

청소년의 지능범주별 대뇌피질 변화성 분석 연구

김 예 림

서정대학교

청소년들의 뇌는 급속한 변화를 겪는다. 그동안 신경해부학적 특성과 일반지능(IQ)과의 관련성을 알아보기 위한 연구가 지속적으로 이뤄져 왔으나 대부분 단편적이었다. 본 연구는 단순히 대뇌 피질 두께를 한 번 측정하는 것이 아니고, 대뇌 피질 두께의 변화를 추적하여 일반지능과 그 변화 간의 관련성을 추정하였다. 건강한 청소년 75명($M=16$ 세 4개월)을 5단계의 지능범주별로 나눈 뒤 6개월의 간격을 두고 MRI 촬영을 두 번씩 하여 대뇌 피질 두께 변화를 알아냈다. 그 결과 일반지능 범주별로 대뇌 피질 두께 변화에 차이가 크게 나타났다. 일반지능이 120 이상인 세 그룹은 관찰 대상인 11개 뇌 영역의 대뇌 피질 두께가 모두 감소했으나, 그 이하의 두 개 그룹에서는 지능이 낮을수록 늘어나는 영역이 5~8개나 됐다. 이는 일반지능이 낮을수록 대뇌피질의 성숙이 늦어지는 것으로 추정할 수 있다.

주제어: 청소년, 지능, 피질두께, 대뇌, 뇌영역, MRI

I. 서 론

청소년기에는 대뇌의 피질 두께, 뇌 신경 시냅스의 용량 감소 등 뇌 형태학적 변화와 함께 정서적으로도 많은 혼란을 겪는다. 대뇌 피질은 감각의 처리, 지각, 수의적 운동, 학습, 언어, 인지 등을 담당하는 뇌의 핵심 부위 중 하나로 중요하며, 그 두께 또한 지능과 환경, 유전적 요인에 의해 달라진다는 연구 결과가 속속 나오고 있다. 특히 대뇌 피질의 두께는 일정 연령대까지 두꺼워지다 다시 감소하기도 한다(Shaw et al., 2006). 그래서 지능에 따른 청소년들의 대뇌 피질 두께 변화를 알아보는 것은 뇌 형태학적 발달 단계 차원에서 대단히 중요한 과제다. 대뇌 피질에 대한 그동안의 연구는 세포체와 수초의 분포, 분

교신저자: 김예림(bj1320@naver.com)

* 본 연구를 위해 연구비를 지원한 한국과학창의재단과 조언을 아끼지 않은 KAIST 전기 및전자공학과 김대식 교수님께 감사드립니다.

차적 수준의 여러 생화학 물질, 인지, 영역별 기능 등 다양한 분야에서 이뤄졌다(Banich, 2009; Bear, Paradiso, Connors, 2007; Shaw et al., 2008). 그 중에서도 뇌 형태학적 변화와 지능과의 상관성을 밝힌 연구는 양전자방출단층촬영기술(PET), 자기공명단층촬영기술(MRI), 기능성자기공명단층촬영기술(fMRI) 등을 이용해 지속적으로 이뤄져 왔으나 종단 연구보다는 단편적인 연구가 주류를 이뤘다(Cabeza & Nyberg, 2000; Cohen et al., 1997; Gray & Thompson, 2004; Haier et al., 1988; Kroger et al., 2002; Prabhakaran et al., 1997; Smith & Jonides, 1998).

지금까지 MRI를 이용해 수행한 연구 중 뇌 전체 용량과 지능과의 상관성은 보통의 상관 정도를 갖는다는 사실을 밝힌 것이 있으며(Andreasen et al., 1993; McDaniel & Nguyen, 2002; McDaniel, 2005; Peters, 1995), Haier et al.(2004)은 뇌의 특정 영역과 지능 간의 관계는 뇌 발달 단계에 따라 다양하다는 사실을 알아냈는데 전측대상회는 아동기 때, 안와전두와 내측전전두피질은 청소년기에, 외측전전두피질은 노인기와 관련이 있다고 보고하였다. 그러나 이들 연구는 단편적인 데이터만을 사용함으로써 발달 과정을 추정할 수 있었을 뿐이며, 더 많은 연구 과제를 남겼다.

Sowell et al.(2004)은 2년 간격으로 대뇌 피질 두께를 촬영해 처음으로 지능과 대뇌 피질 변화의 관련성을 연구했으며, 언어 지능이 더 높은 어린이들이 좌측등쪽전두피질과 두정피질 영역이 대폭 얇아진다는 것을 보여줬다. 그러나 피험자가 5.3~9.5세의 어린이 45명으로 피험자의 숫자가 적다. Shaw et al.(2006)은 7~19세의 피험자 307명을 대상으로 장기간에 걸쳐 지능과 대뇌 피질 변화와의 관련성을 연구하였다. 이 연구는 영재와 높은 지능, 일반 지능 등 세 범주로 피험자들을 나눈 뒤 대뇌 피질 영역별 두께 변화를 알아냈으며, 지능 범주별 영역별로 가장 두꺼웠을 때의 연령은 각각 다르지만 7~12세 사이에 있었고, 그 이후 19세까지는 얇아졌다(Shaw et al., 2006). 이 연구는 지능과 대뇌 피질 발달 관계를 밝히는 데 크게 기여하였지만 무작위적으로 피험자를 추출하였으며, 뇌 MRI(자기공명영상기술) 촬영을 한 사람 당 한 번~세 번까지 평균 2년 간격으로 하였으나 2회 이상 촬영한 피험자들은 각각 촬영 시점이 달랐다. 이 때문에 일정 기간 뒤의 동일 피험자의 대뇌 피질 두께 변화를 정확하게 알아내는 것과 유전적 특성이 다른 민족별 구분을 하지 않아 한국 청소년만의 피질 두께 변화성을 분석하기 어렵다는 한계가 있다. Sowell et al.(2004)과 Shaw et al.(2006)의 연구는 동일 연령대의 피험자만으로 국한했을 경우는 그 숫자가 적다는 한계도 있으며, 평균 2년 간격으로 MRI 촬영을 통해 대뇌 피질 두께를 측정했기 때문에 급격하게 발달하는 청소년들의 뇌의 형태 변화를 평균 6개월 또는 1년 등 평균 2년보다 짧은 기간에는 알아내기 어려웠다.

Choi et al.(2008)은 청소년과 대학생 피험자 225명을 대상으로 지능이 피질 두께와 신경활성에 어떤 영향을 미치는지를 밝혔다. 피험자의 지능은 80~150 사이에 고르게 분포하도록 하였으며, 연구 결과 결정성 지능에 속하는 언어 능력이나 지식 수준이 뛰어난수록 뇌의 원

쪽 측두엽의 특정 부위(베로니케 영역)가 두꺼워지는 경향이 있다는 사실을 알아냈다. 즉, 학습과 기억을 통해 축적되는 지능은 대뇌 피질의 두께 차이로 설명될 수 있다는 것이다. 이 연구는 피험자의 피질 두께 변화를 연구하지는 않았다.

본 연구는 거의 비슷한 연령(평균 16세 4개월)이면서 한국인으로 고교 2학년의 피험자들(n=75)의 대뇌 피질 11개 영역별 두께의 6개월 간의 변화를 추적하였으며, 그 결과를 이용하여 일반 지능(g) 차이별 대뇌 피질 두께의 변화성을 연구하였다. 이들을 대상으로 국제적으로 공인된 검사를 통해 일반 지능을 평가하였고, 5개 지능 범주로 나누었다. MRI 촬영을 통해서 대뇌 피질 두께를 측정하여 그룹 간 변화를 비교하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

고교 2학년을 대상으로 지원자를 모집하였으며, 그 중 MRI 촬영에 부적합하거나 부모의 동의를 받지 못한 지원자를 제외하고 75명(연령 평균 16세 4개월)을 선발하였다. 피험자는 여학생과 남학생의 비율을 맞추기 어려워 남학생만으로 국한하였으며, 건강 상태는 피험자 모두 특별한 질병을 앓고 있지 않은 것으로 상담결과 조사됐다. 피험자는 6개 고교에서 지원한 학생을 대상으로 선정하였는데, 고교별 특성이 대뇌피질 두께 변화에 미치는 영향은 고려하지 않았다. 그 영향을 정량화하기 어렵기 때문이다. 이들의 일반 지능 수준을 평가하기 위하여 아동·청소년들의 지적 능력을 가늠할 수 있는 하나의 척도인 지능검사(K-WAIS)를 하여 지능 범주별로 5개 그룹으로 나눴는데, A그룹(IQ 131~147), B그룹(IQ 130~139), C그룹(IQ 121~129), D그룹(IQ 101~117), E그룹(IQ 85~98)이다. 그룹별 지능과 피험자 수는 <표 1>과 같다.

<표 1> 지능 그룹별 피험자 수

그룹	지능	n
A그룹	IQ 140~147	4
B그룹	IQ 130~139	35
C그룹	IQ 121~129	20
D그룹	IQ 101~119	9
E그룹	IQ 85~99	7
		계 : 75명

K-WAIS는 1981년판 WAIS-R (Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised)의 경우 1939년 판 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 개정판을 사용하였다. K-WAIS의 적용 범위는 16세 이상부터 64세 이하의 성인을 대상으로 지능검사를 하는 데 사용한다. 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 않다. 본 연구를 위한 지능검사는 종합병원의 임상심리사가 피험자를 1대1로 검사했으며, 각 피험자마다 1시간에서 1시간 30분 정도 소요되었다.

2. 대뇌 피질 영상 획득

피험자들의 대뇌 피질 두께 변화를 알아보기 위하여 1, 2차 MRI 촬영을 6개월 시차를 두고 하였다. 1차와 2차 촬영 간 6개월의 간격은 Driemeyer et al.(2008)과 Draganski et al.(2004)의 경우 각각 다른 실험 설계를 적용해 피험자에게 저글링을 하게 한 뒤 3개월 간격으로, Engvig et al.(2010)의 경우 피험자에게 기억 훈련을 시킨 뒤 8주 간격으로 대뇌 피질을 촬영하였을 때 그 두께에 차이가 나타난 것을 참고해 잡았다. 즉, 본 실험에서 6개월 간격이면 그 변화성을 알 수 있을 것으로 예상했다. 실험을 위해 가천대학교 부설 뇌과학연구소로부터 MRI 사용 허락과 가천대의 임상실험심사위원회(IRB, Institutional Review Board) 승인을 받고, 피험자들의 학부모들로부터 자녀의 실험참가 동의서도 받았다.

뇌 영상은 3.0T(Tesla) MR scanner(Siemens, MAGNETOM Verio)를 통해 얻어졌으며, MPRAGE(Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo) 영상 촬영시 자기공명 변수는 TR 1900ms, TE 3.53ms, TI 900ms, FA (flip angle) 9°, 화적소(voxel) size 0.45*0.45*0.9, resolution (matrix size) 512*512, FOV (Field of View) 230*201.3(87.5%), BW 170, NEX 2, 절편 두께(slice thickness) 0.9mm로 해 피험자 한 사람 당 절편 영상 176장씩을 얻었다. 해부학 영상은 안정된 신호의 영상자료만을 자료로 취하기 위해 획득된 176장 가운데 처음 4장씩을 제외하였다. 이 영상 분석은 Freesurfer software(<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>)로 하였다. 모든 영상 자료는 촬영중에 생길 수 있는 머리의 움직임을 재조정(realignment)하였다. 이어 각 피험자의 뇌의 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준공간좌표(Talairach)로 평준화시키고(Normalize), EPI 데이터와 해부학적 이미지를 공통좌표로 합성(coregistration)하였다. 그 다음 이미지를 매끈하게(smoothing) 한 후 참가자의 전체적 영상을 획득하였다(유승식, 2001; 이정모, 강은주, 2000; Huettel, Song, McCarthy, 2004; Huettel, Song, McCarthy, 2008).

5개 지능 범주별로 비교한 대뇌 피질 영역은 6개월 간 많은 변화를 보인 11개 영역을 선정하였으며, 그 영역들은 우측측두피질, 좌측측두피질, 우측BA9, 좌측BA9, 우측BA10, 우측배외측전전두피질, 좌측배외측전전두피질, 우측대상피질, 좌측각피질, 우측후두정피질, 좌측후두정피질이다. Banich(2009)에 따르면 크게 4개의 엽(lobe)으로 구성된 대뇌 반구 피질의

인지 발달상 각 엽별 기능을 살펴보면 전두엽은 행동의 조직과 배열, 적절한 정서 반응 생성, 기억의 회상에 전략적 표식 사용에 관여하며, 우측BA9, 좌측BA9, 우측BA10, 우측배외측전전두피질, 좌측배외측전전두피질이 이 엽에 속한다. 두정엽은 다양한 감각 양식들로부터의 정보를 통합하고, 감각계 정보와 기억에 저장된 정보를 통합하며, 개인의 내적 상태에 대한 정보와 외부 감각세계로부터의 정보를 통합하는 부분으로, 좌측각피질, 우측후두정피질, 좌측후두정피질이 여기에 들어 있다. 측두엽은 기억과 시각항목(item)의 재인, 청각처리, 정서 기능과 연관되어 있으며, 우측측두피질, 좌측측두피질이 여기에 속한다. 이 상의 세 엽은 연합 영역(association area)으로 알려져 있지만, 시각을 담당하는 후두엽은 연합적인 기능에는 관여하지 않는다.

III. 연구 결과

본 연구에서는 뇌영상기술을 이용해 대뇌피질 두께 변화와 지능과의 상관성을 알아보고자 하였다. 피험자들을 일반 지능에 따라 A그룹(IQ 131~147), B그룹(IQ 130~139), C그룹(IQ 121~129), D그룹(IQ 101~117), E그룹(IQ 85~98)으로 나뉘었으며, 그룹별 1, 2차 MRI 촬영으로 얻은 대뇌 피질 영역별 두께의 평균과 표준편차를 구하였다. 그 결과 A, B, C그룹은 영역별로 차이는 있으나 1, 2차 대뇌 피질 두께 변화가 모두 감소한 것으로 나타났으나, D그룹은 5개 영역이, E그룹은 8개 영역이 증가한 것으로 나타났다. 그리고 가장 지능이 높은 A그룹과 나머지 네 그룹간의 대뇌 피질 두께 변화에 대한 t 값을 구하였다.

1. 11개 대뇌 피질 영역별 1차 두께(mm) 획득

11개 대뇌 피질 영역별 1차 MRI 촬영 결과를 분석해 각 두께를 알아냈다. 11개 영역의 그룹별 평균 두께는 최고 3.087(D그룹의 우측측두피질)~최저 2.306(B그룹의 우측대상피질) 사이에 있었으며, 전체 피험자 영역별 두께를 봤을 때는 우측측두피질이 평균 3.001로 가장 두꺼웠고, 우측대상피질이 평균 2.348로 가장 얇았다. 각 대뇌 피질 영역별 그룹 간 최고치와 최저치 간의 차이를 분석한 결과 좌측측두피질에서 C그룹이 E그룹보다 0.216이 더 두꺼웠다. 11개 대뇌 피질 영역별, 지능 그룹별 1차 획득한 대뇌 피질 두께의 평균과 표준편차, 전체 피험자의 영역별 평균 두께를 <표 2>에 표시하였다.

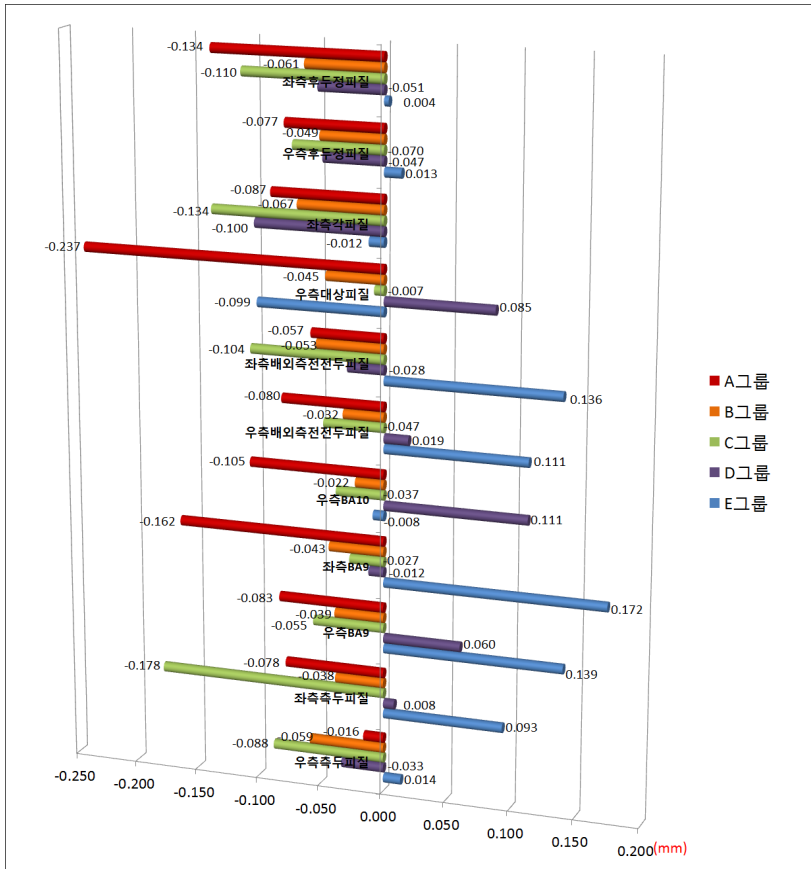
<표 2> 1차 획득한 각 그룹의 영역별 대뇌피질 두께

구분	A그룹		B그룹		C그룹		D그룹		E그룹		전체 두께평균
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M
우측측두피질	2.987	.112	3.002	.158	3.021	.214	3.087	.240	2.909	.219	3.001
좌측측두피질	2.909	.140	2.835	.185	2.967	.112	2.767	.156	2.751	.141	2.846
우측 BA9	2.763	.143	2.870	.147	2.854	.154	2.935	.383	2.849	.163	2.854
좌측 BA9	2.922	.197	2.866	.136	2.843	.163	2.982	.252	2.819	.104	2.886
우측 BA10	2.718	.196	2.709	.144	2.804	.184	2.708	.200	2.864	.157	2.761
우측 배외측전 전두피질	2.468	.081	2.552	.094	2.521	.127	2.583	.227	2.508	.159	2.526
좌측 배외측전 전두피질	2.570	.097	2.621	.131	2.593	.154	2.602	.240	2.496	.180	2.576
우측대상 피질	2.418	.126	2.306	.173	2.312	.169	2.331	.151	2.371	.237	2.348
좌측 각피질	2.781	.211	2.773	.193	2.773	.233	2.852	.209	2.781	.108	2.792
우측 후두정피질	2.747	.071	2.703	.112	2.713	.158	2.716	.155	2.637	.089	2.703
좌측 후두정피질	2.711	.093	2.708	.117	2.715	.151	2.749	.133	2.663	.081	2.709

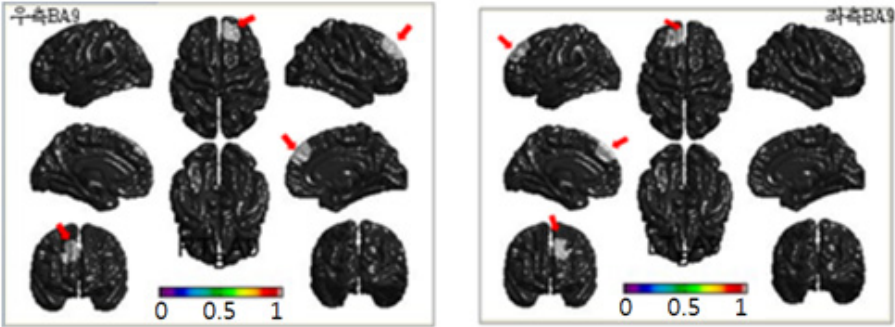
2. 11개 대뇌 피질 영역별 2차 두께(mm) 획득 및 1차 두께와 비교

1차 대뇌 피질에 대한 MRI 촬영을 한 뒤 6개월 간격(±8일)을 두고 2차 촬영을 하였으며, 1차 촬영 때 얻은 대뇌 피질 두께와 비교 분석하였다. 1, 2차 대뇌 피질 영역별 지능 그룹별 두께 변화 차이는 [그림 1]과 같다. 1, 2차 대뇌 피질 변화를 분석한 결과 1) 그룹별로 두께가 얇아진 영역과 두꺼워진 영역이 확연하게 구별되었으며, 2) 상대적으로 지능이 높은 그룹과 상대적으로 지능이 낮은 그룹 간에 1, 2차 두께 변화도 뚜렷하게 나타났다. 상대적으로 지능이 높은 상위 A, B, C 세 그룹의 경우 11개 모든 영역의 두께가 얇아졌으나 상대적으로 지능이 낮은 D, E 하위 두 그룹은 지능이 상대적으로 낮을수록 두꺼워지는 영역 수가 많아졌다. Shaw et al.(2006)에 따르면 청소년들의 대뇌 피질은 일정 나이에 최고로 두꺼워진 뒤 점차 얇아지는 과정으로 바뀐다. 본 연구에서 1, 2차 간 두께 변화를 비교한 결과 A, B, C 그룹은 이미 최고 두께치에 도달한 뒤 얇아지고 있으나, 나머지 두 개 그룹은 최고치를 향해 발달하고 있는 것으로 볼 수 있다. 대뇌 피질 두께 측면에서 뇌의 발달이 상대적으로 지능이 낮은 그룹이 높은 그룹에 비해 뒤쳐진 것이다. 대뇌 피질 두께가 두꺼워지는 영역이 나타난 그룹과 피질 영역을 구체적으로 살펴보면 D 그룹은 좌측측두피질, 우측BA9, 우측BA10, 우측배외측전전두피질, 우측대상피질 등 5개 영역이 두꺼워졌고, E 그룹은 우측측두피질, 좌측측두피질, 우측BA9, 좌측BA9, 우측

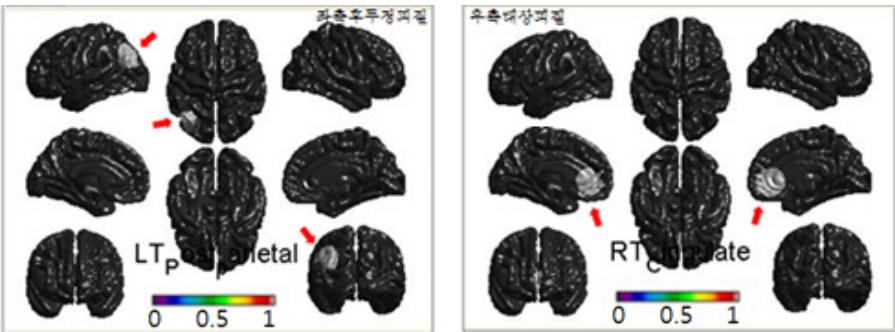
배외측전두피질, 좌측배외측전두피질, 우측후두정피질, 좌측우두정피질 등 8개 영역이 두꺼워졌다. 두꺼워지는 변화율도 D그룹보다 지능이 더 낮은 E그룹에서 더 높았다. 두께 감소 현황에서 상대적으로 지능이 높은 A그룹은 감소폭이 가장 컸는데 1차 측정 때의 두께보다 10% 이상 감소한 영역만 4개 영역이었으며, 우측대상피질의 경우 23.68%로 그 감소폭이 모든 영역별, 지능 그룹별로도 가장 컸다. B그룹은 10% 이상 감소한 영역이 한 곳도 없었으며, C그룹은 4곳, D그룹은 10% 이상 감소한 곳 한 곳, 10% 이상 증가한 곳이 한 곳, E그룹은 10% 이상 감소한 곳은 없으며, 10% 이상 증가한 곳이 세 곳이었다. 지능이 상대적으로 낮은 D, E 그룹은 감소한 영역의 경우 대부분 감소율이 낮았다. 그룹별 11개 영역의 감소폭과 감소율 평균치에서도 지능에 따른 차이가 나타났는데, A그룹의 경우 평균 -0.1mm, 감소율은 -10.1%, B그룹은 감소폭이 -0.046mm, 감소율은 -4.6%, C그룹은 감소폭 0.078mm, 감소율 -7.7%, D그룹은 0.001mm, 감소율은 0.1%, E그룹은 감소폭 0.051mm, 증가율은 5.1%로 나타났다. 이는 B그룹만 빼면 지능별 감소폭과 감소율이 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.



[그림 1] 지능 그룹별 대뇌 피질 영역별 두께의 1, 2차 간 변화



[그림 2] 우측BA9(왼쪽) 영역(화살표)으로 A그룹은 -8.2% 얇아졌으나 E그룹은 13.8%나 두꺼워졌다. 좌측BA9(오른쪽) 영역(화살표)으로 A그룹은 -16.2% 얇아졌으나 E그룹은 17.1% 두꺼워졌다. 색깔 막대는 유의성을 나타내는 것으로 1에 가까울수록 유의도가 높다.



[그림 3] 좌측후두정피질(왼쪽) 영역(화살표)으로 A그룹은 -13.36% 얇아졌으나 E그룹은 0.35% 두꺼워졌다. 우측대상피질(오른쪽) 영역(화살표)의 경우 A그룹은 -23.6% 얇아졌으며, E그룹은 -9.8% 얇아지는 데 그쳤다. 색깔 막대는 유의성을 나타내는 것으로 1에 가까울수록 유의도가 높다.

그룹별 영역별 감소폭과 감소율은 <표 3>과 같다. 주요 대뇌 피질 영역별 위치는 [그림 2]~[그림 3]에 표시하였다.

<표 3>에서 볼 수 있는 그룹 간 영역별 변화 차이 평균을 구한 뒤 A그룹과 나머지 그룹 간에 변화성의 차이를 알아보기 위하여 *t* 값을 구하였으며, 그 결과는 <표 4>와 같다. A그룹을 기준으로 삼아 다른 그룹을 비교한 것은 A그룹의 지능이 가장 높기 때문이다. 그 결과 지능은 A그룹과 나머지 그룹 간 유의수준 $p < 0.001$ 로 아주 높았다. 1, 2차 측정된 대뇌 피질 두께의 차이를 놓고 봤을 때는 A와 B그룹 간에는 좌측후두정피질에서만 $p < .05$ 수준에 유의하였으며, A와 C그룹 간에는 유의한 곳이 한 영역도 없었으며, A와 D그룹 간에는 우측 BA10영역에서 $p < .05$ 수준에서 유의하였으며, A와 E 그룹 간에는 $p < .05$ 수준의 유의 영역이

2곳, $p < .01$ 수준에서 유의한 영역이 4곳이었다. 이는 아주 높은 지능과 그보다 지능이 낮은 그룹 간에 대뇌 피질 두께 변화의 차이가 아주 많이 난다는 것을 의미한다. 그래서 일정 수준 이상의 지능과 일정 수준 이하의 지능 간에는 대뇌 피질 두께의 변화에도 큰 차이가 있다고 추정해 볼 수 있다.

<표 3> 지능 범주별 1,2차 대뇌 피질 영역별 두께 변화

	A_group		B_group		C_group		D_group		E_group	
	변화 폭 (mm)	변화율 (%)	변화 폭 (mm)	변화율 (%)	변화 폭 (mm)	변화율 (%)	변화 폭 (mm)	변화율 (%)	변화 폭 (mm)	변화율 (%)
우측측두피질	-0.016	-1.575	-0.059	-5.876	-0.088	-8.792	-0.033	-3.345	0.014	1.373
좌측측두피질	-0.078	-7.776	-0.038	-3.816	-0.178	-17.778	0.008	0.837	0.093	9.297
우측 BA9	-0.083	-8.256	-0.039	-3.852	-0.055	-5.547	0.060	5.973	0.139	13.878
좌측 BA9	-0.162	-16.204	-0.043	-4.299	-0.027	-2.670	-0.012	-1.165	0.172	17.151
우측 BA10	-0.105	-10.530	-0.022	-2.228	-0.037	-3.722	0.111	11.069	-0.008	-0.839
우측 배외측 전전두 피질	-0.080	-7.989	-0.032	-3.175	-0.047	-4.696	0.019	1.901	0.111	11.082
좌측 배외측 전전두 피질	-0.057	-5.667	-0.053	-5.270	-0.104	-10.421	-0.028	-2.836	0.136	13.594
우측대상피질	-0.237	-23.685	-0.045	-4.498	-0.007	-0.742	0.085	8.468	-0.099	-9.873
좌측 각회	-0.087	-8.740	-0.067	-6.690	-0.134	-13.393	-0.100	-10.027	-0.012	-1.158
우측 후두정 피질	-0.077	-7.653	-0.049	-4.926	-0.070	-7.031	-0.047	-4.691	0.013	1.317
좌측 후두정 피질	-0.134	-13.360	-0.061	-6.067	-0.110	-10.979	-0.051	-5.055	0.004	0.355
평균	-0.101	-10.130	-0.046	-4.609	-0.078	-7.797	0.001	0.103	0.051	5.107

<표 4> A그룹의 대뇌 피질 두께의 1, 2차 변화 평균치(mm)와 다른 네 그룹 간의 *f* 값

영역 \ 그룹	A : B	A : C	A : D	A : E
지능(IQ)	.002**	.000***	.000***	.000***
우측측두피질	.545	.350	.844	.751
좌측측두피질	.488	.095	.163	.014**
우측 BA9	.149	.513	.137	.005**
좌측 BA9	.189	.149	.130	.008**
우측 BA10	.210	.315	.024*	.196
우측 배외측전전두피질	.476	.617	.210	.036*
좌측 배외측전전두피질	.921	.390	.621	.018*
우측대상피질	.194	.137	.059	.358
좌측 각피질	.772	.548	.892	.449
우측 후두정피질	.630	.915	.691	.167
좌측 후두정피질	.015*	.515	.157	.008**

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

IV. 결 론

본 연구는 거의 비슷한 연령(평균 16세 4개월)이면서 고교 2학년 남학생인 피험자들 ($n=75$)의 대뇌 피질 11개 영역별 두께의 6개월 간 변화를 추적하였으며, 그 결과를 이용하여 일반 지능(g) 차이별 대뇌 피질 두께의 변화성을 밝혔다. 피험자를 대상으로 국제적으로 공인된 검사를 통해 일반 지능을 평가하였고, 5개 지능 범주로 나뉘었다. MRI 촬영을 통해서 는 대뇌 피질 두께를 1, 2차에 걸쳐 측정하였다. 그 결과 일반 지능이 120 이상인 세 그룹은 모든 대뇌 피질 영역별 두께가 모두 감소하는 쪽으로 나타났으나, 그 이하의 두 그룹은 일반 지능이 낮을수록 대뇌 피질의 두께가 더 두꺼워지고, 그 영역 수도 많았다. 이는 지능이 낮을수록 대뇌 피질의 성숙이 지연되고 있다는 사실을 알 수 있다. 지능이 높은 그룹에서는 뇌의 성숙 단계라고 할 수 있는 대뇌 피질 두께의 감소가 한창 일어나고 있는 반면, 지능이 낮은 그룹에서는 여러 영역들이 아직 발달하고 있는 것을 확인할 수 있기 때문이다. 두께 감소 현황에서 지능이 높은 A그룹은 감소폭이 가장 컸는데 1차 측정 때의 두께보다 10% 이상 감소한 영역만 4개 영역이었으며, 우측대상피질의 경우 23.68%로 그 감소폭이 모든 영역별,

지능 그룹별로도 가장 컸다. B그룹은 10% 이상 감소한 영역이 한 곳도 없었으며, C그룹은 4곳, D그룹은 10% 이상 감소한 곳 한 곳, 10% 이상 증가한 곳이 한 곳, E그룹은 10% 이상 감소한 곳은 없으며, 10% 이상 증가한 곳이 세 곳이었다. 지능이 상대적으로 낮은 D, E 그룹은 감소한 영역의 경우 대부분 감소율이 낮았다. 그룹별 11개 영역의 감소폭과 감소율 평균치에서도 지능에 따른 차이가 나타났는데, A그룹의 경우 평균 -0.1mm, 감소율은 -10.1%, B그룹은 감소폭이 -0.046mm, 감소율은 -4.6%, C그룹은 감소폭 0.078mm, 감소율 -7.7%, D그룹은 0.001mm, 감소율은 0.1%, E그룹은 감소폭 0.051mm, 증가율은 5.1%로 나타났다. 이는 B그룹만 빼면 지능별 감소폭과 감소율이 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Shaw et al.(2008)은 대뇌 피질 두께가 가장 두껍게 되는 나이는 영역별로 다르고, 그 나이를 지나면 대부분 얇아진다는 사실을 밝혔는데 본 연구 결과에서는 상당히 다른 결과가 나왔다. 그와 동료들이 밝힌 바에 따르면 전두의 경우 9.4~13.8세, 측두는 뇌섬엽(Insula)이 18.0~18.1세인 것을 제외하고 대부분 11.1~14.9세, 두정은 8.4~11.2세, 후두는 6.8~9.5세에 최고 두껍게 되며, 그 이후는 거의 대부분 얇아지기 시작한다. 이런 선행 연구를 참고하여 보면 이번 연구 결과에서 나타난 것과 같이 16세인 피험자들 중 지능이 상대적으로 낮은 그룹의 대뇌 피질 영역에서 5~8곳이 아직 두꺼워지고 있으며, 그 영역들 대부분이 전두엽 영역이라는 것은 한국 청소년의 뇌 발달 단계에서 새로운 연구 과제를 던진 것으로 볼 수 있다. Shaw et al.(2008)에 따르면 이미 이 나이의 청소년의 경우 이번 분석 대상으로 삼은 11개 영역은 모두 감소하는 쪽으로 결과가 나와야 했으나 그렇지 않았다. 이런 결과는 상대적으로 지능이 낮은 청소년들의 경우 상대적으로 지능이 높은 그룹에 비해 지능을 잘 사용하지 않아 성숙이 지연되는 것으로 추정해 볼 수 있지만 그 정확한 원인이 민족적 특성인지, 유전적 혹은 또 다른 원인이 있는지를 알아내기 위해서는 후속 연구가 필요할 것으로 보인다. 일반 지능이 120 이상인 세 그룹은 감소하는 쪽으로 나타나 선행 연구를 지지한다.

참 고 문 헌

- 유승식 (2001). **실전응용을 중심으로 한 기능 자기공명영상 실험**. 서울: 의학문화사.
- 이정모, 강은주 (2000). 두뇌 기능 지도화와 정보 처리 과정 이해. **전자공학학회지**, 27(7), 49-61.
- Andreasen, N. C., Flaum, M., Swayze, V., O'Leary, D. S., Alliger, R., Cohen, G., Ehrhardt, J., Yuh, W. T., (1993). Intelligence and brain structure in normal individuals. *American Journal of Psychiatry*, 150(1), 130-134.
- Banich, M. T. (2009). 인지 신경과학과 신경심리학 [김명선, 강은주, 강연욱, 김현택, 역]. 서울: 시그마프레스. (원본출간년도: 2004)
- Bear, M. F., Paradiso, M. A., Connors, B. W. (2007). *Neuroscience-Exploring the Brain* (3rd Ed.). NY: Lippincott Williams & Wilkins.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and

- fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47.
- Choi, Y. Y., Shamosh, N. A., Cho, S. H., DeYoung, C. G., Lee, M. J., 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.
- 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(6625), 604-608.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312.
- Driemeyer, J., Boyke, J., Gaser, C., Büchel, C., & May, A. (2008). Changes in Gray Matter Induced by Learning—Revisited. *PLoS ONE*, 3(7), e2669.
- Engvig, A., Fjell, A. M., Westlye, L. T., Moberget, T., Sundseth, O., Larsen, V. A., & Walhovd, K. B., (2010). Effects of memory training on cortical thickness in the elderly. *NeuroImage*, 52(4), 1667-1676.
- Gray, J. R., & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: Science and ethics. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 471-482.
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J., Paek, J., Browning, H., & Buchsbaum, M. S. (1998). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12(2), 199-217.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkier, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, 23(1), 425-433.
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2004). *Functional magnetic resonance imaging*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2008). *Functional magnetic resonance imaging*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- 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. *Cerebral Cortex*, 12(5), 477-485.
- Mcdaniel, M. A. (2005). Big-Brained people are smarter: A Meta-Analysis of the Relationship between In Vivo Brain Volume and Intelligence. *Intelligence*, 33(4), 337-346.
- Mcdaniel, M. A., & Nguyen, N. T. (2002). *A meta-analysis of the relationship between MRI-assessed brain volume and intelligence*. Paper presented at the Third Annual Conference of the International Society of Intelligence Research. Nashville.
- Peters, M. (1995). Does brain size matter? A reply to Rushton and Ankney. *Canadian Journal*

- of Experimental Psychology*, 49(4), 570-576.
- 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 Psychology*, 33(1), 43-63.
- Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., Evans, A., Papoort, J., & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, 440(7084), 676-679.
- Shaw, P., Kabani, N. J., Lerch, J. P., Eckstrand, K., Lenroot, R., Gogtay, N., Greenstein, D., Clasen, L., Rapoport, J. L., Giedd, J. N., & Wise, S. P. (2008). Neurodevelopmental trajectories of the human cerebral cortex. *The Journal of Neuroscience*, 28(14), 3586-3594.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of working memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 12061-12068.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E., & Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *The Journal of Neuroscience*, 24(38), 8223-8231.

= Abstract =

Analysis on the Variability of Cerebral Cortex per Intellectual Category in Adolescents

Ye Rim Kim

Seojeong University

The brains of adolescents experience rapid changes, which has been studied to prove relatedness between neuroanatomical properties and IQ. But, most previous studies infer the relatedness from purely cross-sectional data. This study not only measured the thickness of the cerebral cortex once, but traced its variability and the relatedness between IQ and this variability, which was presumed to be 75. Healthy adolescents (M=16yr. and 4month) were divided into 5-stage categories based on their intellectual ability and MRI scan was made twice every 6 months to measure the variability of their cerebral cortex. As a result, a big difference in the variability of the cerebral cortex was shown based on their IQ. Three groups with an IQ of more than 120 showed a decrease in the thickness of the cerebral cortex in 11 brain regions, while two groups with an IQ lower than 120 showed an increase in the cerebral cortex thickness in 5 to 8 regions. It is presumed that the lower the IQ, the slower the maturation of the cerebral cortex.

Key Words: Adolescent, Cortex thickness, Cerebral, Brain region, MRI

1차 원고접수: 2013년 5월 27일
수정원고접수: 2013년 6월 26일
최종게재결정: 2013년 6월 27일