

한글 문자와 그림인지에 관한 자기공명 영상 연구

윤효운 조경덕
KAIST fMRI연구실, 배재대학교 심리철학과
hwyoon@fmri.re.kr

Brain Activation of reading Hangul and recognizing Pictures

HyoWoon Yoon*, Kyung-Duk Cho**
fMRI lab. KAIST*,
Dept. of Psychology, Paichai University**

요 약

한글은 알파벳 문자처럼 소리를 바탕으로 한 표음문자이지만, 각 글자의 형태는 표의문자인 한자와 유사한 시각적인 효과를 제공한다. 본 연구에서는 자기공명 영상법을 이용하여 한국인이 한글문자와 그림을 인지할 경우 나타나는 신경망적 특성을 알아보았다. 그 결과, 한글과 그림 자극에 대하여 양반구 모두에서 후측두엽 부위의 활성화가 나타났다. 그러나, 전두엽과 측두엽 부분의 활성화는 오직 한글자극의 경우에만 관찰되었다. 좌반구 중전두엽의 활성화는 음성 및 의미론적 처리와 관련되어 있다고 볼 수 있으며, 우반구 anterior cingulate 활성화는 언어 및 소리의 형성과 관계가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 우반구 medial frontal 영역인 BA 8의 활성화가 관찰되었다. 이 영역은 시각적으로 고차적인 비음성적 자극을 통제하거나 그와 유사한 시각공간적인 정보의 분석과 관련이 있다고 알려져 있다. 본 연구의 결과는 한글의 특성적인 형태가 특정 영역을 활성화시킨 것을 시사한다.

1. 서 론

시각적으로 제시된 단어를 읽는 과정은 많은 신경계가 동시에 하모니를 형성하는 것이라고 한다. 또한 읽는다는 것은 학습의 중요한 과제 중의 하나이기 때문에 신경과학자들을 비롯하여 심리학자들이 읽기의 메커니즘에 관한 연구를 다양하게 실시하고 있다. 최근에는 기능 자기공명영상법(functional magnetic resonance imaging : fMRI)이나 양전자단층촬영(Positron Emission Tomography : PET) 등이 단어를 인지하거나 그의 읽기 과정에 대한 신경학적인 메커니즘을 알아보는데 널리 사용되고 있다. 단어 읽기에 대한 선행연구들에서는 [1,2], 넓은 부위에 고루 퍼져 있는 두뇌 네트워크 (좌반구 전두엽, 측두엽, 후두엽 등을 포함한)가 관련되어 있다고 설명하고 있다. 넓은 의미로 본다면, 읽기 과정은 먼저 형태를 인지하고, 음운을 분석한 이후, 의미론적 처리를 하는 세 가지 과정으로 나누어진다고 볼 수 있다[3].

단어재인에 대한 연구에서 논점 중의 하나는, 읽기 과정 중에서 가장 먼저 이루어지는 형태에 대한 처리가 어떻게 이루어지는지, 또한 그와 관련된 두뇌영역의 활

성화는 어떻게 이루어지는지를 이해하는 것이다. 따라서 한글과 한자, 카나와 한자 표기형태를 가진 한국어와 일본어는 단어의 형태에 의한 처리과정을 규명하는데 적합한 자극어라고 할 수 있다. 알파벳을 바탕으로 한 문자 시스템은 직선적인 형태를 가진 상징물들의 집합체인 반면, 한자는 사각형 모양의 형태를 지닌다. 선행연구들에서는 이러한 형태적인 차이에 기인하여 한자와 알파벳 단어의 인지에서 나타나는 상이한 반구처리 우세성을 보고하였다. 그러나 최근 자기공명 영상법과 같은 첨단 기술들을 이용한 실험결과들은 그와는 다른 결론을 이끌어 내고 있다. 즉 언어적인 측면에서의 한자를 강조하면서, 한자의 인지가 그림자극의 인지보다 오히려 알파벳의 인지에 가깝다는 논리를 펴고 있다. 그러나 한자의 인지는 알파벳의 인지와는 상이한 양상을 나타내고 있다(예를 들어 좌반구 중전두엽인 BA9의 활성화).

한글은 문자의 형태적인 면에서 독특한 특성을 가지고 있다. 한글은 영어나 독일어와 같이 표음문자로 정의된다. 그러나 한글 글자 하나의 형태는 비선형이다. 이러한 형태적인 특성은 시각적으로 한글을 알파벳보다

는 한자와 더 유사하게 만든다. 또한 한글 시스템은 알파벳처럼 하나의 요소를 순서대로 나열하는 것이 아니라 왼쪽에서 오른쪽, 아래에서 위라는 순서를 가지고 함께 복합되어 글자 하나를 형성한다. 한글 단어구성에 있어서는 약70% 정도는 한자에서부터 온 단어들이고, 이 단어들은 한자 자체로 표기되기도 하고 한글로 표기되기도 한다.

본 연구에서는 한글 읽기의 특성을 기능 자기공명 영상법을 이용하여 조사하였다. 한글 단어 인지와의 비교를 위하여 동일한 의미를 지닌 그림을 자극으로 추가하였다. 그림을 자극으로 사용한 이유는, 영어단어를 사용하였을 경우 나타나는 제2외국어 효과를 줄이고자 함이었다. 또한 본 연구에 참여하는 피험자들의 한자에 대한 친숙도가 낮아 영어와 한자의 읽기를 한글과 직접 비교하기 어려웠기 때문이다.

2. 방 법

피험자 : 7명의 남자대학생과 5명의 여자 대학생이 실험에 참가하였다(평균 연령 : 22세, 표준편차 : 1.5세). 피험자들은 모든 오른손잡이였고, 이전이나 현재 어떠한 신경정신과적 질병을 앓은 적이 없고 정기적으로 복용하는 약물도 없었다.

실험자극 : 본 실험의 자극으로 채택된 한글 자극은 모두 명사들이며 특히 명확한 의미를 가지는 사물과 연관된 명사들이었다. 예를 든다면, 일반적으로 쓰이는 자극들인 동물의 이름이나 간단한 사물의 이름들이었다. 개나 고양이등과 같은 동물을 지칭하거나 집, 자동차등과 같은 사물을 지칭하는 구체적인 명사들이 사용되었다. 동일한 의미를 가진 그림들도 실험자극으로 사용되었다.

실험절차 : 실험에 사용된 패러다임 혹은 실험 디자인은 전형적으로 fMRI 실험에 사용되는 블록 디자인, box car 디자인, ABAB 패러다임이라고 표현되는 디자인으로 진행되었다. 한 개의 한글 단어가 자극으로 2초 동안 제시되고 그 이후 1초 동안 검은 화면이 제시되는데 이러한 과정이 여덟 번 반복되고 제시되는 여덟 개의 한글단어는 서로 다른 단어들이었다. 이와 같은 과정을 하나의 블록이라고 부르는데 소요된 전체시간은 24초였다. 실험전체에서 한글단어를 제시하는 블록이 4개였고 영어단어를 제시하는 블록도 4개였다. 블록의 제시순서는 무작위로 행해졌고 블록과 블록 사이에는 baseline이라고 하는 통제 가능한 조건들이 주어졌다. 2

초 동안 응시점으로 십자가가 보이고 1초 동안 검은 화면이 제시되었다. 한 블록 내에 존재하는 자극의 숫자는 8개였고 4번 반복되었으므로 전체 실험 중에서 사용된 개별 자극의 숫자는 32개였다. 피험자들은 실험이 시작되기 전 이러한 내용들에 대한 정보를 제시받았다. 피험자에게는 응답을 할 수 있는 두 개의 button이 주어졌다. 만약 제시되는 한글 혹은 영어단어가 생물체를 지칭하면 오른쪽 button을 누르고 무생물을 지칭하면 왼쪽 button을 누르라고 지시하였다. 최대한 생각하지 않고 순간적인 반응을 하라는 지시가 함께 주어졌다.

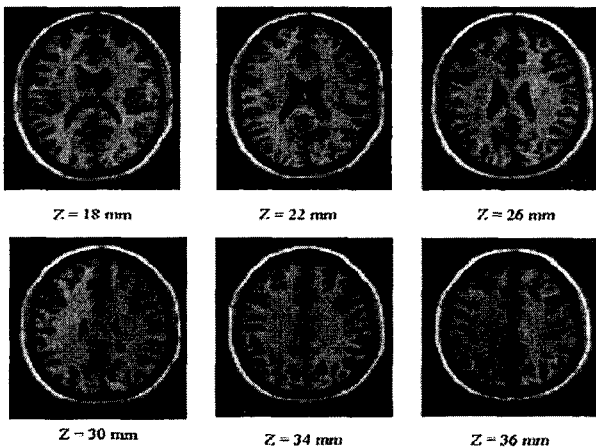
전체 실험 데이터는 3테슬라 세기를 가진 MR 기기(Oxford magnet, Varian console, 국내업체 ISOL 제작)를 통해 얻어졌다. Echo planar image sequence (EPI)가 사용되었다. 영상 슬라이스 각각의 두께는 4 mm이었고 그 사이의 간격은 주어지지 않았다. 기술적인 데이터는 다음과 같다. TR=3 sec, TE=35 ms, flip angle=80, Field of View=220 x 220 mm, acquisition matrix=64 x 64. 본 연구에서는 30장의 axial 방향(머리 위에서 밑으로의)의 슬라이스가 얻어졌다. 얻어진 데이터는 SPM99(Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)라는 소프트웨어를 이용하여 분석되었다. 얻어진 데이터들은 일단 motion correction을 거치게 되는데, 이 과정에서는 첫 번째 블록에서 얻어졌던 데이터를 기준으로 교정이 이루어지게 된다. 그 이후 co-registration이라는 과정을 거치게 되는데 functional data를 얻기 전에 촬영되었던 해부학적 영상과 functional image의 mean값들을 같이 기록(registration)하는 과정이다. 표준 뇌와 좌표 등을 일치시켜 주는 normalization과정도 거치게 되는데 이 과정을 통해 우리는 functional image의 해부학적인 위치를 알 수가 있게 된다. 마지막으로 얻어진 영상데이터들은 smoothing이라 불리는 과정을 거치게 되는데 이것은 수학적으로 full-width half-maximum(FWHM) gaussian filter (본 실험시 7 mm)를 거쳐서 이루어지게 된다. 분석에서 사용되는 모든 contrast들은 hemodynamic response function (HRF)에 특성화된 디자인 matrix로부터 정의되어 계산된 SOA(stimulus onset asynchrony)에 의해 결정된다. 또한 데이터들은 GLM (general linear model)을 거쳐 모든 voxel들이 고유의 값을 가지게 된다. 결과물로 얻어진 voxel들의 값은 서로 통계적으로 비교되어져서 활성화된 영역을 결정하게 된다. 그룹 분석에서 각 개인의 통계결과들은 random effect model을 통해 진행되었다. 통계적 계산에 사용된 contrast는 각각의 조건들에 대해 simple t-test를 이용하여 generate

되었다. 일반적으로 이에 사용되는 통계적인 방법은 t-test이다. 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 baseline과의 비교에서 사용되었다.

3. 결 과

한글단어에 대한 평균 반응시간은 1.01초 (표준편차: 325ms)였으며 그림의 경우는 0.97초 (표준편차: 250ms)였다. 쌍방향 t-test를 이용하여 두 집단의 차이를 분석한 결과 차이가 나타나지 않았다($p = 0.061$).

영상 결과에서 한글과 baseline을 비교한 경우, 양반구 fusiform gyrus(BA 19/37)의 활성화가 관찰되었다. 그와 더불어 우반구 medial frontal gyrus(BA 8)와 좌반구 mid frontal area(BA 46)의 활성화가 나타났다. 그림과 baseline을 비교한 경우에도 비슷한 활성화를 볼 수 있었는데, BA 19 혹은 37 영역에서 양 반구 모두의 활성화가 관찰되었다.



[그림 1] 한글과 그림을 직접적으로 비교하였을 경우 나타난 활성화 패턴

한글과 그림을 직접적으로 비교하였을 경우 나타난 활성화 경향을 보면, 좌반구 중전두엽 부분 (BA 6, Tal [x,y,z] = -12 -8 58; Z = 5.12, BA 9 [Tal, x,y,z] = -12 -2 52; Z = 4.97), 좌반구 anterior cingulate (BA 32, Tal [x,y,z] = -18 32 18; Z = 4.94), 우반구 posterior cingulate gyrus (BA 23, Tal [x,y,z] = 6 -30 20; Z = 5.00), 우반구 superior temporal cortex (BA 29, Tal [x,y,z] = 42 -32 16; Z = 4.88), 그리고 우반구 medial frontal gyrus (BA 8, Tal [x,y,z] = 16 32 38; Z = 4.78) 등이었다. 그와는 달리 그림과 한글을 비교하

였을 경우 양반구의 fusiform gyrus에서 활성화가 나타났다.

4. 논 의

반응시간에서는 한글 혹은 그림을 인지에서 차이가 나타나지 않았다. 이 결과는, 두 가지 범주를 인지하는데 있어서, 친숙도에서는 차이가 없다는 반증이라고 할 수 있다. 영상 데이터를 보면, 그림을 baseline과 비교하거나 한글과 직접적으로 비교할 경우 양반구 fusiform gyrus의 활성화가 관찰되었다. 이러한 결과는 그림인지에서 visual ventral pathway를 주장하는 선행 연구들과 일치하는 것이다[ref]. 이러한 활성화 과정에서 흥미 있는 결과는 후두엽 이외 부분의 활성화를 볼 수 없었다는 것이다. 이 것은 본 실험의 과제가 생물과 무생물을 결정하는 것이어서 피험자들에게 너무 용이하였기 때문에, 모든 자극에 대한 인지가 하위 단계인 perceptual level에서 이루어졌고, 의미론적인 처리가 이루어졌다고 할 수는 있겠지만, 그러한 처리가 전두엽의 활성화를 관찰할 수 있을 정도로 확연하게 이루어지지 않은 것 같다.

한글과 그림을 직접 비교한 경우나 baseline과의 비교에서의 활성화 경향을 보면, 좌반구 중전두엽 부분(BA 46, 9, 6)의 활성화를 관찰할 수 있었다. 이 영역은 선행 연구들에 의하면 [4,5] 아주 짧은 시간 안에 이루어지는 언어, 공간적인 작업기억과 관계가 있는데, 이를 더 확대 해석한다면, 이 영역은 작업기억과 더불어 여타 다른 인지적 resource를 coordinate시켜주는 역할을 한다고 말할 수 있다[6]. 비록 본 실험에서는 작업기억에 관한 과제는 수행되지 않았지만 한글 재인 과정에서 의미론적인 음성적인 처리가 같이 발생하였고, 이 영역은 활성화는 이 두 가지 인지기능을 coordinate시켜주는 역할을 했다고 말할 수 있을 것 같다. 한글 재인 과정에서 나타난 주목할 만한 활성화 영역은 우반구 전두엽 부분 중 medial에 위치한 BA 8이었다. 이 영역은 해부학적이거나 생리학적으로 시각 및 그와 관련된 oculomotor 시스템과 연관된 frontal eye field와 가까이 놓여져 있다[7]. 이 영역의 손상은(원숭이 실험등을 통해서 입증된) 시각적으로 고차적인 자극을 통제하는 기능을 상실하는 것으로 알려져 있다[8]. 이러한 결과를 종합해 보면 이 영역의 활성화는 한글 재인에서 나타나는 한글의 시각, 공간적인 분석과 관련이 있을 것으로 추측된다. 또한 posterior cingulate이나 right superior temporal 영역의 활성화도 볼 수 있는데, 이 것은 시각적인 처리와 그에 동반되는 음성적인 처리의 network이라고 여겨진

다[9,10]. anterior cingulate 영역의 활성화는 생물, 무생물을 결정하는 과정을 통제하는 것과 연관되어서 이루어졌다고 여겨진다[11].

5. 참고문헌

- [1] Price, C.J. (2000). The anatomy of language : contributions from functional neuroimaging. *J Anat.* 3, 335-5
- [2] Demonet, J.E., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulus, J.N., Wise, R., Rascol, A., Frackowiak, R. (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain* 11, 51753 176
- [3] Fiez, J.A., Petersen, S.E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95, 914-9
- [4] 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 135
- [5] Owen, A.M., Doyon, J., Petrides, M., Evans, A.C. (1996). Planning and spatial-working memory : A positron emission tomography study in humans, *Eur. J. Neurosci.* 8, 353 36
- [6] D'Esposito, M., Detre, J.A., Alsop, D.C., Shin, R.K., Atlas, S., Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive systems of working memory. *Nature* 378, 279 28
- [7] Shanton, G.B., Deng, S.Y., Goldberg, M.E., McMullen, N.T. (1989). Cytoarchitectural characteristic of the frontal eye fields in macaque monkeys. *J. Comp. Neurol.* 282, 415 42
- [8] Petrides, M., Alivisatos, B., Evans, A.C., Meyer, E. (1993). Dissociation of human mid-dorsolateral frontal cortex in memory processing. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 90, 873 87
- [9] Small, D.M., Gitelmann, 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, 633-64
- [10] Zatorre, R.J., Evans, A.C., Meyer, E. (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science* 256, 846-84
- [11] Carter, C.S., Macdonald, A.M., Botvinick, M., Ross, L.L., Stenger, V.A., Noll, D., Cohen, J.D. (2000). Parsing executive processes : strategic vs. evaluative functions of the anterior cingulate cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 1944-194