된 다양한 지능검사(RAPM, WAIS)와 창의력 검사(TTCT-도형, TTCT-언어)를 실시하였으며 이들 중 40명의 학생을 대상으로 추론적 사고능력을 요구하는 지능과제 수행 시 두뇌활동성을 측정하였다. 일반지능(g) 수준에 따라 영재군과 일반군으로 구분하여 두뇌활동성을 비교 분석한 결과 두 그룹 모두 좌·우반구의 외측전전두엽피질(lateral PFC), 전대상피질(ACC), 후두정엽피질(PPC)에서 높은 활동을 보였으며, 영재군이 일반군에 비해 높게 나타났다. 개인별 일반지능(g) 수준과 두뇌활동성 사이의 상관도를 분석한 결과 후두정엽피질에서 가장 높은 상관도($r = 0.73 \sim 0.74$)를 보였으며 다른 영역들 역시 비교적 높은 상관도($r = 0.53 \sim 0.66$)를 보였다. 한편 영재군은 일반군에 비해 지능지수에서는 월등히 높은 수치를 보였으나 창의력지수에서는 크게 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 뇌기능영상기술이 영재성 평가에 적용될 수 있을 것이라는 가능성을 보여주며 영재선발 시 창의력에 대한 평가 비중을 강화시킬 필요성이 있음을 시사한다.

주요어: 영재성 평가, 일반지능, 창의력, 뇌영상기술, 후두정엽피질

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2003-000-10432-0)의 지원으로 수행되었음.

** 교신저자 : 이건호(leekho@snu.ac.kr)

I. 서론

영재교육진흥법이 2002년부터 시행되면서 국가차원의 영재교육이 실시되고 있으며(영재교육진흥법시행령, 2002), 그 규모가 빠른 속도로 증가하는 추세에 있다. 2005년 5월 기준으로 초·중·고등학교에 설립된 영재학급을 통해 10,104명, 시·도 교육청에서 운영하는 영재교육원을 통해 17,732명, 대학교부설 과학영재교육원을 통해 4,668명의 학생이 영재교육을 받고 있다. 2003년부터 신입생 선발을 시작한 한국과학영재학교에는 426명의 학생이 재학 중이다. 더욱이 영재교육 대상자의 범위는 2010년까지 우리나라 전체 학생의 1% 수준으로(80,000명) 확대될 예정이다(교육인적자원부, 2004). 이처럼 영재교육의 실시규모가 확대되어감에 따라 대상자 선발, 교육내용, 교사양성 등 다양한 문제가 대두되고 있다. 특히, 그 선발기준에 대한 문제는 주요 쟁점 중 하나임은 주지의 사실이다.

현행 영재교육진흥법은 영재에 대해 '재능이 뛰어난 사람으로서 타고난 잠재력을 계발하기 위하여 특별한 교육을 필요로 하는 자'로 규정하고 있다(영재교육진흥법, 1999). 이는 국가적 차원에서 뛰어난 재능을 타고난 학생을 조기에 발굴하여 그 특성에 맞는 교육을 실시함으로써 미래의 한국을 이끌어 나갈 우수한 인재로 양성하겠다는 정부의 취지를 엿볼 수 있는 대목이다. 현재 국가차원에서 영재교육 대상자 선발을 위해 실시되고 있는 영재성 평가는 지필고사, 해당분야의 각종 대회 수상실적, 면접 등을 통해 이루어진다(교육인적자원부 등, 2005). 이중 지필고사는 영재 판별에 가장 영향을 많이 미치는 요소로 논리적 혹은 창의적 사고력을 필요로 하는 문제가 출제된다. 그러나 깊은 사고력을 필요로 하는 문제를 해결하기 위해 학생이 정규교과 과정을 통해 익힌 지식 이외에 추가의 지식을 습득해야 하는 경우가 적지 않다. 이러한 경우 뛰어난 사고능력을 지니고 있어도 필요한 지식을 익히지 못한 학생의 영재성은 타고난 능력보다 낮게 평가될 가능성을 배제할 수 없으며, 또한 선행학습을 통해 유사한 문항에 대한 경험이 있는 학생의 영재성은 타고난 능력보다 높게 평가될 수 있다. 선행학습을 비교적 필요로 하지 않는 새로운 문항의 개발이 이러한 평가의 오류를 줄일 수는 있겠지만 평가의 타당성 확보가 어렵고 기출문제의 유출을 차단하기 위해 매년 반복적으로 새로운 문항을 개발하기란 현재의 인적 물적 자원으로는 상당한 무리가 따른다. 국가의 미래를 위해 적어도 정부주도의 영재교육에서 만이라도 우수한 인재가 혜택을 누릴 수 있는 기회가 보장되기 위해서는 영재교육대상자 선발과정에 대한 객관성과 타당성을 높이는 방안 마련이 시급하다.

개인의 타고난 영재성을 측정하는 방법 중의 한 가지는 개인이 지닌 뇌신경생리학적 지표를 이용하는 것이다. 뇌파, 정보처리속도, 감각기관의 예민성 등을 이용하여 영재성을 측정하려는 시도가 Galton 이래로 계속되어왔다(Galton, 1869; Jausovec & Jausovec, 2000; Neisser et al., 1996). 최근 들어 이루어지고 있는 뇌영상기술의 급속한 발달은 이러한 노력에 새로운 전환점을 제공하고 있다. 기능적 자기공명영상기술(functional magnetic resonance imaging, fMRI)과 양전자방출단층촬영기술(positron emission tomography, PET)을 이용한 연구들은 지능발현에 관여하는 뇌영역을 밝혀내고 있다(Gray & Thompson, 2004). 외측전두엽피질(lateral prefrontal cortex, lateral PFC)과 후두정엽피질(posterior parietal cortex, PPC)이 추론능력(Haier et al., 1988; Houdé & Tzourio-Mazoyer, 2003; Kroger et al., 2002; Prabhakaran et al., 1997)과 작업기억(Cabeza & Nyberg, 2000; Cohen et al., 1997; Smith & Jonides, 1998)에 중요한 역할을 담당한다는 것이 보고되고 있다. 이들 영역의 활동성은 과제의 난이도(Braver et al., 1996; Klingberg et al., 1997) 및 개인의 지능 수준(Gray et al., 2003; Haier et al., 2003)과 통계적으로 유의한 상관도를 보이고 있다. 두뇌의 해부구조와 생물화학적 물질 대사를 이용한 연구 역시 생물학적인 지표를 이용한 영재성 측정 가능성에 긍정적인 증거를 제공하고 있다(Haier et al., 2004; Jung et al., 1999).

본 연구에서는 뇌영상기술(fMRI)을 이용하여 뇌신경활동성에 기반한 영재성 평가의 가능성을 조사하였으며, 현재 영재교육을 받고 있는 학생들과 일반 학생들의 지능과 창의력의 수준을 비교분석 하였다. 이를 위해 과학교, 일반교, 실업계고 50명의 학생들을 대상으로 국제적으로 공인된 검사를 통해 지능과 창의력의 수준을 평가하였으며, 이들 중 40명의 학생을 대상으로 지능과제 수행 시 두뇌활동성을 측정하였다. 분석결과 개인의 일반지능(g) 수준과 두뇌활동성 사이에 높은 상관도가 보임에 따라 뇌기능영상 측정법이 영재성 평가에 적용될 가능성이 있음을 보여주었다. 또한, 영재군이 일반군에 비해 지능지수에서는 월등히 높은 수치를 보이나 창의력지수에서는 크게 차이를 보이지 않음에 따라 영재선발 시 창의력에 대한 평가 비중을 강화시킬 필요성이 있음을 보여주었다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

높은 수준의 일반지능(g)을 보이는 학생과 보통 수준의 일반지능(g)을 보이는 학생을 동일한 수로 모집하기 위해 과학고, 일반고, 실업계고의 학생들을 대상으로 지원자가 모집 되었다($n = 50$; 연령 16.5 ± 0.8 , 평균 \pm 표준편차). 참가자들의 지능과 창의력의 수준을 평가하기 위해 모든 참가자들에게 Raven's Advanced Progressive Matrices(RAPM), WAIS-R(Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised), TTCT(Torrance Tests of Creative Thinking)검사가 실시되었다. 인지검사점수에 기반하여 전체 참가자들 중 40명의 학생이 선별되었으며, 이들을 대상으로 fMRI실험이 실시되었다. 영재군과 일반군 사이의 두뇌활동성의 차이를 보기 위해 fMRI실험에 참가한 40명의 학생들은 RAPM 점수에 따라 20명씩 두 그룹으로 구분되었다(영재군: $RAPM \geq 33$; 일반군: $RAPM < 33$). 영재군의 RAPM 평균점수는 33.9 ± 0.8 이었으며, 일반군의 평균점수는 22.8 ± 6.6 이었다. 학생들은 부모님의 서명을 포함하는 동의서를 제출하였다. 실험과정은 가톨릭대학교 윤리위원회의 승인을 얻었다.

2. 인지검사

1) 지능검사

1-1) Raven's Advanced Progressive Matrices set II(RAPM set II): RAPM은 일반지능(g)을 측정하는 대표적인 검사로(Marshalek et al, 1983; Snow, 1989), 추론 능력을 측정하는 36문제로 구성되어 있다(Raven, 1988). 각각의 문제는 3×3 행렬로 구성되어 있으며 마지막 칸이 비어있다. 피검사자들은 8개의 선택 항목들 중에서 가장 알맞은 항목을 선택하여 빈칸을 완성하게 된다. 검사는 40분 동안 진행되었다.

1-2) Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised(WAIS-R): WAIS는 유동성 지능과 결정성지능을 함께 측정하는 대표적인 지능검사(IQ검사)로 11개의 소검사로 구성되어있다(Marshalek, Lohman, & Snow, 1983; Wechsler, 1981): 기본지식 문제, 이해문제, 어휘문제, 공통성문제, 토막짜기, 모양맞추기, 빠진곳찾기, 숫자의

우기, 산수문제, 바뀔쓰기, 차례맞추기. 요인분석결과에 의하면 소검사들은 세 가지 요인으로 구분된다(Beck et al, 1985; Leckliter, Matarazzo, & Silverstein, 1986; Parker, 1983): Verbal Comprehension, Perceptual Organization, Freedom From Distractibility. Verbal Comprehension요인은 교육을 통해 익힌 언어적 지식 수준을 측정하며, 결정성지능 수준의 지표가 된다(Marshalek, Lohman, & Snow, 1983; Woodcock, 1990). 기본지식문제, 이해문제, 어휘문제, 공통성문제가 이 요인에 속한다(Beck et al, 1985; Parker, 1983). Perceptual Organization요인은 시각적 구성능력을 측정하며, 유동성지능 수준의 지표가 된다(Marshalek, Lohman, & Snow, 1983). 토막짜기, 모양맞추기, 빠진곳찾기가 이 요인에 속한다(Beck et al, 1985; Parker, 1983). Freedom From Distractibility요인은 집중력을 측정하며, 유동성지능 수준의 지표가 된다(Kaufman & Lichtenberger, 1999). 숫자와우기, 산수문제가 이 요인에 속한다(Beck et al, 1985; Parker, 1983). 다른 9개의 소검사들이 한 가지 요인에 밀접하게 관련되어 있는 반면, 바뀔쓰기는 세 가지 요인에 비슷하게 관련되어 있으며, 차례맞추기는 Verbal Comprehension요인과 Perceptual Organization요인에 비슷하게 관련되어 있다(Beck et al, 1985; Parker, 1983). 검사는 개별적으로 이루어졌으며 약 1시간 30분이 소요되었다.

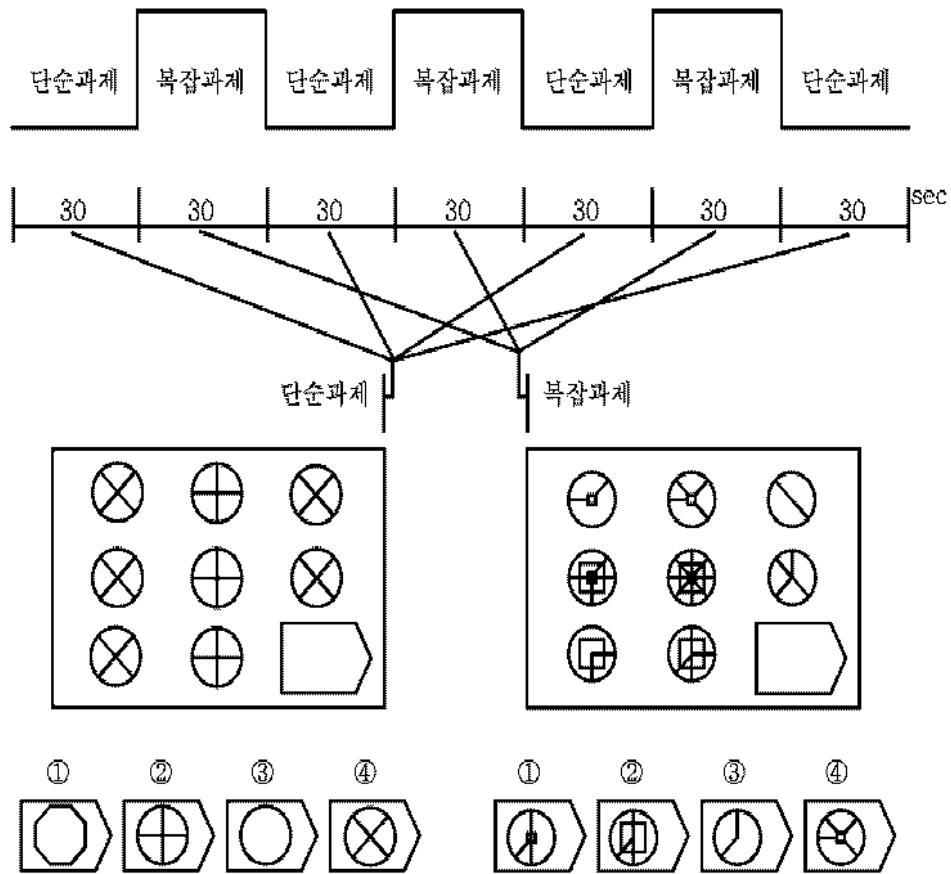
2) 창의력검사

2-1) Torrance Tests of Creative Thinking(TTCT): TTCT는 창의력을 측정하는 대표적인 검사로 도형검사와 언어검사로 나뉘어진다(Torrance, 1999a; 1999b). 도형검사는 세 가지 문항으로 구성되어 있으며(그림 구성하기, 그림 완성하기, 선 더하기), 그림을 이용하여 답을 한다. 언어검사는 여섯 가지 문항으로 구성되어 있으며(질문하기, 원인 추측하기, 결과 추측하기, 작품 향상시키기, 마분지 상자의 독특한 용도, 가상해 보기), 단어를 이용하여 답을 한다. 도형검사는 다섯 개의 하부요소에 대해 채점되는 반면(유창성, 독창성, 제목의 추상성, 성급한 종결에 대한 저항, 정교성), 언어검사는 세 개의 하부요소에 대해 채점된다(유창성, 독창성, 융통성). 유창성과 독창성은 두 검사 모두에서 공통으로 채점되며, 나머지 요소들은 검사에 따라 채점된다(TTCT-도형검사: 제목의 추상성, 성급한 종결에 대한 저항, 정교성; TTCT-언어검사: 융통성). 도형검사는 30분의 시간이 주어졌으며, 언어검사는 40분의 시간이 주어졌다.

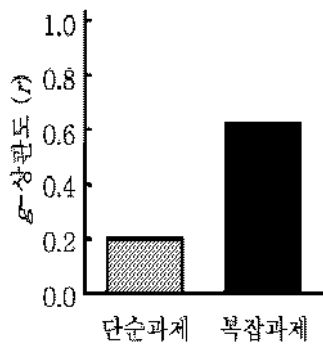
3. fMRI과제

fMRI실험을 위해 본 연구에서는 형태상의 차이는 없으나 g -상관도와 난이도가 다른 두 가지 종류의 과제를 개발하였다(단순과제, 복잡과제). 단순과제는 “Constant in a Row”의 법칙에 따랐으며 낮은 g -상관도를 지니도록 제작된 반면, 복잡과제는 “Quantitative Pair-wise Progression,” “Figural Addition or Subtraction,” “Distribution of Three Values”의 법칙에 따랐으며 높은 g -상관도를 지니도록 제작되었다(Carpenter et al., 1990). 스캐닝 세션은 네 개의 단순과제 블록과 세 개의 복잡과제 블록으로 구성되었으며, 30초씩 번갈아 제시되었다. 네 개의 문제가(각 문제 당 7.5초) 단순과제 블록에서 제시되었으며, 한 개의 문제가(30초) 복잡과제 블록에서 제시되었다. 참가자들은 각 문제의 마지막 3초 동안에 마우스를 이용하여 답을 하도록 지시 받았다. 각 문제의 마지막 3초 동안 남은 시간이 문제가 제시되는 스크린의 오른쪽 위에 표시 되었다.

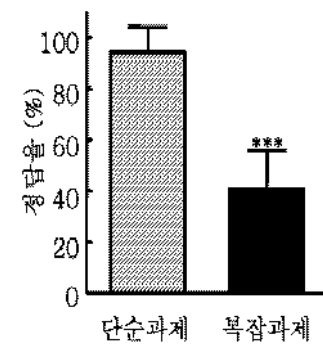
(가)



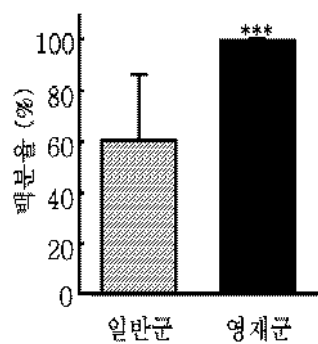
(나)



(다)



(라)



<그림 1> fMRI과제와 실험참가자 일반지능 수준. (가) fMRI과제 제시 과정과 과제의 예. (나) fMRI과제의 g -상관도. (다) fMRI과제의 난이도. (라) 실험참가자 일반지능 수준. 평균 \pm 표준편차, *** $p < 0.001$, two-tailed t test.

4. fMRI과제의 g -상관도와 난이도 측정 연구

fMRI과제의(단순과제, 복잡과제) g -상관도와 난이도를 검증하기 위해 일반군과 연령과 RAPM 점수가 비슷한 그룹을 대상으로($n = 82$; 연령 = 15.9 ± 0.3 ; RAPM = 23.8 ± 4.4 , 평균 \pm 표준편차) 컴퓨터를 이용한 fMRI과제 검사가 실시되었다. 참가자들은 정답을 가능한 빨리 선택하도록 지시 받았다. 반응시간이 측정되었으며 이것은 fMRI실험에서 과제 제시 시간을 결정하는데 이용되었다. 과제의 g -상관도는 과제와 RAPM 점수와의 상관도를 나타내며, 난이도는 과제의 정답율을 나타낸다.

5. fMRI영상 획득

뇌 영상은 3.0 T MR scanner(Forte, Isol Technology)를 통해 얻어졌다. fMRI과제는 머리 위에 놓인 12 cm의(visual angle = 13.7°) LCD모니터(IFIS-SA, MRI Devices, FA, USA)를 통해 제시되었다. 과제에 대한 반응은 오른손 아래에 놓인 마우스 버튼을 통해 PC에 기록되었다. 머리의 움직임은 foam padding을 이용하여 최소화 했다. 참가자들이 MRI내의 실험 환경에 친숙해 지도록 하기 위해 모든 참가자들은 본 실험을 시작하기 전에 MRI내에서 예시 과제를 이용하여 10분 이상의 연습을 하였다. T1 강조 해부이미지와 T2* 강조 EPI(echo-planar images) 이미지가 얻어졌다(Ogawa et al., 1990). 24장의 axial 방향의 이미지를(5 mm thickness, no gap) 두뇌전체가 포함되도록 촬영하였다(TR = 3000 ms, TE = 35 ms, flip angle = 80° , 64×64 matrix).

6. fMRI자료 분석

자료는 statistical parametric mapping SPM 99(Wellcome Department of Cognitive Neurology, London)를 이용하여 분석하였다. 이미지에서 머리의 움직임은 6-parameter rigid-body transformation을 이용하여 보정 되었다(Friston et al., 1995). 이미지에 대한 공간적인 표준화는 Montreal Neurological Institute(MNI) 기준 뇌에 기반을 둔 Talairach 좌표상의 표준 EPI템플릿을 이용하여 이루어졌다. 공간적인 표준화 후, 이미지의 각 voxel은 3-mm 입방체로 재배열(resample) 되었

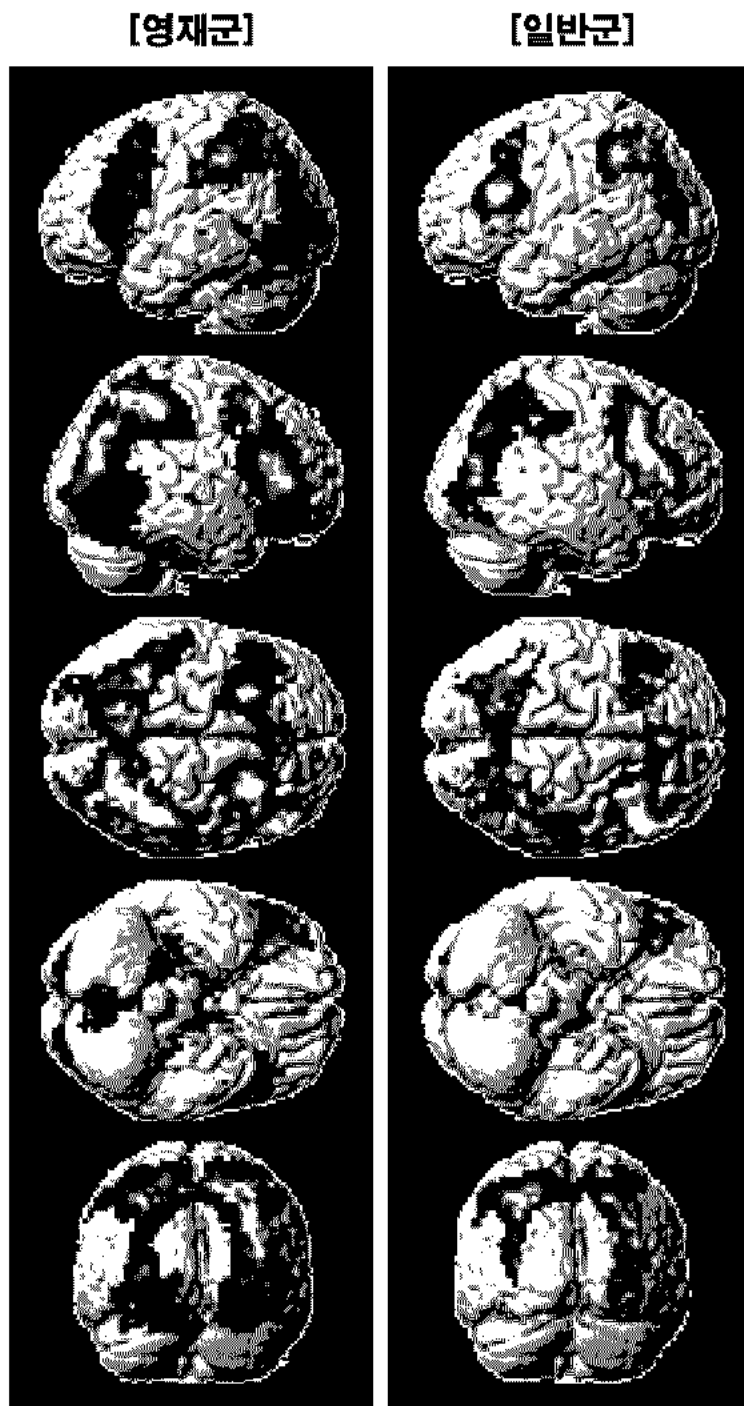
으며, 9 mm FWHM의 가우시안 커널(Gaussian kernel)에 의해 평활화(smoothing) 되었다. 개인별 대조 이미지들은(복잡과제와 단순과제를 비교한 활동 수준) general linear model을 이용하여 얻어졌다. 개인별 대조 이미지에 대한 영재군과 일반군의 그룹분석은 random effects analysis를 이용하여 이루어졌다(one-sample t test, $p < 0.001$ uncorrected). 개인별 일반지능(g) 수준과 두뇌활동성 사이의 연관성을 보기 위해 일반지능(g) 수준(RAPM 점수)과 두뇌활동성 사이의 상관도를 계산하였다.

III. 연구결과

본 연구에서는 뇌기능영상기술을 이용한 영재성 평가의 가능성을 타진해 보고자 일반지능(g) 수준에 따라 영재군과 일반군으로 구분된 두 그룹을 대상으로 지능과제 수행 시 두뇌활동성을 측정하였다. 영재군의 평균 지능 수준은 상위 99%(RAPM = 33.9 ± 0.8)가 되도록 구성하였으며, 일반군의 평균 지능 수준은 상위 60%(RAPM = 22.8 ± 6.6)가 되도록 구성하였다. 지능과제는 형태는 비슷하나 g -상관도와 난이도에서 차이를 보이는 복잡과제와 단순과제로 구성되었다. 과제에 대한 g -상관도와 난이도는 일반군과 비슷한 연령과 일반지능(g) 수준을 보이는 다른 그룹을 대상으로 검증하였다($n = 82$; 연령 = 15.9 ± 0.3 ; RAPM = 23.8 ± 4.4). 복잡과제와 단순과제는 g -상관도와(복잡과제, $r = 0.62$; 단순과제, $r = 0.20$) 난이도(복잡과제, 40% 정답율; 단순과제, 94% 정답율; $t > 13.9$, $df = 42$, $p < 0.001$)에서 큰 차이를 보였다(그림 1).

지능과제 수행 시 나타난 영재군과 일반군의 두뇌활동 영역을 알아보고자 복잡과제 수행 시 나타난 두뇌활동성에서 단순과제 수행 시 나타난 두뇌활동성을 제거한 두뇌활동성 지도가 random effects analysis(one-sample t test, $p < 0.001$ uncorrected)를 이용하여 두 그룹 각각에 대해 만들어졌다. <그림 2>에서 보이는 것과 같이 두 그룹은 모두 좌·우 반구의 외측전전두엽피질, 전대상피질(anterior cingulate, ACC), 후두정엽피질에서 활동성을 보였다. 이러한 영역들은 추론과제와 작업기억과제 수행 시 활동성을 보인다고 알려진 영역들과 비교적 일치하였다(Ghatan et al., 1995; Gray et al., 2003; Newman et al., 2003; Prabhakaran et al., 1997). 활동성을 보인 대뇌피질영역에 대한 자세한 좌표는 <표 1>에 제시 하였다. 두 그룹의 두뇌활동성의 차이를 비교해 보고자 두 그룹의 두뇌활동성에 대해

two-sample t test를 실시하였다. 영재군은 일반군에 비해 좌측 전전두엽피질을 제외한 모든 영역에서 더 큰 활동성을 보였다. 특히, 두 그룹 사이의 활동성에 대한 가장 큰 차이는 전전두엽피질영역이 아닌 후두정엽피질영역에서 나타났다(우측 PPC, $p < 0.001$; 좌측 PPC, $p < 0.01$; ACC와 우측 PFC, $p < 0.05$). 두 그룹의 과제수행도는 복잡과제와 단순과제 모두에서 유의미한 차이를 보였다(복잡과제, $p < 0.05$; 단순과제, $p < 0.05$).



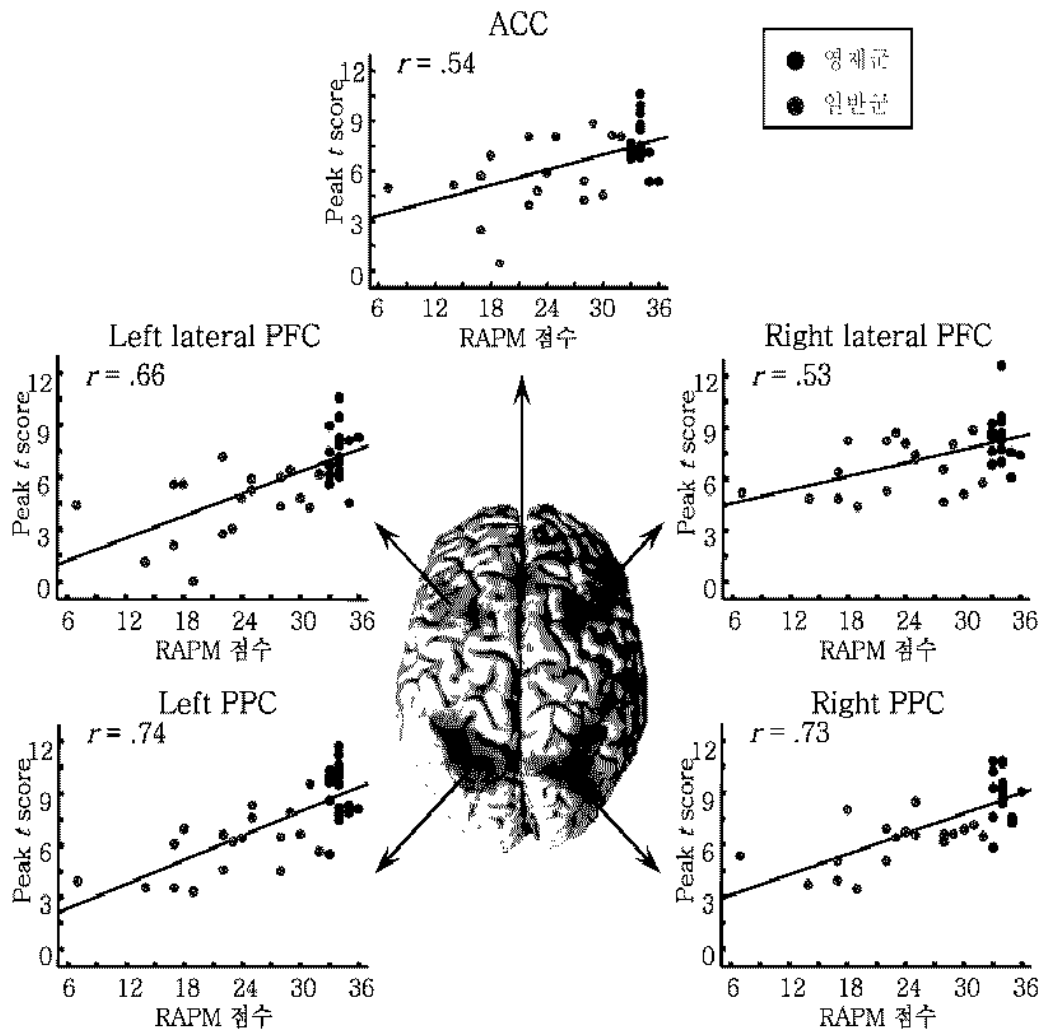
<그림 2> 영재군과 일반군의 두뇌활동성 지도(좌: 영재군 우: 일반군). 결과는 random effects analysis를 통해 얻어짐($n = 20/20$; one-sample t test, $p < 0.001$ uncorrected, voxel size > 50).

<표 1> 지능과제 수행 시 활동성을 보인 대뇌피질영역

대뇌피질영역	Brodmann영역	Cluster size	t 값	Talairach좌표		
				x	y	z
ACC, medial frontal gyrus	6, 9, 8, 32	102	10.1	-6	36	30
Left PFC (SFG, MFG)	8, 6	57	9.8	-27	15	51
Left PFC (IFG, MFG)	46, 9, 45	115	9.8	-39	24	18
Right PFC (MFG, SFG, IFG)	46, 8, 6, 9, 45	532	12.0	36	15	30
Left PPC (IPL, IPS, SPL, PCu, SMG)	7, 40, 39, 19	551	13.7	-36	-51	45
Right PPC (IPL, IPS, SPL, PCu, AnG, SMG)	7, 40, 39, 19	749	13.6	39	-75	21

결과는 random effects analysis를 통해 얻어짐($n = 40$; one-sample t test, $p < 0.0001$ corrected, voxel size > 50). ACC 전대상피질, anterior cingulate cortex; PFC 전전두엽피질, prefrontal cortex; MFG 중간전두이랑, middle frontal gyrus; SFG 상전두이랑, superior frontal gyrus; PPC 후두정엽피질, posterior parietal cortex; IPL 하두정소엽, inferior parietal lobule; IPS 두정엽내고랑, intraparietal sulcus; SPL 상두정소엽, superior parietal lobule; PCu 췌기전소엽, precuneus; AnG 각이랑, angular gyrus; SMG 변연상이랑, supramarginal gyrus.

지능과제 수행 시 두뇌활동성에 대한 그룹분석결과 영재군은 일반군에 비해 더 높은 활동성을 보였다. 이러한 결과가 개인간 일반지능(g) 수준 차이에서도 드러나는지를 알아보기 위해 개인의 일반지능(g) 수준과 두뇌활동성 사이의 상관도를 분석하였다. 두뇌활동성은 각 영역의 최대 t 값으로 계산되었다. <그림 3>에 제시된 것과 같이 좌측 후두정엽피질영역이 개인의 일반지능(g) 수준과 가장 높은 상관도를 보였다($r = 0.74$, $p < 0.001$). 다른 영역들 역시 비교적 높은 상관도를 보였다(ACC, $r = 0.54$; 좌측 PFC, $r = 0.66$; 우측 PFC, $r = 0.53$; 우측 PPC, $r = 0.73$, $p < 0.001$). 이러한 결과는 그룹 분석의 결과와 일치하는 것으로 개인의 일반지능(g) 수준이 두뇌의 활동성과 연관성을 지닌다는 사실에 대한 추가의 증거를 제공해 주었다.



<그림 3> 일반지능 수준과 두뇌활동성 사이의 상관도. ACC 전대상피질, anterior cingulate cortex; PFC 전전두엽피질, prefrontal cortex; PPC 후두정엽피질, posterior parietal cortex.

영재군과 일반군의 지능과 창의력의 수준을 비교하기 위하여 전체 참가자 50명을 대상으로 RAPM, WAIS, TTCT-도형, TTCT-언어 검사를 실시하였다. RAPM은 일반지능(g)을 측정하는 대표적인 검사이며, WAIS는 유동성지능과 결정성지능을 모두 측정할 수 있는 대표적인 지능검사(IQ검사)이다. TTCT는 창의력의 다양한 하부요소를 측정하는 검사이다. 전체 50명을 RAPM 점수에 따라 영재군과 일반군의 두 그룹으로 구분한 결과 일반지능(g)의 수준이 영재군은 상위 99%($n = 24$; $RAPM = 33.8 \pm 1.1$)를 보였으며, 일반군은 상위 60%($n = 26$; $RAPM = 22.9 \pm 7.2$)를 보였다. <표 2>에 제시된 것과 같이 영재군과 일반군은 WAIS와 RAPM 점수에서 모두 큰 차이를 보였다($p < 0.001$). 그러나, TTCT-언어에서는 두 그룹의 점수 사이에 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았으며, TTCT-도형에서 두 그룹의 점수 차이는 지능 점수의 차이에 비해 적었다($p < 0.05$).

<표 2> 영재군과 일반군의 지능과 창의력검사 전체점수 평균

		영재군	일반군	t 값
지능검사	WAIS	135.9 \pm 12.1	106.2 \pm 19.7	6.5***
	RAPM	33.8 \pm 1.1	22.9 \pm 7.2	7.6***
창의력검사	TTCT-도형	109.5 \pm 13.3	100.2 \pm 12.3	2.6*
	TTCT-언어	101.8 \pm 14.6	95.5 \pm 14.6	1.5

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$, 평균 \pm 표준편차

영재군과 일반군의 지능과 창의력 점수의 차이가 구체적으로 어느 하부 요소에서 나타나는지를 알아보기 위해 WAIS소검사와 TTCT검사의 하부점수에 대해 영재군과 일반군의 평균점수를 비교하였다. <표 3>에 제시된 것과 같이 WAIS소검사 점수에 대한 분석결과 결정성지능을 반영하는 Verbal Comprehension요인에 속하는 어휘문제, 기본지식문제, 이해문제, 공통성문제의 점수는 두 그룹간에 큰 차이를 보였다($p < 0.001$). 그러나, 유동성지능을 반영하는 Perceptual Organization요인에 속하는 빠진곳찾기의 점수는 두 그룹간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았으며, 모양맞추기의 점수도 Verbal Comprehension요인에 속하는 소검사들에 비해 두 그룹간 점수의 차이가 적었다($p < 0.05$).

<표 3> 영재군과 일반군의 WAIS소검사 점수 평균

요인	소검사	영재군	일반군	t 값
Perceptual Organization	모양맞추기	13.4 ± 1.5	12.2 ± 1.6	2.6*
	토막짜기	15.5 ± 2.2	12.6 ± 3.0	3.8***
	빠진곳찾기	13.6 ± 2.2	12.7 ± 1.9	1.5
Verbal Comprehension	어휘문제	15.0 ± 1.9	10.6 ± 2.8	6.4***
	기본지식문제	14.4 ± 1.5	10.4 ± 2.9	6.2***
	이해문제	16.2 ± 1.5	12.7 ± 3.2	5.0***
Freedom From Distractibility	공룡성문제	15.9 ± 2.2	12.7 ± 3.1	4.3***
	산수문제	16.2 ± 2.6	12.3 ± 3.1	4.7***
	숫자외우기	15.5 ± 2.3	12.2 ± 2.0	5.3***

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$, 평균 ± 표준편차

TTCT하부점수에 대한 분석결과 <표 4>에 제시된 것과 같이 TTCT-도형검사와 TTCT-언어검사 모두에서 채점되는 유창성과 독창성의 점수에서는 두 그룹간에 통계적으로 유의미한 차이가 보이지 않았으나, 제목의 추상성, 성급한 종결에 대한 저항, 융통성의 점수에서는 두 그룹간에 통계적으로 유의미한 차이가 보였다 (제목의 추상성, $p < 0.001$; 성급한 종결에 대한 저항, $p < 0.01$; 융통성, $p < 0.05$). 도형검사의 유창성 점수는 통계적으로 유의미 하지는 않았으나 일반군이 영재군 보다 높게 나타났다. 유창성과 독창성은 창의력의 핵심으로 여겨지는 항목이다(Guilford, 1967; Torrance, 1999a; 1999b; Wallach & Kogan, 1965). 이것은 창의력의 핵심으로 여겨지는 능력에서 영재군이 일반군에 비해 뛰어나지 않다는 것을 보여주었다.

<표 4> 영재군과 일반군의 TTCT검사 하부점수 평균

	하부점수	영재군	일반군	t 값
도형	유창성	108.8 ± 19.2	109.4 ± 15.0	-0.1
	독창성	120.2 ± 18.8	118.3 ± 15.6	0.4
	제목의 추상성	93.1 ± 21.4	65.6 ± 26.2	4.0***
	성급한 종결에 대한 저항	82.5 ± 14.9	67.9 ± 15.7	3.4**
	정교성	143.7 ± 16.2	139.4 ± 19.8	0.8
언어	유창성	95.4 ± 14.8	92.2 ± 14.1	0.8
	독창성	105.9 ± 15.0	100.2 ± 15.1	1.3
	융통성	103.8 ± 14.6	94.1 ± 16.6	2.2*

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 평균 ± 표준편차

IV. 논의 및 결론

본 연구에서는 뇌기능영상 측정법을 이용한 영재성 평가에 대한 가능성을 타진해 보고자 과학고, 일반고, 실업계고의 학생들을 대상으로 추론이 많이 요구되는 복잡과제와 추론이 비교적 적게 요구되는 단순과제 수행 시 두뇌활동성을 측정하였다. 전체 집단을 일반지능(g)이 상위 99%안에 드는 영재군과 상위 60%안에 드는 일반군으로 구분하여 지능과제 수행 시 두뇌활동성을 분석한 결과 두 그룹 모두 좌·우 반구의 외측전전두엽피질, 전대상피질, 후두정엽피질에서 높은 활동성을 보였으며, 영재군이 일반군에 비해 활동성이 더 높게 나타났다. 개인별 일반지능(g) 수준과 두뇌활동성 사이의 상관도를 분석한 결과 후두정엽피질에서 가장 높은 상관도($r = 0.73 \sim 0.74$)를 보였으며, 다른 영역들 역시 비교적 높은 상관도($r = 0.53 \sim 0.66$)를 보였다. 이러한 결과는 영재성 발현에 관여하는 뇌신경회로가 있으며 이들 영역의 활동성이 개인의 일반지능(g) 수준을 반영하고 있음을 시사한다.

복잡과제와 단순과제를 비교한 영재군과 일반군의 두뇌활동성 지도에서 높은 활동성을 보인 전전두엽피질, 전대상피질, 후두정엽피질은 추론과제와 작업기억과제 수행 시 활동성을 보인다고 알려진 영역들과 비교적 일치하였다(Ghatan et al.,

1995; Gray et al., 2003; Newman et al., 2003; Prabhakaran et al., 1997). 다양한 형태의 지능과제 수행 시 비슷한 영역에서 활동성이 보인다는 사실은 지능발현에 관여하는 특정 뇌신경회로가 있다는 사실을 시사한다. 본 연구에서는 복잡과제와 단순과제를 개발하여 지능발현에 관여하는 부위를 확인한 것과 더불어 일반지능(g) 수준이 상위 99%안에 드는 영재군과 상위 60%인 일반군을 구성하여 두 그룹의 두뇌활동성을 비교함으로써 후두정엽피질의 활동성이 지능 수준과 높은 상관관계($r = 0.73 \sim 0.74$)를 가진다는 것을 보였다. 후두정엽피질의 활동성이 지능 수준과 밀접한 연관성을 지닌다는 사실은 이전의 EEG와 PET실험에서도 보고된 바 있다. EEG를 이용한 실험에서 지능이 높은 그룹은 문제풀이 시 후두정엽피질의 활동성이 나타나는 반면, 지능이 낮은 그룹은 전두엽피질에 치우친 활동성이 나타남을 보였다(Gevins & Smith, 2000). PET을 이용한 실험에서는 추론이 들어가지 않은 과제 수행 시 후두정엽피질의 활동성이 개인의 지능 수준과 연관성이 있음을 보였다(Haier et al., 2003). 그러나, EEG실험은 공간해상도가 약하며 PET을 이용한 실험은 추론을 요구하지 않는 과제를 사용했다는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 공간해상도가 좋은 fMRI를 이용하여 추론과제 수행 시 후두정엽피질의 활동성과 일반지능(g) 수준 사이에 높은 상관도가 나타남을 보임으로써, 일반지능(g) 수준과 후두정엽피질의 활동성 사이의 밀접한 관계에 대한 신경생물학적 증거를 제공하였다. 일반지능(g) 수준과 후두정엽피질의 활동성 사이의 이러한 높은 상관관계는 뇌신경생리학적 지표에 기반한 영재성 평가에 대한 타당성을 강화시키는데 기여를 할 것으로 보인다.

한편, 본 연구에서는 영재군과 일반군의 지능과 창의력 수준을 알아보기 위해 국제적으로 공인된 지능검사(RAPM, WAIS)와 창의력검사(TTCT-도형, TTCT-언어)를 실시하였다. RAPM검사는 일반지능(g)을 측정하는 대표적인 검사로 지능의 구조분석, 추론능력과 작업기억능력의 관계, 남·녀간 지능차이 등 지능에 대한 많은 연구에서 이용되고 있다(Conway et al., 2002; Lynn & Irwing, 2004; Marshalek et al., 1983). WAIS검사는 11개 소검사를 통해 선천적인 지능과 후천적인 지능을 모두 측정하는 방법을 채택하고 있으며, 피험자 일인당 약 1시간 30분 정도 소요되는 개별 검사법이다(Wechsler, 1981). 선천적인 지능과 후천적인 지능을 모두 포함하는 개인의 총체적인 지능을 측정하고 있어 교육이 지능에 미치는 영향에 대한 연구에 이용되고 있다(Stelzl et al., 1995). TTCT검사는 창의력의 다양한 측면을 측정하는 검사로 창의력과 지능의 관계에 대한 연구를 행할 때 널리 이용되고 있다(Esquivel & Lopez, 1988; Yamamoto, 1964). 아직까지 이러한

국제적으로 공인된 다양한 지능검사와 창의력검사를 모두 이용하여 영재군과 일반군의 지능과 창의력 수준을 비교한 연구는 드물다. 분석결과 지능검사에서는 영재군이 일반군에 비해 월등히 높은 수준을 보였으나 창의력검사에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 창의력이 영재의 중요한 특성으로 여겨진다는 점을 고려해 볼 때 (Renzulli, 1978), 본 연구의 결과는 영재평가 시 창의력에 대한 중요성이 강조되어야 함을 시사한다.

구체적으로 지능과 창의력의 어떤 부분에서 두 그룹간 능력의 차이가 나는지를 알아보기 위해 WAIS소검사와 TTCT하부검사에 대해 두 그룹간의 점수의 차이를 분석하였다. WAIS소검사에 대한 분석결과 결정성지능을 반영하는 Verbal Comprehension요인에 속하는 어휘문제, 기본지식문제, 이해문제, 공통성문제의 점수에서는 두 그룹간에 큰 차이를 보였으나, 유동성지능을 반영하는 Perceptual Organization요인에 속하는 빠진곳찾기의 점수에서는 두 그룹간에 통계적으로 유의미한 차이가 없었으며, 모양맞추기의 점수도 결정성지능을 반영하는 Verbal Comprehension요인에 속하는 소검사들의 점수보다 두 그룹간의 차이가 적었다. 결정성지능은 교육과 경험을 통해 습득된 지식의 양을 나타내는 반면, 유동성지능은 추론능력을 나타낸다(Cattell, 1971; Horn & Cattell, 1966). 일반지능(g)을 가장 잘 측정하는 것으로 알려진 RAPM의 문제들이 추론능력을 필수적으로 요구한다는 점을 볼 때(Alderton & Larson, 1990; Anastasi, 1988; Bors & Strokes, 1998), 일반지능(g)은 결정성지능 보다는 유동성지능과 더 밀접한 연관을 지닌다고 생각할 수 있다. 실제 통계분석결과 일반지능(g)과 유동성지능간에 상관관계가 높게 나타남으로 인해 유동성지능을 일반지능과 같은 위치에 두어야 한다는 주장도 제기되었다(Gustafsson, 1988). 그러므로, WAIS소검사 점수에 대한 분석결과 영재군과 일반군 사이에 결정성지능을 측정하는 소검사들의 점수의 차이가 유동성지능을 측정하는 소검사들의 점수의 차이보다 크게 나타난다는 사실은 지능검사(IQ검사)에 일반지능(g)이 잘 반영되어 있지 않을 수 있음을 시사한다. 1300명 이상의 다양한 교육수준의 사람들을 대상으로 WAIS검사를 실시한 연구에서도 WAIS전체 점수에 일반지능(g)이 잘 반영되어 있지 않으며, 이것의 원인은 지능검사(IQ검사)에 교육의 영향이 반영되어있기 때문이라는 점을 보고 하였다(Colom et al., 2002). 일반지능(g)은 새로운 문제를 해결하는데 필수적으로 요구되는 능력으로 (Gustafsson, 1984; Johnson et al, 2004), 학문적 직업적 성취를 잘 예측하는 것으로 알려져 있다(Jensen, 1991; Schmidt & Hunter, 1998). 그러므로, 일반지능은(g) 영재선발 시 필수적으로 고려되어야 할 능력이다. 본 연구의 결과와 이전 연구의

결과는 지능검사(IQ검사)를 이용하여 일반지능(g)의 수준을 측정하는 데에는 한계가 있을 수 있다는 사실을 시사한다.

TTCT하부점수에 대한 분석결과 유창성과 독창성은 두 그룹의 점수 사이에 통계적으로 유의미한 차이가 없었으며, 도형검사의 유창성의 경우 일반군이 영재군보다 높게 나타나기도 했다. 두 그룹간의 점수의 차이는 제목의 추상성, 성급한 종결에 대한 저항, 융통성 점수에서 나타났다. 유창성과 독창성은 많은 창의력 검사지에서 공통으로 채점되는 항목이다(Guilford, 1967; Torrance, 1999a; 1999b; Wallach & Kogan, 1965). 창의력 검사지가 창의력을 잘 반영하고 있지 못하다는 비판이 제기되어 오고 있음을 고려하면(Cooper, 1991; Cropley, 2000) 창의력이 제대로 측정되었는지에 대해 의문을 지닐 수 있으나, 현재까지 개발된 창의력 검사지에서 공통적으로 중요하게 여겨지는 항목에서 두 그룹간에 점수의 차이가 없다는 사실은 영재군이 일반군에 비해 창의력과 밀접한 연관성을 지니는 능력에서 우수하지 않다는 것을 보여준다.

영재를 선발하여 교육하는 것은 천연자원이 부족한 우리나라에서 국가 경쟁력 강화에 필수적인 부분이다. 어떻게 영재선발과정에 대한 객관성과 타당성을 높일 것인가는 영재교육의 중요한 문제이다. 본 연구에서는 뇌기능영상기술을 이용하여 일반지능(g) 수준과 후두정엽피질의 두뇌활동성 사이에 높은 상관관계가 있음을 보였다. 이러한 연구결과는 사고과정에서 작동하는 신경세포의 활동성을 직접 측정함으로써 영재아와 일반아 사이에 어떤 뇌기능적 차이가 있는가를 보인 것으로 지필평가 또는 일대일 문답식 평가에서 객관화 될 수 없는 사고과정의 차이를 객관적으로 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 뇌기능영상 측정법을 이용한 영재성 평가가 실용화되기 위해서는 비용과 측정시간 등 현실적으로 극복해야 할 문제점들이 적지 않다. 하지만 이러한 문제점들은 기술적 발달과 재정적 지원을 통해 극복 못할 문제가 결코 아니다. 영재군과 일반군 사이의 뇌기능적 차원의 분석과 더불어 실시된 인지검사지 차원의 분석 결과는 영재군이 일반군에 비해 지능 수준에서는 월등히 높으나 창의력 수준에서는 큰 차이가 없다는 것을 보여주었다. 이러한 본 연구의 결과들은 보다 객관적이고 타당한 영재성 평가법 개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 교육인적자원부(2004). 창의적 인재 양성을 위한 수월성 교육종합대책.
- 교육인적자원부, 16개 시·도 교육청, 한국교육개발원(2005). 영재교육 이렇게 하고 있습니다.
- 영재교육진흥법(1999).
- 영재교육진흥법시행령(2002).
- Alderton, D. L., & Larson, G. E. (1990). Dimensionality of Raven's Advanced Progressive Matrices items. *Educ. Psychol. Meas.*, 50, 887-900.
- Anastasi, A. (1988). *Psychological testing*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Beck, N. C., Horwitz, E., Seidenberg, M., Parker, J., & Frank, R. (1985). WAIS-R factor structure in psychiatric and general medical patients. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 53, 402-405.
- Bors, D. A., & Strokes, T. L. (1998). Raven's Advanced Progressive Matrices: Norms for first-year university students and the development of a short form. *Educ. Psychol. Meas.*, 58, 382-399.
- Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1996). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *NeuroImage*, 5, 49-62.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J. Cogn. Neurosci.*, 12, 1-47.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychol. Rev.*, 97, 404-431.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston: Houghton Mifflin.
- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386, 604-608.
- Colom, R., Abad, F. J., García, L. F., & Juan-Espinosa, M. (2002). Education, Wechsler's full scale IQ, and *g*. *Intelligence*, 30, 449-462.

- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence, 30*, 163-183.
- Cooper, E. (1991). A critique of six measures for assessing creativity. *Journal of Creative Behavior, 25*, 194-204.
- Cropley, A. J. (2000). Defining and measuring creativity: Are creativity tests worth using? *Roeper Review, 23*, 72-79.
- Esquivel, G. B., & Lopez, E. (1988). Correlations among measures of cognitive ability, creativity, and academic achievement for gifted minority children. *Perceptual and Motor Skills, 67*, 395-398.
- Friston, K. J., Ashburner, J., Frith, C. D., Poline, J. B., Heather, J. D., & Frackowiak, R. S. J. (1995). Spatial registration and normalization of images. *Hum. Brain Mapp., 2*, 165-189.
- Galton, F. (1869). *Hereditary genius: An inquiry into its laws and consequences*. New York: Macmillan.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cereb. Cortex, 10*, 829-839.
- 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. *NeuroImage, 2*, 112-124.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nat. Neurosci., 6*, 316-322.
- Gray, J. R., & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: Science and ethics. *Nat. Rev. Neurosci., 5*, 471-482.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Gustafsson, J. E. (1984). A unifying model for the structure of intellectual abilities. *Intelligence, 8*, 179-203.
- Gustafsson, J. E. (1988). Hierarchical models of individual differences in

- cognitive abilities. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 4, pp. 35-71). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J., Paek, J., Browning, H., & Buchsbaum, M. S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence, 12*, 199-217.
- Haier, R. J., Nathan, S. W., & Alkire, M. T. (2003). Individual differences in general intelligence correlate with brain function during nonreasoning tasks. *Intelligence, 31*, 429-441.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkired, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *NeuroImage, 23*, 425-433.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1966). Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *Journal of Educational Psychology, 57*, 253-270.
- Houdé, O., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Neural foundations of logical and mathematical cognition. *Nat. Rev. Neurosci., 4*, 507-514.
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2000). Correlations between ERP parameters and intelligence: A reconsideration. *Biol. Psychol. 55(2)*, 137-154.
- Jensen, A. R. (1991). Spearman's *g* and the problem of educational equality. *Oxford Rev. Educ., 17*, 169-187.
- Johnson, W., Bouchard, T. J., Krueger, R. F., McGue, M., & Gottesman, I. I. (2004). Just one *g*: Consistent results from three test batteries. *Intelligence, 32*, 95-107.
- Jung, R. E., Yeo, R. A., Chiulli, S. J., Sibbitt, W. L. J., Weers, D. C., Hart, B. L., & Brooks, W. M. (1999). Biochemical markers of cognition: A proton MR spectroscopy study of normal human brain. *NeuroReport, 10*, 3327-3331.
- Kaufman, A. S., & Lichtenberger, E. O. (1999). *The essentials of WAIS-III assessment*. New York: J. Wiley & Sons.
- Klingberg, T., O'Sullivan, B. T., & Roland, P. E. (1997). Bilateral activation of fronto-parietal networks by incrementing demand in a working memory

- task. *Cereb. Cortex*, 7, 465-471.
- Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, M. S., & Holyoak, K. J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: Aparametric study of relational complexity. *Cereb. Cortex*, 12, 477-485.
- Leckliter, I. N., Matarazzo, J. D., & Silverstein, A. B. (1986). A literature review of factor analytic studies of the WAIS-R. *Journal of Clinical Psychology*, 42, 332-342.
- Lynn, R., & Irwing, P. (2004). Sex differences on the progressive matrices: A meta-analysis. *Intelligence*, 32, 481-498.
- Marshalek, B., Lohman, D. F., & Snow, R. E. (1983). The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence. *Intelligence*, 7, 107-127.
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard, T. J. Jr., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., Halpern, D. F., Loehlin, J. C., Perloff, R., Sternberg, R. J., & Urbina, S. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *Am. Psychol.*, 51, 77-101.
- Newman, S. D., Carpenter, P. A., Varma, S., & Just, M. A. (2003). Frontal and parietal participation in problem solving in the Tower of London: fMRI and computational modeling of planning and high-level perception. *Neuropsychologia*, 41, 1668-1682.
- Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., & Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87, 9868-9872.
- Parker, K. (1983). Factor analysis of the WAIS-R at nine age levels between 16 and 74 years. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 51, 302-308.
- Prabhakaran, V., Smith, J. A. L., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1997). Neural substrates of fluid reasoning: An fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices Test. *Cognitive Psychol.*, 33, 43-63.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1988). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*. London: Lewis.

- Renzulli, J. S. (1978). What makes giftedness? Re-examining a definition. *Phi Delta Kappan*, *60*, 180-184.
- Schmidt, F. L., & Hunter, J. E. (1998). The Validity and Utility of Selection Methods in Personnel Psychology: Practical and Theoretical Implications of 85 Years of Research Findings. *Psychol. Bull.*, *124*, 262-274.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of working memory. *Proc Natl. Acad. Sci. USA*, *95*, 12061-12068.
- Snow, R. E. (1989). Toward assessment of cognitive and conative structures in learning. *Educational Researcher*, *18*, 8-14.
- Stelzl, I., Merz, F., Ehlers, T., & Remer, H. (1995). The effect of schooling on the development of fluid and crystallized intelligence: A quasi-experimental study. *Intelligence*, *21*, 279-296.
- Torrance, E. P. (1999a). *Torrance Tests of Creative Thinking: Thinking Creatively with Pictures, Form A*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service.
- Torrance, E. P. (1999b). *Torrance Tests of Creative Thinking: Thinking Creatively with Words, Form A*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service.
- Wallach, M. A., & Kogan, N. (1965). *Modes of thinking in young children*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Wechsler, D. (1981). *WAIS-R manual: Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised*. New York: The Psychological Corporation.
- Woodcock, R. W. (1990). Theoretical foundations of the WJ-R measures of cognitive ability. *Journal of Psychoeducational Assessment*, *8*, 231-258.
- Yamamoto, K. (1964). Threshold of intelligence in academic achievement of highly creative students. *The Journal of Experimental Education*, *32*, 401-405.

Abstract

A Neurobiological Measure of General Intelligence in the Gifted

Sun Hee Cho
Heui-Baik Kim
Yu Yong Choi
(Seoul National University)
Jeong-Ho Chae
(Catholic University)
Kun Ho Lee
(Seoul National University)

We applied functional magnetic resonance imaging (fMRI) techniques to examine whether general intelligence (g) could be assessed using a neurobiological signal of the brain. Participants were students in a national science academy and several local high schools. They were administered diverse intelligence (RAPM and WAIS) and creativity tests (TTCT-figural and TTCT-verbal). Forty of them were scanned using fMRI while performing complex and simple g tasks. In brain regions of greater blood flow in complex compared with simple g tasks, the gifted group with an exceptional g level was not significantly different from the average group with an ordinary g level: both of them activated the lateral prefrontal, anterior cingulate, posterior parietal cortices. However, the activation levels of the gifted group were greater than those of the average group, particularly in the posterior parietal cortex. Correlation analysis showed that the activity of the posterior parietal cortex has the highest correlation ($r = 0.73 \sim 0.74$) with individual g levels and other regions also have moderate correlation ($r = 0.53 \sim 0.66$). On the other hand, two-sample t test showed a striking contrast in intelligence tests scores between the gifted and the average group, whereas it did not show in creativity tests scores. These results suggest that it is within the bounds of possibility that a neurobiological signal of the brain is used in the assessment of the gifted and also suggest that creativity has to be given a great deal of weight on the assessment of the gifted.

Key words: assessment of the gifted, general intelligence, creativity, fMRI, posterior parietal cortex