

일반 아동과 한글 읽기 장애 아동의 단어 읽기 과제시 뇌활성화 영역 비교: fMRI를 활용한 사례 연구*

안 성 우**

부산대학교 특수교육과 교수

김 학 진***

부산대학교 의학과 교수

신 미 성

부산대학교 특수교육연구소 전임연구원

서 유 경

부산대학교 특수교육과 박사과정

박 진 영

부산대학교병원 영상의학1팀

박 원 경

대구대학교 특수교육과 박사과정

《요 약》

본 연구의 목적은 읽기장애를 가진 6학년 남아와 연령, 성별, 지능 면에서 짝지워진 일반 아동이 단어 및 비단어의 묵독과제 수행 중에 보이는 뇌활성화 양상을 기능적 자기 공명 영상을 이용하여 비교하는데 있다. 단어 과제의 목록은 친숙도가 높은 2음절 단어를 선정하여 연구의 목적에 맞게 작성하였으며, 비단어 과제의 목록은 단어과제 목록에 사용한 단어의 첫째 음절과 둘째 음절의 초성을 변형시켜 만들었다. 단어 읽기 과제 시 일반 아동의 경우에는 주로 좌반구 중측두엽이 가장 활성화된 반면, 읽기장애 아동은 시각 경로라고 알려진 좌우 반구의 하후두회와 방추상회가 주로 많이 활성화되는 양상을 보였다. 비단어 읽기 과제 시 일반 아동의 경우에는 좌반구의 하측두회와 중전두회와 우반구의 상전두회와 중심전회가 많이 활성화된 반면에, 읽기 장애 아동의 경우에는 단어 읽기에서와 비슷하게 좌우반구의 배측 시각 경로인 lingual 영역이 많이 활성화되었다. 이러한 결과는 읽기장애 아동이 단어 읽기를 할 때 언어적 지식에 기초하여 분석적 단어 재인 전략을 사용하지 않고 시각적 처리를 통해 기억에 의존해서 통문자로 단어 읽기를 하고 있음을 시사하는 것으로 보인다. 일반아동의 경우 비단어를 읽을 때는 음운처리에 기초하는 것으로 보인다.

주제어 : 읽기 장애, 뇌 활성화, fMRI

* 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구 (KRF-2006-321-B00129)의 일환임.

* 이 논문은 한국언어치료학회 학술대회(2007, 11, 10)에서 발표된 논문을 수정보완하여 게재한 것임

** 제1저자

*** 교신저자(hakjink@pusan.ac.kr)

1. 서론

1. 연구의 필요성

최근 뇌과학과 신경과학, 인지신경과학의 발전에 힘입어 읽기 장애의 원인을 뇌구조와 기능의 결손에서 찾으려는 시도가 다수 이루어지고 있다(Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003; Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004). 이들 연구들에 의하면, 다양한 언어와 문화 집단에서 읽기 장애 아동들의 뇌 신경계에 내재적인 결손이 있음이 보고되고 있다(Katzir & Paré-Blagoev, 2006). 즉 읽기 장애 아동들의 뇌 구조와 기능의 특성(marker)이 진단적 목적으로 사용될 수 있을 만큼 확연히 드러난 것은 아니지만(Katzir & Paré-Blagoev, 2006), 읽기 장애 아동들의 읽기 과제를 담당하는 뇌의 구조와 기능이 일반 아동들과 다른 패턴과 특성을 보인다는 데에는 의견의 일치를 보이고 있다(Berninger & Richards, 2002; Horwitz, Rumsey, & Donohue, 1998; McCrory, Mechelli, Frith, & Price, 2005; Price & Mechelli, 2005; Rumsey, Horwitz, Donohue, Nace, Maisog, & Andreason, 1999). 이러한 신경과학의 발견은 결과적으로 읽기 장애의 정의와 조기 판별 방법에도 영향을 미치고 있다(Katzir & Paré-Blagoev, 2006). 최근에 Lyon, Shaywitz와 Shaywitz(2003)가 읽기 장애를 신경생리학적 원인을 가진 특정 학습 장애로 정의하였고(Katzir & Paré-Blagoev, 2006), Hoeft, Reiss, Meyler, Whitfield-Gabrieli, Glover, Keller, Kobayashi, Mazaika, Jo와 Just(2007)는 읽기 장애를 조기 판별할 때 신경생리학적 뇌 영상 자료를 활용하는 것이 유용하다고 제안하였다. 최근 이러한 연구 흐름에 따라 우리나라에서도 읽기 장애를 재정의하기 전에 읽기장애 학생의 읽기 행동에 영향을 미치는 다양한 뇌의 구조와 기능에 대하여 객관적인 근거를 제공하기 위해 읽기에 관여하는 뇌 부위와 그들의 작용 기제를 밝히는 연구가 필요하다.

그러나 선진국과 비교해 아직 국내에서는 이러한 연구가 활발히 이루어지지 않고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 다양한 언어와 문화 집단에서 읽기 장애 아동들의 뇌 신경계에 내재적인 결손을 보고하고 있다 하더라도(Katzir & Paré-Blagoev, 2006; Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003; Vellutino et al., 2004), 읽기 장애와 같은 문자의 심층성에 영향을 받는 장애와 관련된 문제는 이들의 연구 결과를 우리나라에 그대로 적용하기에는 제약이 있다. 따라서 외국의 연구 결과를 수용은 하되 우리나라 문자의 특성을 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다. 특히 정상 성인을 대상으로 영어와 한자, 한글과 한자와 같이 문자의 특성이 대뇌 활성화 영역에 영향을 미치는가에 대한 연구가 일관된 결과를 제시하지 못하고 있다는 점을 고려한다면 외국의 연구 결과를 우리나라에 수용하기는 더욱 한계가 있다. 즉 우리나라의 일반 아동들이 읽기를 어떻게 처리하는지에

대한 깊이 있는 이해와 지식을 축적하기 위해서, 그리고 읽기장애 아동들의 뇌 구조와 기능이 일반 아동들과 비교했을 때 어떻게 다른지에 대해 이해하고 임상에 응용하기 위해서 우리나라에서도 읽기 과제와 관련된 뇌의 영역과 기전에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 이러한 연구들이 이루어진다면 읽기 행동과 같은 인간의 고기능적 인지 행동과 관련된 뇌의 역할을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 읽기장애 아동들의 조기 판별과 치료에도 도움을 줄 수 있을 것이다.

우리나라에서도 소수이기는 하지만 최근에 기능적 자기공명영상(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)을 이용하여 한글 읽기 과제와 관련된 뇌기전을 밝히려는 연구가 성인들을 대상으로 이루어졌지만(유승돈, 2005; 이경민, 1998; 이동훈 등, 2001; Yoon & Cho, 2005), 일관된 연구 결과를 제시하지는 못하고 있다. 이경민(1998)은 한글 자극을 제시하고 뒤이어 한자 자극을 제시하는 방법으로 한글과 한자 읽기에 연관된 뇌활성화 영역을 조사한 결과 한글을 읽을 때는 음운처리에 관여한다고 여겨지는 양측 하두정엽(inferior parietal region)에 위치한 변연상이랑(SMG: supra marginal gyrus) 영역에서 뇌 활성화가 강하였으며, 한자를 읽을 때는 좌반구 하전두회(inferior frontal gyrus)와 방추상회(Fusiform gyrus)영역이 강하게 활성화가 일어났다고 보고하였다(이동훈 등, 2001에서 재인용). 이에 반해 이동훈, 이홍재, 이은정, 문찬홍, 유재욱, 나동규와 남기춘(2001)은 이경민의 실험 방법과 동일하게 하여 한글과 한자를 읽을 때 뇌활성화 영역을 조사하였고(실험 1), 실험 1의 자극 제시 방법과 다르게 한글 자극 제시 후에 휴지기를 제시하고, 한자 자극을 제시한 후에 휴지기를 제시하는 방법과 분석시에 감산법을 사용하여 한글과 한자를 읽을 때 활성화되는 뇌 영역을 조사하였다(실험 2). 이동훈 등(2001)의 연구의 실험 2에서는 한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때 대뇌에서 활성화되는 영역이 뚜렷한 차이가 없고 활성화 정도에서 차이가 난다고 보고하였다. 즉 문자 규칙 심층성에 따른 문자의 차이에도 불구하고 활성화되는 영역은 유사하다고 보고하였다. 이동훈 등(2001)은 한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때 이렇게 뇌활성화 영역에 있어서 차이가 없는 것은 표의 문자인 한자도 뇌에서 처리할 때는 형태에 기초하여 처리하지 않고 소리에 기초하여 처리하기 때문일 것이며, 활성화 정도의 차이를 가져온 것은 한자가 한글에 비해 더 복잡한 철자 구조를 갖고 있기 때문일 것이라고 주장하였다. 한글과 한자를 읽을 때의 뇌활성화 정도를 이경민의 연구 방법과 유사하게 한글 조건에서 한자 조건을 빼서 조사한 Yoon과 Cho(2005)의 연구에서는 상전두회(superior frontal gyrus), 좌반구 상측두회(left superior temporal gyrus), 우반구 중측두회(right middle temporal gyrus)와 우반구 뇌섬엽(right insula)에서 활성화가 나타났다. 직접적 비교를 하지는 않았지만 실어증 환자를 대상으로 치료 후 단어 읽기 과제시 뇌활성화 영역을 조사한 유승돈(2005)의 연구에서는 영어권 대상과 달리 단어 읽기 과제시 실비우스 열 주변 영역의 활성화가 적게 일어난다고 보고하였다.

그러나 이들 연구들은 일반 성인들을 대상으로 한글 단어 읽기 과제시 활성화되는

뇌 영역을 조사한 연구로 일반 아동과 읽기 장애 아동들을 대상으로 단어 읽기 과제시 활성화되는 뇌 영역을 조사한 연구는 아직까지 우리나라에서 이루어지지 않았다. 앞서 살펴본 것처럼 일반 성인의 경우, 한자나 영어, 한글을 읽을 때 활성화되는 뇌의 부위가 다르다면 일반 아동의 경우도 문자의 특성에 따라 단어 읽기 과제시 관여하는 뇌활성화 영역이 다를 것이라는 가설을 제시할 수 있을 것이다. 또 영어권에서 단어 읽기 과제시 활성화되는 뇌영역은 일반 아동들은 음운 처리, 특히 음운 인식과 밀접하게 관련 있는 좌뇌 상측두회(superior temporal gyrus)가 많이 활성화되는 반면, 읽기장애 아동들은 좌뇌 상측두회가 덜 활성화되고 우뇌의 하두정엽(inferior parietal region)이 더 활성화되는 것으로 보고하고 있는 것을 고려한다면(McCandliss & Noble, 2003; Price & Moore, 1997; Rumsey, Horwitz, Donohue, 1997), 우리나라의 아동들도 한글 단어 읽기 과제시 읽기 장애의 유무에 따라 뇌활성화 영역이 달라짐을 가정할 수 있을 것이며, 이러한 이유로서 차이 확인을 위한 연구가 이루어질 필요가 있다. 다시 말하면 영어 읽기 과제를 수행할 때 일반 아동과 읽기 장애아동들이 보이는 뇌활성화 영역이 다르다면 한글 단어 읽기 과제시 일반 아동과 읽기 장애아동의 뇌활성화 영역이 다른지를 검증해보는 연구도 필요할 것이다. 그리고 영어권의 경우에 단어 읽기 과제시 읽기 유창성 정도의 영향을 받아 성인과 아동의 뇌활성화 영역에 차이가 있다는 선행 연구를 고려한다면(Simos, Breier, Fletcher, Foorman, Mouzaki, & Papanicolaou, 2001), 한국어권 아동의 경우에도 한글 단어 읽기 과제시의 뇌 활성화 영역이 성인과 다를 것이라는 가설 또한 제시할 수 있어 아동을 대상으로 한 뇌활성화 연구가 필요하다. 또 단어 유형이 뇌활성화에 영향을 미치는 지를 알아보기 위해 조사한 연구들은 의미 단어를 읽을 때와 비단어를 읽을 때 뇌활성화되는 영역이 다르다고 보고한 연구들과 뇌활성화되는 영역들이 유사하다는 연구들로 나누어진다(Mechelli, Gorno-Tempini, & Price, 2003). 따라서 한글의 경우에도 의미 단어와 비단어와 같은 단어 유형이 뇌활성화 영역에 영향을 미치는 지를 조사하는 연구가 필요하다. 본 연구에서 단어와 무의미 단어를 실험 자극으로 선정한 것은 단어를 읽는 것이 시각적으로 기억하고 있는 것을 자동적으로 읽는 것임에 반하여, 무의미 단어를 올바르게 읽기 위해서는 해독(decoding) 기술이 반드시 필요하기 때문으로(Hoefl, Ueno, Reiss, Meyler, Whitfield-Gabrieli, Glover, Keller, Kobayashi, Mazaika, Jo, Just, & Gabrieli, 2007) 이를 통해 읽기 중에서도 문자를 보고 단어의 소리를 결정하는 능력인 해독 능력만을 볼 수 있는 것이다. 또한 단어와 무의미 단어 읽기에 대한 연구들을 일관되지 않은 결과들을 보이고 있기 때문에(Mechelli, Gorno-Tempini, & Price, 2003), 단어와 무의미 단어를 모두 읽기 과제에 포함시키는 것이 필요하다.

이에 본 연구는 fMRI를 활용하여 한글 읽기 장애 아동의 읽기 과제와 관련된 뇌의 영역과 그 활성화 양상을 일반 아동의 뇌 활성화 양상과 비교하여 읽기 장애 아동의 손상된 뇌의 기전을 알아보는데 목적이 있다. fMRI는 기질적인 문제를 보이지 않는 기능 장애를 더 정확하게 진단하고 이해할 수 있도록 해주는 방법으로(Voets & Matthews,

2005), 비침습적이며, 특히 아동의 경우, 방사성 물질을 사용하는 양전자 단층촬영(positron emission tomography: PET)에 비해 보다 안전하게 뇌의 기능적인 변화를 알아볼 수 있다.

2. 연구 문제

일반 아동과 읽기 장애 아동은 단어 및 비단어 읽기 과제시 뇌활성화 영역에 차이가 있는가?

II. 연구 방법

1. 피험자

본 연구의 피험자는 읽기 장애로 진단 받은 아동 1명과 읽기에 어려움이 없는 일반 아동 1명이다. 두 피험자 모두 6학년에 재학 중이며, 지능 및 인구학적 변인들에서 가능한 한 비슷하게 짝지어졌다. 피험자들은 부모의 동의 하에 자발적으로 본 연구에 참여하였으며, 운동 능력, 특히 조음기관의 운동에 전혀 문제가 없고, 시력 및 청력에 이상이 없으며, 신경학적 뇌손상을 입은 적이 없고, 모국어로 한국어를 사용하고, 일상생활 중에 오른 손을 사용하는 아동들이다. 읽기 장애 아동은 일반학교 특수학급 교사를 통해 의뢰되었으며, 어떤 약물 치료도 받지 않는 것으로 보고되었다. 읽기 장애 아동의 읽기 수준은 기초학습기능검사(박경숙, 윤점룡, 박혜정, 1989)의 읽기 I(단어 재인)이 2.3학년 수준, 읽기 II(읽기 이해)가 1.3학년 수준으로 단어 재인과 읽기 이해 모두에서 지체를 보였다. 일반 아동은 연구자가 대학 게시판에 게시한 모집 광고를 보고 연구에 참여하게 되었으며, 부모와의 면담 및 K-CBCL(Korean Child Behavior Checklist, 오경자, 이해련, 홍강의, 하은혜, 1997)을 실시한 결과 특별한 행동 장애가 없는 것으로 확인되었으며, 기초학습기능검사의 읽기 I과 읽기 II에서 학년 수준의 성취를 보였다. 지능 검사는 K-WISC-III(곽금주, 박혜원, 김청택, 2001)를 사용하여 측정하였다.

읽기 장애 아동과 일반 아동의 변인별 특성은 다음 표 II-1과 같다.

<표 II-1> 피험자의 특성

		읽기 장애 아동		일반 아동	
성별		남		남	
생활연령		12; 4		11; 9	
학년		6		6	
우세손		오른손		오른손	
지능 지수		109		108	
읽기 능력	읽기(I)	원점수	30(2.3)	원점수	48(6.5)
	읽기(II)	(학년수준)	16(1.3)	(학년점수)	35(6.0)

2. 실험 과제 및 자극

본 연구에서 실험은 크게 두 부분, 즉 의미 단어 및 비단어를 소리 내지 않고 읽는 과제(묵독 과제)로 구성되었다. 그리고 본 연구에서 사용한 과제는 시각적으로 제시되는 단어와 비단어를 보고 마음 속으로 읽는 과제로, 이는 읽기 중에서도 문자를 보고 단어의 소리를 결정하는 능력인 해독 능력을 볼 수 있는 것이다. 읽기를 배운다는 것은 이미 알고 있는 청각적 언어인 소리와 문자의 관계를 배우는 것을 포함하기 때문에 해독은 읽기를 위한 기본적인 능력이라고 할 수 있다(Hoeft et al., 2007). 과제에 사용된 목록은 의미 단어 100개와 비단어 100개의 총 200개로 구성되었다. 의미 단어 목록은 김광해(2003)의 단어 목록에서 친숙도가 높은 단어를 선정하여 연구의 목적에 맞게 작성하였으며, 비단어 목록은 의미 단어의 첫째 음절과 둘째 음절의 초성을 변형시켜 만들었다(예: 파죽, 하무, 독제 등). 단어의 길이는 대부분의 연구가 이음절을 이용한다는 점(이동훈 등, 2001), 삼음절 이상이 되면 복합어처럼 처리가 될 수도 있다는 점, 그리고 본 연구가 단어 및 비단어 처리의 초기과정에 중점을 두고 있다는 점 등을 고려하여 이음절로 통일하였다.

3. 실험절차

실험을 실시하기 전에 의미 단어 및 비단어 각각 한 블록씩으로 구성된 연습시행을 하여 피험자가 과제에 익숙해지게 하였다. 그리고 나서 피험자가 착용하고 있는 허리띠 등 금속이 있는 것들을 제거하고 검사용 옷으로 갈아입게 한 후 fMRI 검사실에 들어가서 검사대에 눕게 하였다. 먼저 거울을 통해 스크린에 투영되는 시각적 단어를 피험자가 볼 수 있는지를 확인하였다. 과제를 제시하는 본 검사를 먼저 실시하고 해부학적 뇌 구조를 나중에 촬영하였다. 이미지 획득이 끝난 후 피험자들이 검사실에서 나오면 읽기

과제를 얼마나 정확하게 읽을 수 있는지를 알아보기 위하여 검사에 제시된 것과 동일한 목록을 보여주어 소리 내어 읽게 하였다.

4. 실험 설계

실험은 의미 단어, 비단어, 휴지기의 블록 디자인(block design)을 사용하였으며, 의미 단어 10블록과 비단어 10블록, 그리고 휴지기 20블록을 반복하였다. 블록의 순서는 단어 혹은 비단어 조건이 2번까지 반복된다는 제약 하에 무선으로 제시되었다. 자극기 동안 각각의 시행에서는 단어가 1.5초 동안 제시된 후, 응시점이 1.5초씩 제시되어 총 3초간 지속되었다. 블록 당 총 10개의 단어가 제시되어 자극기에서는 각 블록이 30초 동안 지속되었다. 블록 간에는 16초간 응시점만 제시되는 휴지기가 있었다. 실험은 총 920초가 소요되었다.

5. 기능적 자기 공명 영상 획득

기능적 자기 공명 영상을 얻기 위해 Siemens Magnetom Sonata 1.5T scanner (Siemens, Erlangen, Germany)를 이용하였다. 피험자가 head coil에 부착된 거울을 통해 제시되는 시각적 단어 자극을 보며 제시된 검사어를 소리 내지 않고 과제를 수행하는 동안 EPI-BOLD(Echo Planner Imaging Blood Oxygen Level Dependent) 기법을 이용하여 영상을 획득하였다. 다음은 fMRI 촬영 변수(parameter)이다: TR 2000ms; TE 40ms; flip-angle 90 degrees; field-of-view 230mm; matrix size 64 x 64; number of slices 20, voxel size 3.6 x 3.6 x 5 mm, 1mm 간격. 촬영 평면은 anterior commissure-posterior commissure(AC-PC) 선과 평행하게 하였다. 같은 위치에서 해부학적 영상을 위한 T1-강조영상(T1-weighted image)을 얻기 위해서는 다음과 같은 촬영변수를 사용하였다: TR 1900ms; TE 3.93ms; flip-angle 15 degrees; field-of-view 230mm; matrix size 256 x 180; number of slices 104, slice thickness 1.5mm.

6. 자료 처리

영상 자료 처리는 MATLAB(Mathworks, Inc., Novi, USA) 환경에서 구현되는 Statistical Parametric Mapping 2(SPM2; Wellcome Department of Cognitive Neurology, University College London, UK) 소프트웨어를 사용하여 이루어졌다. 영상은 검사 중에 발생하는 머리 움직임에 의한 잡음을 보정하기 위한 재정렬(realignment) 과정을 거쳐 몬트리올 신경 연구소가 제작한 표준 뇌영상(Montreal Neurological

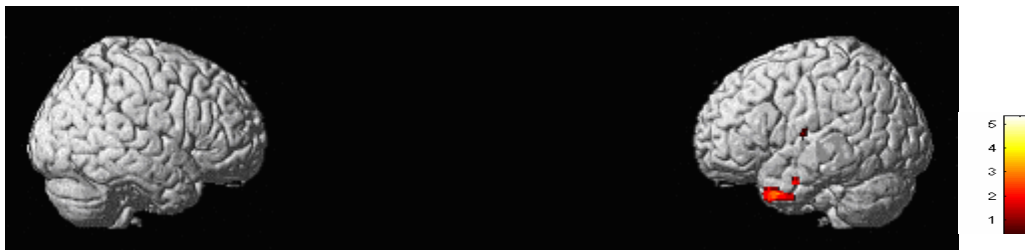
Institute template)에 기초하여 표준화되었다. 피험자의 머리 움직임 정도는 기준 (translation: $-2\sim 2\text{mm}$, rotation: $-2^\circ\sim 2^\circ$)을 벗어나지 않는 것을 사용하였다. 영상에 대한 통계분석은 실험 조건에 대한 일반 선형 모델(general linear model)에 기초하였다. 피험자에 대한 개별적인 데이터 분석은 비보정 유의수준 $p<0.001$ 과 역치범위(extent threshold: ET) 10 voxels에 근거하여 분석하였다. 의미 단어 읽기와 휴지기, 비단어 읽기와 휴지기에서 뇌활성화에 차이가 있는 지를 알아보기 위해 의미 단어 읽기 활성화에 휴지기를 차감하여 생성된 순수한 활성화 영역과, 비단어 읽기 활성화에 휴지기를 차감하여 생성된 순수한 활성화 영역을 분석하였다.

III. 연구 결과

실험 결과 두 피험자 모두 머리 움직임 정도는 기준(translation: $-2\sim 2\text{ mm}$, rotation: $-2^\circ\sim 2^\circ$)을 벗어나지 않았으며, 과제에 제시된 목록을 정확하게 읽을 수 있는 것으로 나타났다. 다음은 일반 아동 및 읽기 장애 아동이 의미 단어와 비단어를 소리 내지 않고 읽는 과제를 수행할 때의 뇌 활성화 영역들에 대한 분석 결과이다.

1. 일반 아동의 의미 단어와 비단어 읽기 과제 수행시 뇌활성화 영역

의미 단어를 묵독할 때 일반 아동의 뇌 활성화 양상은 그림 III-1과 표 III-1과 같다.



<그림 III-1> 단어 묵독시 일반 아동의 활성화 영역에 대한 3차원 영상:
단어 > 휴지기

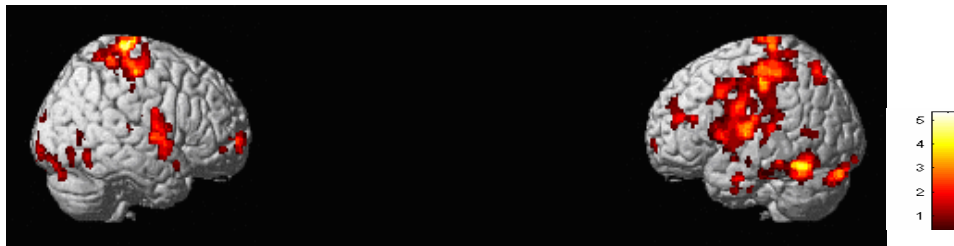
<표 III-1> 단어 목록시 일반 아동의 활성화 영역: 단어 > 휴지기

Areas	Cluster size	MNI coordinates			Z-score
		x	y	z	
L. Middle temporal pole	188	-36	16	-38	4.33
L. Postcentral	17	-70	-10	10	3.76
L. Middle temporal	28	-58	-4	-26	3.64

$p=.001$; ET, 10 uncorrected.

그림 III-1과 표 III-1에서 보는 바와 같이 일반 아동의 경우 의미 단어 목록 과제 수행시 좌반구의 중측두극(middle temporal pole), 중심후회(postcentral gyrus), 그리고 중측두회(middle temporal gyrus)가 유의미하게 활성화되었다.

비단어를 목록할 때 일반 아동의 뇌 활성화 양상은 그림 III-2와 표 III-2와 같다.



<그림 III-2> 비단어 목록시 일반 아동의 활성화 영역에 대한 3차원 영상:
비단어 > 휴지기

<표 III-2> 비단어 목록시 일반 아동의 활성화 영역: 비단어 > 휴지기

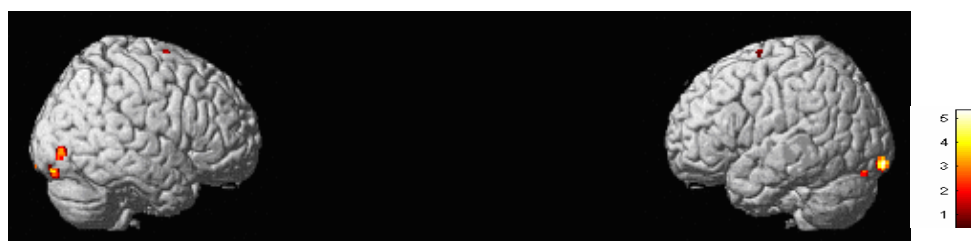
Areas	Cluster size	MNI coordinates			Z-score
		x	y	z	
L. Heschl	5658	-66	-10	8	6.49
L. Inferior temporal	1062	-58	-58	-20	5.74
L. Cerebellum crus 1	385	-26	-86	-26	4.71
R. Precentral	482	40	-16	58	4.70
L. Rolandic operculum	973	-38	-24	20	4.59
L. Middle frontal	236	-42	46	20	4.53
R. Superior frontal	163	34	66	2	4.37
L. Middle cingulum	43	-14	-20	48	3.80

$p=.001$; ET, 10 uncorrected.

그림 2와 표 2에서 보는 바와 같이 일반 아동의 경우 비단어 목록 과제 수행시는 피질 수준에서는 좌반구의 Heschl, 하측두회(inferior temporal gyrus), Rolandic operculum, 중전두회(middle frontal gyrus), 중대상다발(middle cingulum)과 우반구의 중심전회(precentral gyrus), 상전두회(superior frontal gyrus)에서 활성화가 나타났고 피질하 수준에서는 소뇌 제1다리(cerebellum crus 1) 영역이 유의미하게 활성화 되었다.

2. 읽기장애 아동의 의미 단어와 비단어 읽기 과제 수행시 뇌활성화 영역

단어를 목록할 때 읽기장애 아동의 뇌 활성화 양상은 그림 III-3과 표 III-3과 같다.



<그림 III-3> 단어 목록시 읽기장애 아동의 활성화 영역에 대한 3차원 영상:
단어 > 휴지기

<표 III-3> 단어 목록시 읽기장애 아동의 활성화 영역: 단어 > 휴지기

Areas	Cluster size	MNI coordinates			Z-score
		x	y	z	
R. Middle cingulum	140	10	28	36	4.51
R. Inferior occipital	65	48	-82	-4	4.34
R. Cerebellum crus 1	76	22	-86	-20	4.29
L. Inferior occipital	109	-22	-98	-12	4.20
R. Superior motor area	11	10	0	70	3.53
L. Superior motor area	17	-10	-2	70	3.47
L. Fusiform	17	-26	-84	-18	3.45

$p=.001$; ET, 10 uncorrected.

그림 III-3과 표 III-3에서 보는 바와 같이 읽기 장애 아동들이 의미 단어를 소리내지 않고 읽기 과제 수행시에는 우반구의 중대상속(middle cingulum), 하후두회(inferior occipital), 상운동영역(superior motor area)에서, 좌반구에서는 하후두회, 상운동영역, 방

추상회 영역이 유의미하게 활성화되었고 피질하 수준에서는 우반구의 소뇌 제1다리 영역이 활성화되었다.

비단어를 묵독할 때 읽기장애 아동의 뇌 활성화 양상은 표 4와 같다.



<그림 III-4> 비단어 묵독시 읽기장애 아동의 활성화 영역에 대한 3차원 영상:
비단어 > 휴지기

<표 III-4> 비단어 묵독시 읽기장애 아동의 활성화 영역: 비단어 > 휴지기

Areas	Cluster size	MNI coordinates			Z-score
		x	y	z	
R. Lingual	231	20	-102	-14	5.68
R. Middle orbitofrontal	117	26	44	-14	4.62
R. Cerebellum crus 1	30	44	-58	-38	4.07
L. Lingual	58	-10	-102	-16	3.67

$p=.001$; ET, 10 uncorrected.

그림4와 표 4에서 보는 바와 같이 읽기 장애 아동이 비단어 소리 내지 않고 읽기 과제 수행시에 활성화 되는 뇌 영역은 피질 수준에서는 우반구의 배측 시각 경로에 해당되는 lingual과 중안와전두회(middle orbitofrontal gyrus) 영역에서, 좌반구에서는 배측 시각 경로에 해당되는 lingual에서 유의미하게 활성화되었으며 피질하 수준에서는 우반구의 소뇌 제1다리 영역이 유의미하게 활성화되었다.

IV. 논 의

본 연구의 목적은 한글 읽기 장애 아동의 읽기와 관련된 뇌 생리적 기전을 밝히는 것이다. 본 연구의 결과를 토대로 일반 아동과 읽기 장애 아동의 읽기 과제 수행에 관여한 뇌영역과 그 활성화 양상을 비교하여 논의하면 다음과 같다.

위의 결과에서 살펴보았듯이 일반 아동과 읽기 장애 아동이 한글을 소리내지 않고

읽을 때의 뇌 활성화 영역은 아동의 특성과 단어의 특성에 따라 약간의 차이를 보였다. 의미 단어 읽기 과제시 일반 아동의 경우에는 주로 좌반구 중측두엽이 가장 활성화된 반면, 읽기 장애 아동은 시각 경로라고 알려진 좌우반구의 후두엽 영역의 하후두회와 방추상회가 주로 많이 활성화되는 양상을 보였다. 읽기 장애 아동의 뇌활성화 양상은 시각적으로 제시되는 단어를 재인하는 과제에서 좌반구 후측 방추상회가 활성화된다는 연구결과와 일치되는 것이다(Devlin, Jamison, Gonnerman, & Matthews, 2006). 이러한 결과를 종합해볼 때 일반 아동과 읽기 장애 아동이 한글을 읽을 때 대뇌 활성화 영역이 뚜렷이 차이가 있는 것을 알 수 있다. 특히 읽기 장애 아동의 경우 의미 단어를 읽을 때 좌반구 측두엽 영역에서 전혀 활성화가 나타나지 않은 것은 읽기 장애 아동의 경우 좌뇌 반구의 언어 처리 영역의 특정 부위에서 결손을 보이기 때문에 읽기에 어려움을 겪는다는 선행 연구의 결과와도 일치한다(Shaywitz, Shaywitz, & Puch, 2002). 그리고 이는 읽기 장애가 언어적 측면과 관련이 있다는 최근의 가설을 뒷받침하는 것이다(Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003). 이러한 사실은 비록 영어와 한글이 언어적 특성이 차이가 있다 하더라도 두 언어권의 읽기 장애 아동들의 뇌 구조와 기능은 언어 차이와 상관없이 비슷하다는 것을 의미한다.

이와 더불어 읽기 장애 아동이 한글을 읽을 때 후두엽 영역에 활성화되어 나타나는 것은 언어적 지식에 기초하여 분석적 단어 재인 전략을 사용하지 않고(Shaywitz et al., 2003) 시각적 처리를 통해 기억에 의존해서 통문자로 단어 읽기를 하고 있음을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 과제가 의미 단어 읽기인 경우 읽기 장애 아동들은 과제 단어에 처음 노출되어 읽기를 하지 못해서 뇌활성화가 나타나지 않을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이것을 사전에 통제하기 위해 초등 저학년이 많이 알고 있는 단어를 과제 단어로 사용하였으며, 이러한 이유로 읽기 장애 아동이 언어적 정보에 근거하여 분석적으로 단어 재인 과제를 처리 하지 않고 기억에 의존해서 읽기를 한 것으로 볼 수 있다.

이러한 가정은 본 연구에서 읽기 장애 아동의 비단어 읽기 과제시에 뇌활성화 특성이 뒷받침하고 있다. 비단어 읽기 과제시 일반 아동의 경우에는 좌반구의 하측두회와 중전두회와 우반구의 상전두회와 중심전회가 많이 활성화된 반면에 읽기 장애 아동의 경우에는 의미 단어 읽기에서와 비슷하게 좌우반구의 배측 시각 경로인 lingual 영역이 많이 활성화되었다. lingual 영역은 시각적 처리를 담당하는 것으로 알려져 있으며, 단어 재인 역할을 하는 곳이다.

좌반구의 중전두회는 우리가 단어를 읽을 때 음운적인 처리에 관여하는 것으로 잘 알려져 있는 영역이다. 일반 아동에게서 이 영역이 많이 활성화되는 것은 비단어를 읽을 때 음운 처리를 해야 하기 때문에 나타난 결과라고 할 수 있다. 이러한 결과는 의미 단어와 비단어를 과제로 하여 뇌활성화 영역을 비교한 Mechelli, Gorno-Tempini와 Price(2003)의 연구의 결과와 일치하고 있다. 이들 연구에서도 의미 단어와 비단어를 처리할 때 비슷한 영역에서 활성화되었지만 비단어 과제에서 좌반구 전두엽, 좌반구 측두

회 영역과 우반구 소뇌 영역에서 뇌활성화가 더 많이 일어났다. 이것은 의미 단어를 처리할 때는 의미론적 표상이 있기 때문에 의미적 단서가 제공되어 음운 어휘집에 접근할 때 자동적으로 이루어져 처리의 요구가 적어 활성화가 적게 되지만 비단어는 의미론적 표상이 없기 때문에 비단어를 처리할 때는 자동적으로 음운적 어휘집에 접근을 할 수 없어 처리 요구가 크기 때문이다(Mechelli et al., 2003). 그러나 일반 아동과는 달리 읽기 장애 아동의 경우 이 부분에서 활성화가 거의 없는 것은 읽기 장애 아동의 경우 음운 조합에 필요한 자소-음소 대응 규칙을 적용하여 상당한 노력이 요구되는 조음 부호화하는 데 어려움을 겪고 있어 뇌활성화 생성이 많이 되지 않기 때문으로 생각된다(Denone et al., 1992).

본 연구에서 특이한 점은 일반 아동이 비단어를 소리내지 않고 읽을 때 좌반구의 중전두회 영역의 활성화가 크다는 점이다. 이는 한글 단어를 읽을 때 하두정엽에 위치한 변연상 이랑 영역의 활성화가 상대적으로 컸다고 보고한 이경민(1998)의 연구와는 상반되는 연구이다. 이러한 차이는 본 연구에서는 비단어 활성화 부분을 포함하였지만 이경민(1998)의 연구에서는 의미 단어만을 사용하였기 때문으로 생각된다. 비단어를 읽을 시에 더 많은 음운적 처리가 요구되기 때문에 음운적 처리를 담당하고 있는 좌반구의 중전두회 영역이 더 많이 활성화된 것으로 생각된다. 또 이경민(1998)의 연구에서는 성인 독자가 연구 대상에 포함되었고 본 연구에서는 초등학교 고학년 학생이 포함되었다는 데에서 차이가 있다. 초등학교 고학년의 경우 비록 읽기가 많이 유창해졌지만 여전히 읽기를 할 때 정확히 읽기 위해서 음운 처리에 더 많이 의존해야 하지만 성인 독자의 경우에는 읽기가 유창하여 시각 단어를 보자마자 어휘집에 접근할 것이다. 즉 발달 연령에 따라 읽기 능력의 차이가 뇌 활성화의 차이에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다고 할 수 있다.

이와 더불어 한글 읽기 과제시 실비우스열 주변 영역의 활성화가 적다고 보고한 유승돈(2005)의 연구와는 달리 본 연구에서는 일반 아동의 경우 의미 단어 읽기 과제시 좌반구 중측두엽, 즉 실비우스 열 부근의 영역의 활성화가 많았다. 이러한 결과는 성인 독자의 경우에는 시각 단어를 보자마자 어휘집에 바로 접근하여 기억에 의존해서 읽기를 하는 반면에, 일반 아동의 경우에는 정확히 읽기 위해 언어적 정보에 근거하여 분석적으로 단어 재인 과제를 처리하기 때문이라고 유추할 수 있다.

마지막으로 이상의 연구결과를 토대로 본 연구의 제한점과 함께 후속 연구를 제안하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 일반 아동 1명과 읽기 장애 아동 1명만을 대상으로 하여 읽기 과제시 뇌활성화 영역을 비교하였기 때문에 읽기 장애 아동의 뇌의 결손된 영역에 대한 본 연구의 결과를 일반화하는 것은 시기 상조이다. 특히 피험자가 소수일 경우에는 결과에 영향을 미칠 수 있는 다양한 개인의 내적 변인이 있을 수 있기 때문에 연구 결과 해석에 있어서 주의가 요구된다. 따라서 좀 더 과학적이고 객관적인 결과를 얻기 위해

서는 다수의 읽기 장애 아동들의 뇌활성화 영역과 일반 아동들의 뇌활성화 영역들을 통계적으로 집단 비교하는 시도가 이루어져야 한다. 둘째, 본 연구에서는 단어와 비단어를 읽을 때의 차이를 비교하지는 않았으나, 후속 연구에서는 이에 대한 비교를 통해 뇌에서의 음운처리 영역에 대해 더 명확히 파악해 보는 것이 필요하다. 이러한 과정을 거쳐 더 많은 연구가 이루어져 더 많은 과학적 발견들이 축적이 될 때 읽기 장애 아동의 결손된 뇌 영역에 대한 확신에 찬 결론에 도달할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 곽금주, 박혜원, 김청택.(2001). K-WISC-III(한국 웨슬러 아동지능검사). 서울: 도서출판 특수교육.
- 김광해(2003). **등급별 국어교육용 어휘**. 서울: 박이정.
- 박경숙, 윤점룡, 박혜정(1989). **기초학습기능검사**. 서울: 한국교육개발원.
- 오경자, 이해련, 홍강의, 하은혜(1997). **K-CBCL(Korean Child Behavior Checklist, 아동·청소년 행동평가척도)**. 서울:(주)휴노컨설팅.
- 유승돈(2005). 브로카실어증 환자와 명칭성 실어증 환자에서 유창성 회복 정도에 따른 뇌활성화 비교: fMRI 연구. 경희대학교 대학원 박사학위 논문
- 이경민(1998). 한글과 한자 읽기에 연관된 뇌활성화 양상의 비교. **1998년도 한국실험 인지 심리학회 연차대회 논문집**, 129-137.
- 이동훈, 이홍재, 이은정, 문찬홍, 유재욱, 나동규, 남기춘(2001). 기능적 자기 공명 영상(Functional MRI)에 나타난 한글과 한자 단어 재인의 차이. **언어청각장애연구**, 6(1), 105-130.
- Berninger, V., & Richards, T.(2002). Brain literacy for educators and psychologists. San Diego, CA: Academic Press.
- Denonot, J. F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulous, J. L., & Wise, F.(1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115, 1753-1768.
- Devlin, J. T., Jamison, H. L., Gonnerman, L. M., & Matthews, P. M.(2006). The role of the posterior fusiform gyrus in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(6), 911-922.
- Hoefl, F., Ueno, T., Reiss, A. L., Meyler, A., Whitfield-Gabrieli, S., Glover, G. H., Keller, T. A., Kobayashi, N., Mazaika, P., Jo, B., Just, M. A., & Gabrieli, J. D. E.(2007). Prediction of children's reading skills using behavioral, functional, and structural neuroimaging measures. *Behavioral Neuroscience*, 121(3), 602-613.
- Horwitz, B., Rumsey, J. M., & Donohue, B. C.(1998). Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 8939-8944.
- Katzir, T., & Paré-Blagojev, J.(2006). Applying cognitive neuroscience research to education: The case of literacy. *Educational Psychologist*, 41(1), 53-74.
- Lyon, G. R. Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A.(2003). A definition of Dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1-14.
- McCandliss, B.D., & Noble, K. G.(2003). The development of reading impairment; A Cognitive neuroscience model. *Mental Retardation and Development Disabilities Research Review*, 9, 196-205.
- McCrary, E. J., Mechelli, A., Frith, U., & Price, C. J. (2005). More than words: A common

- neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia? *Brain*, 128, 261-267.
- Mechelli, A., Gorno-Tempini, M. L., & Price, C. J.(2003). Neuroimaging studies of word and pseudoword reading: Consistencies, inconsistencies, and limitations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(2), 260-271.
- Price, C. J., & Mechelli, A.(2005). Reading and reading disturbance. *Current Opinions in Neurobiology*, 15, 231-238.
- Price, C. J., & Moore, C. J.(1997). Segregating semantic from phonological processes during reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 727-733.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C.(1997). Phonological and orthographic components of word recognition: A PET-rCBF studies. *Brain*, 120, 739-759.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C., Nace, K. L., Maisog, J. M., & Andreason, P.(1999). A functional lesion in developmental dyslexia: Left angular gyral blood flow predicts severity. *Brain and Language*, 70, 187-204.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Constable, T., Marchione, K. E., Fletcher, J. M., Lyon, R., & Gore, J. C.(2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52, 101-110.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fulbright, R., Skudlarski, P., Mencl, W., & Constable, R.(2003). Neural systems of compensation and persistence: Young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry*, 54, 25-33.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Mouzaki, A., & Papanicolaou, A., C.(2001). Age-related changes in regional brain activation during phonological decoding and printed word recognition. *Developmental Neuropsychology*, 19(2), 191- 210.
- Vellutino, F., Fletcher, J., Snowling, M., Scanlon, D.(2004). Specific reading disability(dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 2-40.
- Voets, N. L., & Matthews, P. M.(2005). Clinical applications of functional magnetic resonance imaging. *Imaging Decision MRI*, 9(1), 16-22.
- Yoon, H. W., & Cho, K. D.(2005). An fMRI study on reading Hangul and Chinese Characters by Korean Native Speakers. *언어치료연구*, 14(4), 29-36.

A Case Study of Word Recognition in Child with and without Reading Difficulties: A case study using fMRI

Ahn, Seungwoo

Pusan National University

Kim, HakJin

Pusan National University

Shin, Miseong

Pusan National University

Seo, YooKyung

Pusan National University

Park, JinYoung

Pusan National University Hospital

Park, Wonkyung

Daegu University

<Abstract>

The purpose of this study was to compare brain activation profiles of a 6th grader boy with reading difficulties(RD) to those of an age-, gender-, and IQ-matched normal control in 2 silent reading tasks using a functional magnetic resonance imaging. In a word reading task, stimuli consisted of two syllable words with high familiarity whereas in a pseudo-word reading task, stimuli were made up by changing the first or the second syllable of the same words that were used in a word reading task. A child with RD showed increased activation of the right middle cingulum, the left and right inferior occipital gyri and the left fusiform gyrus during a word reading task, areas normally involved in visual processing. In contrast, a normal control showed profiles featuring increased activation of the middle temporal pole, the postcentral gyrus, and the middle temporal gyrus on the left hemisphere. In a pseudo-word reading task, a child with RD showed increased activation of the left and the right linguals and the right middle orbitofrontal gyrus whereas a normal

control displayed increased activation of the heschl, the inferior temporal gyrus, the Rolandic operculum, the middle frontal gyrus, the middle cingulum on the left hemisphere and the precentral gyrus and the superior frontal gyrus on the right hemisphere. These results suggest that a word reading in a child with RD might be based on memories of visual properties of words and that a pseudo-word reading in a normal child might be based on phonological information.

Key words: reading disability, brain activation, fMRI