한국심리학회지 : 실험
The Korean Journal of Experimental Psychology
2004, Vol. 16, No. 3, 353 - 364

<관 찰>

기능 자기공명 영상법으로 알아본 한글 단어에 대한 시각적 처리의 특성

윤 효 운
한국과학기술원 뇌과학연구센터 fMRI 연구실

조 경 덕
배재대학교 심리철학과

기능 자기공명영상 기법을 이용하여 한국인 피험자들의 한글 및 영어단어 인지에서 나타나는 두뇌활성화 패턴을 연구하였다. 연구의 주목적은 두 언어가 가진 형태적 차이에 의해 뇌의 활성화 영역이 달라지는지를 알아보는 것이었다. 동일한 의미의 쉬운 단어를 사용하여 실험을 진행하였고 뇌영상 정보를 얻었다. 실험 결과, 영어단어 인지의 경우 선행연구(Bookheimer, 2000)와 유사하게 뇌의 전반적인 영역에서 고른 활성화가 나타났다. 한글 단어 인지의 경우 영어 단어 인지와 유사하였지만, 전두엽 부분 중 BA 8 영역이 활성화되는 결과가 나타났다. 이 영역은 특수한 시각자극을 선택적으로 인지하는데 관여하고 있다고 알려져 있다(Halsband & Passingham, 1982). 본 연구의 결과는 한글이 가지고 있는 형태적 특징 (표음문자이지만 비선형 형태)이 BA 8영역을 활성화 한 것을 시사한다.

주제어: 한글, 뇌영상기법, 주의, BA8영역

본 연구는 한국과학재단 지역대학 우수과학자 과제(2004S-PT0002-20-0020)의 지원을 받았음.
교신저자: 윤효운, (305-701) 대전광역시 유성구 구성동, 한국과학기술원 뇌과학연구센터 fMRI 연구실
E-mail: hwyoon@fmri.re.kr

대뇌에서 이루어지는 언어정보처리를 이해하기 위한 초기연구의 대부분은 일시적이거나 영구적인 뇌기능 장애와 관련된 언어기능들의 장애양상과 그와 관련된 뇌영역을 관찰하는 것 들이었다(Previc, 1991, Bookheimer, 2000). 뇌영역을 촬영할 수 있는 방법들이 발달한 현대에서도 선행연구에서 사용되었던 연구방법들이 뇌와 언어와의 관계를 규명하기 위해 사용되고 있다. 초기연구에서는 언어와 관련된 뇌영역으로 브로카, 베르니케 영역등이 특정되었고, 현대에 이르러서는 그중에서도 IFG (Inferior Frontal Gyri)가 언어의 의미적인 처리와 관련이 있다와 같이, 구체적인 두뇌의 영역이 언어의 기능과 어떤 관계가 있는지를 밝히는 단계에까지 이르게 되었다(Bookheimer, 2002).

뇌와 언어의 관계를 이해하기 위한 연구에서는 음성자극과 시각자극을 주로 사용하고 있다. 그 중, 음성자극은 자극의 통제가 어렵고 해석이 용이하지 않다는 점에서 시각자극들이 많이 사용되고 있다. 뇌연구의 역사를 보면 뇌손상 환자들로부터 많은 것들을 추론하고 있다. 그 중, 시각언어를 사용한 연구에서 흥미 있는 것은 반구우세성(lateralization)을 들 수 있는데, 이것은 대뇌 피질 특히, 신피질 연구에서 유추되는 것으로, 해부학적인 근거나 기능적인 근거에 의해 좌, 우뇌가 서로 다른 기능들을 포함하고 있다는 것이다. 좌뇌가 손상된 환자는 문자를 읽고 해석하는 언어적인 능력에서 정상인들과 현격한 차이를 보이고 있다. 또한, 우뇌를 손상당한 환자들은 문자를 해독하고 이해하는 능력은 정상인들과 큰 차이가 나지 않지만, 그림을 제시하거나 일반적인 사물들(objects)의 사진을 인지할 경우 정상인들보다 월등하게 어려움을 느낀다. 그 외에 두뇌의 한 중간에 위치한 뇌량(corpus callosum)이 손상된 분할 뇌환자(split brain patient)의 예나 시각무시증 환자(neglect patient)의 연구에서, 반구우세성과 그와 연관된 고등행동 기능들에 대한 설명들이 가능하게 되었다. 시각적인 측면에서 문자, 언어의 철자 등은 좌뇌에서 우세하게 처리되고, 기하학적인 무늬나 얼굴들은 우뇌에서의 처리가 우세하며, 청각적인 측면에서는 언어와 연관된 소리들은 좌뇌에서, 그 외의 소리나 음악 등은 우뇌에서 우세하게 처리된다고 한다. 또한, 감정적인 측면에서 좌뇌는 긍정적이거나 중립적인 감정을 느끼는 경우 우세하고, 우뇌는 부정적이거나 우울한 감정을 느끼는 경우 우세하다고 한다(Previc, 1991).

인간의 다양한 고등행동 기능에 대한 반구우세성을 바탕으로, 그림과 시각언어(문자)의 인지과정에서의 서로 다른 반구(hemisphere) 우세 패턴에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 최근에는 첨단 영상기술인 PET(Positron Emission Tomography)이나 fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)를 이용한 연구가 이루어지고 있다. 고전적인 실험은 주로 시각언어(대부분의 경우 알파벳)와 그림 또는 사물의 사진 등의 인지에서의 차이점을 검토하였다. 일반적으로 가시영역 중 좌측이나 우측에만 자극을 제시하여 다른 쪽 영역을 인지하는 비중이 상대적으로 낮도록 하는 일방향적 시각제시(visual hemifield presentation)를 이용하여, 반응시간 및 정확도 등에서 두 개의 범주의 차이를 유추함으로써 반구우세성을 증명하였다.

선행연구의 결과들로부터, 언어 인지측면에서 우세를 보이는 좌반구에서는 시각언어, 특히 알파벳 등과 같은 표음문자의 인지가 우세하며, 그림이나 사물의 인지측면에서 우세를 보이는 우반구는 표의문자인 한자를 인지하는데 중추적인 역할을 담당한다 할 수 있다

(Tzeng, Hung, Cotton, Wang, 1979). 그러나 한자를 사용하는 중국인과 일본인들을 대상으로 하여 뇌영상기법을 이용한 실험결과들은 한자 인지에서의 우반구우세성에 대해 반론을 제기하고 있다. 한자의 인지가 알파벳 등과 차이가 없다고 하는 논리는, 결국 한자의 인지가 이미 시각적인 자극이라기보다는 의미를 가지는 언어적인 자극이라는 데 기초한다(Tan et al., 2000; Tan, Feng, Fox, & Gao, 2001; Chee et al. 2000).

시각형태의 처리가 우선하는 알파벳 언어와 의미적인 처리가 우선하는 한자의 뇌영상 연구결과는 언어의 형태적인 특성에 의해 뇌의 활성화 영역이 차이가 난다는 것을 시사한다. 본 연구에서는 단어 인지에서의 뇌활성화를 주로 다루고 있다. 단어인지에서는, 단어의 형태에 관한 인지, 음성적, 즉 발음과정, 그리고 의미론적 처리과정을 거친다고 알려져 있다. 로마문자와 한자의 인지에서 가장 큰 차이를 보이는 부분은 형태에 관한 부분인데, 중국인을 피험자로 하여 한자의 인지에 관한 뇌영상 연구를 한 결과, 전두엽의 BA 9 영역이 우세하게 활성화되었다. Tan 등(2000)은 이 영역이 한자의 형태적인(visuospatial analysis) 것과 관계가 있다고 해석하였다. 한국어를 모국어로 사용하고 있는 한국인들을 피험자로 하는연구에서는 한글이 가지고 있는 독특한 형태적인 특성이 인지과정에 미치는 영향을 알아 볼 필요성이 있다. 이미 알려진 바와 같이 한글은 알파벳 등과 같이 소리를 기초로 하는 표음문자이다. 그렇지만 알파벳은 서로 하나의 개체를 연결해서 단어를 형성하는데 한글은 한 글자가 한 음절을 이룬다. 그러므로 단지 시각적인 측면에서만 본다면 한글은 한자와 유사하게 비추어질 수도 있다. 그러나 자음과 모음을 조합하여 음운을 생성한다는 점에서 차이가 있다. 본 연구에서는 이러한 한글의 시각적, 음운적 특성이 인지과정에 미치는 영향을 기능자기공명 영상법을 사용하여 검토하였다. 단어인지에서는 기본적으로 단어의 형태를 인지하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 한글이 가지는 형태적인 특성이 두뇌의 어떤 영역과 관련이 있으며 어떤 연결고리를 가지고 있는지 기능자기공명 영상 기법을 이용하여 알아보았다. 본 연구에서는 한글의 인지와 비교하기 위해 같은 표음문자인 영어단어를 사용하였다. 하지만, 영어단어를 사용할 경우 형태적인 차이뿐만 아니라 모국어와 외국어 단어의 인지 패턴의 차이에 의한 영향을 받을 가능성이 제기된다(이승복 외 2004). 따라서 본 연구에서는 자극단어로 사용되는 한글 단어와 영어 단어는 쉬운 것들만 사용하였다. 그리고 모든 자극 단어들은 추상명사가 아니라 구체명사를 사용하여서 의미론적 처리과정이 아주 용이하게 이루어지도록 하였다.

방 법

참가자 14명의 정상적인 시력을 가진 오른손잡이 배재대학교 학생들(7명의 남학생과 7명의 여학생, 평균연령; 21세, 표준편차; 1.5세)이 본 연구에 참여하였다. 실험 시작 전 그들은 신경정신과적 질병을 앓았거나 치료를 받았는지에 대한 여부와 정기적으로 약물을 복용하고 있는지에 대한 여부를 질문 받았고, 실험참여의 합당성이 인정되었을 경우 피험자로서 참여하였고 수당을 지급 받았다.

실험자극 및 절차 본 실험의 자극으로 사용된 한자는 모두 명사들이며 사물과 관련된 의

미를 명확하게 가지는 구체명사들이었다. 사용된 자극들은 일반적으로 쓰이는 동물이나 간단한 사물의 이름들이었다. 예를 들면, 개나 고양이등과 같은 동물을 지칭하거나 집, 자동차등과 같은 사물을 지칭하는 구체적인 명사들이 사용되었다. 실험에 사용된 실험 디자인은 fMRI실험에서 전형적으로 사용되는 블록 디자인, box car 디자인, ABAB패러다임이 사용되었다. 한 개의 한글 단어가 2초 동안 자극으로 제시되었고, 그 이후 1초 동안 검은 화면이 제시되었다. 이러한 과정이 여덟 번 반복되었고 제시된 여덟 개의 한글단어들은 서로 다른 단어들이었다. 하나의 블록에서 소요되는 시간은 24초이었다. 실험전체에서 한글단어를 제시하는 블록이 4개이었고 영어단어를 제시하는 블록은 4개였다. 블록의 제시순서는 무선적으로 행해졌고 블록과 블록 사이에는 기저선(baseline)이라고 하는 통제 가능한 조건들이 주어졌다. 2초 동안 응시점으로 십자가가 제시되었고 1초 동안 검은 화면이 보였다. 이 과정도 여덟 번 반복되었고 소요시간은 자극이 제시되는 시간과 동일하였다. 한 블록 내에 존재하는 자극의 숫자는 8개였고 4번 반복되었으므로 전체 실험 중에서 제시된 개별 자극의 숫자는 32개였다.

피험자들은 실험이 시작되기 전 실험내용에 관한 정보를 받았다. 피험자들의 반응을 측정하기 위하여 두 개의 버튼(button)이 사용되었다. 피험자들은 한글 혹은 영어단어에 상관없이, 제시된 명사가 의미론적으로 생물체를 지칭하면 오른쪽 버튼을 누르고 무생물을 지칭하면 왼쪽 버튼을 누르도록 지시를 받았다.

영상자료 획득 과정 전체 실험 데이터는 3테슬라 세기를 가진 MR 기기(Oxford magnet, Varian console, 국내업체 ISOL 제작)를 통해 이루어졌고 Echo planar image sequence(EPI)가 사용되었다. 영상 슬라이스 두께는 각각 4 mm이었고 그 사이의 간격은 주어지지 않았다. 다른 기술적인 데이터들은; TR = 3 sec, TE = 35 ms, flip angle = 80, Field of View = 220 × 220 mm, acquisition matrix = 64 × 64 이었다. 실험에서는 30장의 axial 방향(머리 위에서 밑으로의)의 슬라이스가 얻어졌다.

얻어진 자료는 SPM99(Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)라는 소프트웨어를 이용하여 분석되었다. 얻어진 자료들은 일단 움직임 교정(motion correction)을 거치게 되는데, 첫 번째 블록에서 얻어졌던 데이터를 기준으로 교정이 이루어지게 된다. 그 이후 영상이정합(co-registration)이라는 과정을 거치게 되는데, 이는 기능적 자료를 얻기 전에 촬영되었던 해부학적 영상과 기능적 영상(functional image)의 평균값들을 같이 기록(registration)하는 과정이다. 표준 뇌와 좌표 등을 일치시켜 주는 표준화(normalization)과정도 거치게 되는데 이 과정을 통해 우리는 기능적 영상의 해부학적인 위치를 알 수가 있게 된다(Talairach & Tournoux, 1988). 얻어진 영상데이터들은 마지막으로 편평화(smoothing)이라 불리는 과정을 거치게 되는데 이것은 수학적으로 full-width half-maximum(FWHM) gaussian filter(본실험시 7 mm)를 거치게 되었다 분석 시 사용되는 모든 대조값(contrast)들은 hemodynamic response function (HRF)에 특성화된 디자인 matrix로부터 정의되어 계산된 자극제시시차(SOA, stimulus onset asynchrony)에 의해 결정된다. 또한 데이터들은 일반선형모형(GLM, general linear model)을 거쳐 모든 부피소(voxel)들은 고유의 값을 가지게 되었다. 결과물로 얻어진 부피소(voxel)들의 값은

서로 통계적으로 비교되어서 활성화된 영역을 결정하게 되었다. 그룹 분석에서 각 개인의 통계결과들은 무선효과모델(random effect model)을 통해 분석되었다. 통계적 계산에 사용된 대조값들은 각각의 조건들에 대해 단순 t-검증(simple t-test)를 이용하여 산출되었다. 활성화 영역을 정의하는 것은 p-value를 얼마를 주느냐에 따라 차이가 있는데, $p < 0.001$ 정도(uncorrected)가 두 조건의 직접적인 비교에서 사용되었고, $p < 0.05$ (corrected)는 기저선과의 비교에서 사용되었다.

결 과

반응시간 자료 한글 단어인지에 대한 평균 반응시간은 1.01 초(표준편차: 325 ms)이었고 영어단어 인지에 대한 시간은 0.97 초(표준편차: 250 ms)로 나타났다. 쌍대 t-검증(paired t-test)를 이용한 통계분석에 의하면 두 집단은 차이는 없는 것으로 나타났다($p = 0.061$).

획득영상자료 fMRI는 혈관내의 산소 변화량을 측정하는 것을 기본으로 한다. 이를 우리는 BOLD(Blood Oxygenation Level Dependency) 효과라고 부르는데 이 BOLD효과를 통해 특정 부위가 활성화되었다는 것은 그 부위에 대한 산소공급이 다른 부위에 비해 많은 것 즉, 많은 에너지를 필요로 했다고 말할 수 있다. 실제로 혈류량의 변화를 시간적으로 표시하면 그러한 현상들을 실제적으로 관찰할 수 있다. 이러한 변화를 해부학적인 영상과 일치시켜 만든 것이 일반적인 fMRI 실험 결과가 보여주는 활성화된 뇌의 영상이다.

영어와 기저선(baseline)을 비교한 조건에서의 활성화 부위를 보면($p < 0.05$, corrected), 좌반구 후두엽과 측두엽의 경계인 BA 37 부분에서 강한 활성화가 이루어진 것을 볼 수 있었다. 우반구의 비슷한 영역인 BA 19 영역의 활성화도 동반되어 이루어지고 있는 것을 볼 수 있었다. 전두엽 부분인 BA 9 영역는 좌우반구의 동시 활성화가 이루어졌다는 것을 시사한다. 그와 더불어 우반구의 BA 9 영역과 인접한 전두회(middle frontal gyrus)인 BA 46의 활성화도 관찰되었다. 두정엽에 위치한 BA 7의 활성화도 관찰되었다. 한글과 기저선을 비교한 경우에도, 좌우반구의 모두에서 고차 시각영역(BA 19, 37)의 활성화를 관찰할 수가 있다. 흥미로운 것은 전두엽 부분에서는 좌반구의 활성화만 관찰되었는데, 그 위치는 내측전두회(medial frontal gyrus)이었고 브로드만 영역으로는 BA 8번에 해당된다. 이밖에 좌반구 두정엽에 위치한 BA 7의 활성화와 더불어 우반구 후측대상회(posterior cingulate, BA 30)의 활성화도 관찰되었다(표 1 참조).

한글과 영어를 직접 비교한 경우의 활성화 양상(한글의 활성화가 영어보다 우월한 부위)을 살펴보면 ($p < 0.001$, uncorrected) 우반구 두정엽 부분의 상변연회(supramaginal gyrus, BA 40, Tal {x, y, z} = 66, -44, 36, Z-value = 4.49)의 활성화가 관찰되었고, 그 밖에, 우반구 측두회(BA 21, Tal {x, y, z} = 66, -50, 10, Z-value = 4.09), 좌반구 내측전두회(BA 8, Tal {x, y, z} = -24, 40, 46, Z-value = 3.75), 좌반구 상측두회(superior temporal gyrus, BA 22, Tal {x, y, z} = -56, -48, 16, Z-value = 3.7), 우반구 내측전두회(BA 8, Tal {x, y, z} = 46, 18, 50, Z-value = 3.65), 좌반구 후측대상회(BA 30, Tal {x, y, z} = 2, -50, 16, Z-value = 3.53) 및 좌반구 두정엽 부분의 전설부(precuneus, BA 7, Tal {x, y, z} = -6, -54, 48, Z-value = 3.49) 등의 활성화

표 1. 영어단어 및 한글단어를 기저선 (baseline)과 비교하였을 때 활성화된 뇌영역 (Brodmanr영역으로 표시)역치수준(Threshold)의 p-value는 $p < 0.05$ (corrected)이다. x, y, z밑의 숫자들은 Talairach에 의해 표준화된 좌표들이다. z-value는 t-통계치를 z-통계치로 바꾸어 준 것.

	Brodmann Area	Side	Talairach coordinates	z-value
영어	37	left	-38, -62, -16	6.4
	19	right	30, -74, -16	5.63
	9	left	-46, 18, 34	5.23
	9	right	52, 34, 34	4.66
	46	right	48, 36, 18	4.1
	7	left	-22, -56, 46	4.05
한글	37	left	-44, -60, -18	4.85
	8	left	-2, 26, 44	4.58
	7	left	-28, -52, 48	4.56
	30	right	18, -66, 8	4.31
	19	right	36, -74, -14	4.27

를 관찰할 수 있었다. 동일한 역치(threshold) 수준의 p-value에서 영어와 한글을 직접 비교한 경우의 활성화 양상을 살펴보면, 좌우반구 모두에서 후두엽 부분의 활성화(BA 19, Tal [x, y, z] = -36, -78, -14, Z-value = 5.03, Tal [x, y, z] = 26, -74, -14, Z-value = 4.9)가 관찰되었다 그와 더불어 좌반구 전중심회(precentral gyrus, BA 6, Tal [x, y, z] = -56, 0, 46, Z-value = 3.68)의 활성화도 볼 수 있었다.

논 의

반응시간을 분석한 결과 한글과 영어단어의 인지에서 차이가 나타나지 않았다. 자극으로 사용된 단어들이 구체적인 명사들이었고, 영어의 경우 난이도가 아주 낮은 단어이었기 때문에, 두 집단간에 친숙도(familiarity)에서의 차이가 나타내지 않은 것으로 보인다. 또한, 생물과 무생물을 구별하는 과제였으므로 의미적인 처리에서의 차이가 나타나지 않았을 가능성이 있다.

본 실험의 영상 자료를 살펴보면, 먼저, 영어단어 인지와 기저선을 비교하였을 경우 좌우반구 전두엽 부분의 활성화를 볼 수 있다. 특히, 측두회(middle frontal cortex) 부분인 BA 9 부분의 활성화 및 그의 인접한 영역인 BA 46의 활성화를 관찰할 수 있었다. 기존의 연구결과들에 의하면 위 영역의 활성 화는 피험자가 아주 짧은 시간동안 공간적, 음성적인 정보를 제한적으로 기억하는 단기기억과 관계가 있다고 알려져 있다 (Courtney, Petit, Maisog, Ungeleider, Haxby, 1998; Owen, Doyon, Petrides, & Evans, 1996). 또한 이 영역은 인지기능과 관계하는 모든 요소들을 연결해주는 데에 중심

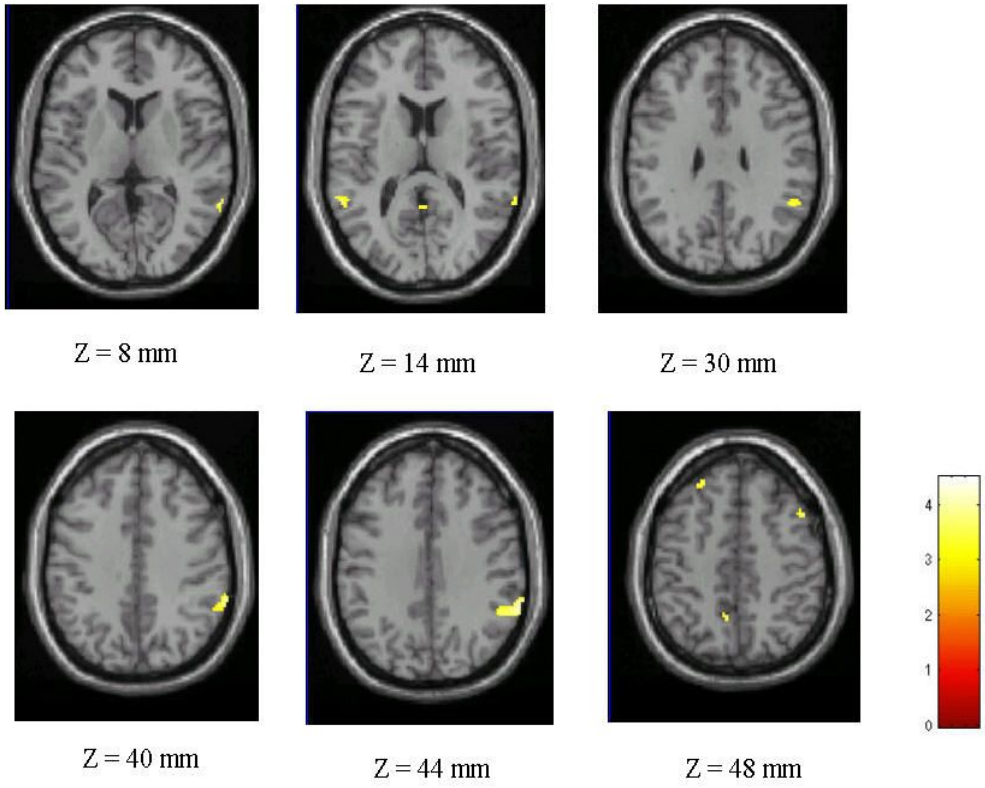

그림 1 한글과 영어를 직접 비교하였을 경우 나타난 활성화 영역을 해부학적인 두뇌와 직접 매핑한 그림. Axial 방향으로 얻은 해부학적 이미지를 기능영상과 결합하여 보여준 그림 역치 (threshold는 $p < 0.001$, uncorrected 이다.

적이고 핵심적인 역할을 하는 것과 관계가 있다고 한다(D'Esposito et al., 1995). 본 연구의 과제는 이러한 단기기억과는 관련이 없지만, 본 실험의 피험자들이 생물과 무생물이라는 의미를 단어를 보고 결정해야 하였기 때문에, 피험자들은 영어단어를 보고 그의 음성적인 정보를 기초로 하여 의미론적인 결정을 하여야 했다. 이러한 두 가지 기능, 즉 음성적인 정보를 기초로 하여 의미론적인 결정을 이끌어내는 연결을 이 부분이 담당한 것으로 생각된다. 일반적으로 단어의 인지는 크게 형태, 음운, 의미의 세 가지 경로를 통하여 이루어진다고 알려져 있다. 먼저, 단어의 형태(orthography)를 본 다음 그의 음성적인 정보, 즉, 음운(phonology)을 통하여 그 단어의 의미적인(semantics) 것을 판단하는 과정을 거친다고 한다. 전두엽 부분의 활성화를 의미처리와 관련지어 설명하는 연구들이 많이 있다(Poldrack et al., 1999). 본 연구에서는 의미적인 처리와 더불어 음성적인 정보와 의미적인 처리의 연결선상에서 이 부분의 활성화를 설명 할 수 있다. 또 하나 흥미있는 결과는 이 부분의 활성화가 영어단어의 인지에서 강하게 나타났다는 점이다. 이 결과는, 피험자들이 한국어를 모국어로 사용하는

사람들이었기 때문에 쉬운 영어단어라고 하더라도 모국어와 다르기 때문에 이러한 차이가 생긴 것으로 가정 할 수 있다.

영어와의 기저선 비교에서 두정엽 부분 중 BA 7의 활성화 및 양 반구에서 공통적으로 시각 영역(visual system, BA19, BA37)의 활성화가 나타났다는 것은 흥미 있는 결과라고 할 수 있다. 선행 연구들에 의하면, BA 7의 활성화와 시각영역의 동시 활성화는 주의집중을 할 수 있는 요소의 배치 혹은 사물의 시각 공간적 정보에 대한 분석과 관계 있다고 알려져 있다(Lepage, Ghaffar, Nyberg, Tulving, 2000). 한 단계 논리를 비약하자면, 이 영역의 동시활성화는 단어의 형태를 음성적으로 분석하는 것과 밀접한 관계가 있는 것 같다. 즉, 영어단어를 먼저 보고 그것의 형태적인 것과 음성적인 것을 연결하기 위해 활성화된 영역이라 할 수 있을 것 같다. 이러한 과정은 그 다음 과정으로 나타나는 의미적인 판단의 근간을 마련하여 준다고 할 수 있을 것이다. 이러한 활성화 양상은 (두정엽과 시각영역의 동시활성화), 영어단어와 기저선을 비교한 경우뿐 아니라 한글단어와 기저선을 비교한 경우에도 나타나는데, 이 결과는 형태와 음운을 연결하는 과정과 관련이 있는 것으로 생각된다.

한글단어의 인지와 기저선을 비교한 경우에서와 한글단어를 영어와 직접 비교한 경우의 활성화 영역을 관찰하였을 때, 공통적으로 관찰되는 활성화 부분이 전두엽 중 내측전두회(medial frontal cortex, BA 8)이었다. 이 부분의 활성화는 기존의 연구들에서는 시각적인 것과 그와 연결되는 안구운동체계(oculomotor system)와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Fox, Fox, Rachle, Burde, 1985; Shanton, Deng, Goldberg, McMullen, 1989). 원숭이들을 대상으로 한 뇌손상 연구에서 내측전두회 영역은 특수한 시각자극의 선택과 밀접한 관계가 있다고 보고되었다(Halsband & Passingham, 1982). 이 부위에 손상을 입은 원숭이를 대상으로 시각자극을 이용하여 실험을 한 결과, 특수한 시각자극에 대해 제대로 반응하지 못하였다. 이를 바탕으로 본다면, 특수한 또는 복잡한 시각자극에 대한 인지 및 그에 상응하는 반응과 이 부분이 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다. 주목해야 할 점은, 이 영역이 영어 단어의 인지에서는 나타나지 않고, 한글 단어의 인지에서만 나타났다는 것이다. 더구나 한글단어와 영어단어를 직접적으로 비교하였을 경우, 이 부분의 활성화가 두드러지게 나타났다. 이 것은, 이 영역이 특수한 시각자극, 즉, 한글 형태(surface form of Hangul)의 인지와 밀접한 관계가 있다는 것을 시사한다. 즉, 한글형태의 특수성이 이 영역의 활성화에 크게 작용했다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 후측대상회(posterior cingulate, BA 30) 영역의 활성화가 나타났다. 이 영역의 활성화 역시 한글단어의 인지에서만 나타났다. 이 영역의 역할에 대해서는 많이 알려져 있지 않지만, 선행연구에서는 이 영역이 주의 집중(visual attention)과 관련이 있다고 설명하고 있다(Small et al., 2003). 본 연구에서 이 영역의 활성화가 나타난 것은 제시된 시각자극에 대한 피험자의 주의집중 효과가 있는 것으로 보는데, 한글 형태가 가지는 시각적인 친숙성과 관련이 있다고 추측해 본다.

한글과 영어의 직접 비교에서 나타난 또 다른 활성화 영역은 두정엽 부분(BA 40)과 측두엽 중 상측두회(superior temporal lobe)이었다. 선행연구에서 두정엽 중 BA 40 영역은 음성적인 처리와 깊은 관계가 있다고 보고되었다(Simos et al., 2000). 상측두회의 활성화도 이와 비슷한

맥락으로 해석 할 수 있는데, 두정엽이 음성적인 처리 전반과 관련이 있다고 한다면, 측두엽 부분의 활성화는 좀더 구체적인 음성의 분석과 관계가 있다고 할 것이다(Booth et al, 2002). 이러한 두 영역의 활성화는 한글단어의 인지에서 형태와 더불어 음성적인 정보처리와 밀접한 관계가 있다고 해석할 수 있다.

한글인지에 관한 뇌영상 연구는 아직 그 수가 많지 않지만, 영어단어의 인지는 이미 많은 연구가 진행되어 왔기에 선행연구들과 비교가 가능하다(이승복, 연은경, 윤효운, 2004; Kim, Kim, Lee, Lee, Kwon, 2002). 본 연구의 결과는 한국인 피험자들의 한글단어와 영어단어의 인지 패턴이 많은 부분에서 유사하지만 상이한 부분도 존재한다는 것을 시사한다. 물론, 역치(threshold)의 기준에 따라 활성화부위의 증감이 있겠지만, 후두엽 및 전두엽 부분의 활성화는 알파벳 문자 인지에서 일관되게 나타나고 있다. 한글단어의 인지에서 나타난 흥미 있는 결과는, 한글단어와 기저선을 비교했을 경우 보여 지는 활성화 부위에서 전두엽 부분의 활성화가 약하다는 것이다. 이 결과로부터 유추 할 수 있는 것은, 한글이 본 실험 피험자들의 모국어였고, 제시된 단어들이 생물, 무생물을 지칭하는 아주 쉬운 단어이므로 깊은 수준의 의미적 언어처리 과정이 필요하지 않기 때문으로 여겨진다. 이러한 유추를 가능하게 하는 것은 선행연구에서 아주 쉬운 그림들을 제시하고 그의 의미를 판단하라고 할 경우 전두엽 부분의 활성화는 미약하였고, 후두엽등의 활성화가 크게 보고되었다. 이를 Sevostianov 등(2002)은 깊은 수준에서의 의미적 처리과정이 이루어지지 않았다고 해석하였다. 비록 실험의 성격이나 목적, 방법 등은 본 연구와 다르지만, 본 연구 결과에서 나타난 전두엽 부분의 활성화에 대한 해석을 같은 맥락에서 할 수 있을 것이다.

본 연구에서 가장 의미 있게 바라보아야 할 부분은 한글과 영어단어를 직접적으로 비교한 경우, 한글의 활성화가 영어보다 우월한 부위의 활성화, 전두엽 부분 중 BA 8 영역이 가장 큰 활성화(peak activation)를 나타내었다는 것이다. 한글단어를 기저선과 비교하였을 경우에도, 이 영역의 활성화가 나타나지만 영어단어와 비교하였을 경우 통계적인 값인 z-value가 많이 상승하였다는 것은 그만큼 두개의 문자체계를 인지할 때, 이 영역에서 큰 차이가 나타났다고 해석할 수 있을 것 같다. Halsband & Passingham (1982)의 연구결과에서 유추해 보면, 이 영역은 특별한 시각자극, 즉 복잡한 형태나 특수한 형태를 가진 시각자극의 처리와 관련이 있다고 볼 수 있다. 본 연구에서도 BA 8영역의 활성화가 나타났다. 이 결과는, Halsband & Passingham이 설명 한 것처럼, 한글이 가진 특수한 형태를 시각적으로 처리하는 것과 관련이 있다고 볼 수 있다. 원숭이에 대한 뇌손상연구결과에서도 나타난 것처럼, 이 영역의 활성화는 한글이 가지는 특수한 형태에 대한 시각적인 처리와 밀접한 관련이 있다고 해석할 수 있을 것이다. 아직, 한글단어를 사용한 뇌영상연구는 그 수가 많지 않다. 향후 한국인을 대상으로 한 한글인지에 대한 뇌영상연구, 뇌파 혹은 Event related potential 연구들이 보다 많이 이루어진다면, 한글단어 인지와 대뇌활성화의 관계가 보다 명확하게 될 것으로 기대한다.

참고문헌

이승복, 연은경, 윤효운 (2004). 한국어-영어 이중언

어 문장 의미처리의 신경적 기초: 기능적 자기공명 영상 연구, 한국심리학회지: 실험, 16(1), 61-75.

Bookheimer, S. (2002). Functional MRI of language: New approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience, 25*, 151-88.

Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., Mesulam, M. M. (2002). Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks. *NeuroImage, 16*, 7-22.

Chee, M. L., Weekes, B., Lee, K. M., Soon, C. S., Schreiber, A., Hoon, J. J., Chee, M. (2000). Overlap and dissociation of semantic processing of Chinese characters, English words, and pictures: evident from fMRI. *NeuroImage*, *12*, 392-403.

Courtney, S. M., Petit, L, Maisog, J. M., Ungeleider, L. G., Haxby, J. V. (1998). An area specialized for spatial working memory in human frontal cortex. *Science*, *279*, 1347-1351.

D'Esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S., Grossham, M. (1995). The neural basis of the central executive systems of working memory. *Nature, 378*, 279-281.

Fox, P. T., Fox, J. M., Rachle, M. E., Burde, R. M. (1985). The role of cerebral cortex in the generation of voluntary saccades: a positron emission tomography study. *Journal of Neurophysiology, 54*, 348-369.

Halsband, U. & Passingham, R. (1982). The role of premotor and parietal cortex in the direction of action. *Brain Research, 240*, 368-372.

Kim, J. J., Kim, M. S., Lee, J. S., Lee, M. C., Kwon, J. S. (2002). Dissociation of working memory processing associated with native and second languages: PET investigation. *NeuroImage*, *15*, 879-891.

Lepage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L., Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval mode. *Proceedings of National Academy of Science USA, 97*, 506-511.

Owen, A. M., Doyon, J., Petrides, M., Evans, A. C. (1996). Planning and spatial-working memory: A positron emission tomography study in humans. *European Journal of Neuroscience, 8*, 353-364.

Poldrack, R. A., Wagner, A. D., Prull, M. W., Desmond, J. E., Glover, G. H., Gabrielli, J. D. E. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *NeuroImage, 10*, 15-35.

Previc, F. H. (1991). A general theory concerning the prenatal origins of cerebral lateralization. *Psychological Review, 98*, 299-334.

Sevostianov, A., Horwitz, B., Nechaev, V., Williams, R., Fromm, S., Braun, A. R. (2002). fMRI study comparing names versus pictures of objects. *Human Brain Mapping, 16*, 168-175.

Shanton, G. B., Deng, S. Y., Goldberg, M. E., McMullen, N. T. (1989). Cytoarchitectural characteristics of the frontal eye fields in the macaque monkeys. *Journal of Comparative Neurology, 282*, 415-427.

Simos, P. G., Breier, J. I., Wheless, J. W., Maggio, W. W., Castillo, E. M., Papanicolaou, A. C. (2000). Brain mechanisms for reading: the role of the superior temporal gyrus in word and pseudowords naming. *NeuroReport, 11*, 2442-2447.

Small, D. M., Gitelman, D. R., Gregory, M. D., Nobre, A. C., Parrish, T. B., Mesulam, M.- M. (2003). The posterior cingulate and medial prefrontal cortex mediate the anticipatory allocation of spatial attention. *NeuroImage, 18*, 633-641.

Tan, L. H., Spinks, J. A., Gao, J.- H., Liu, H.- L., Perfetti, C. A., Xiong, J., Stofer K. A., Pu, Y., Liu, Y., Fox, P. T. (2000). Brain activation in the processing of Chinese characters and words: a functional MRI study. *Human Brain Mapping, 10* , 16-27.

Tan, L. H., Feng, C.- M., Fox, P. T., Gao, J.- H. (2001). An fMRI study with written chinese. *Neuroreport, 12* , 83-88.

Talairach, J. & Tournoux, P. (1988). *Co-Planar stereotaxic atlas of the human brain* . New York: Thieme.

Tzeng, O. J. L., Hung, D. L., Cotton, B., Wang, W. S.- Y. (1979). Visual lateralisation effect in reading chinese characters. *Nature, 282*, 499-501.

1 차원고접수: 2004. 8. 6
최종게재결정 : 2004. 9. 15

KCI

한국심리학회지 : 실험
The Korean Journal of Experimental Psychology
2004, Vol. 16, No. 3, 353 - 364

<OBSERVATION>

Functional MRI Study on perceptual processing of Korean words, Hangul by Korean native speakers

Hyo Woon Yoon
fMRI lab of BSRC, KAIST

Kyung Duk Cho
Dept. of Psychology, Paichai, University

Even though the Korean words, Hangul, are characterized as phonemes like other alphabetic languages, their shape resembles more morphemes like Chinese characters. The main purpose of the study is to explore the neural mechanisms of reading Hangul and alphabetic (english) words by Korean native speaker using functional magnetic resonance imaging technique. In the results of our study, the activation pattern of reading english words looked similar to those with other previous studies. The activation pattern of reading Hangul is underlying similar mechanisms with those of english words at the general level. The significanlty different activation was indicated in the BA 8 of the frontal lobe. This area is known to be relevant with nonverbal higher order control or speicific visuospatial analysis and we suggest that the recognition of specific surface form of Hangul might be related with this activation.

Keywords: Hangul, fMRI, Attention, BA 8 area