

# fMRI를 이용하여 지적능력에 따른 뇌 신경망 규명 : 언어능력 vs 공간지각능력

이경화, 박세훈\*, 김연희\*, 손진훈  
충남대학교 심리학과  
\*전북대학교 재활의학과

## Brain neural networks based on individual's verbal and visuospatial abilities

Kyung-Hwa Lee, Se-Hoon Park\*, Yun-Hee Kim\*, Jin-Hun Sohn  
Dept. of Psychology, Brain Research Institute, Chungnam National University  
\*Dept. of Rehabilitation Medicine, Research Institute of Clinical Medicine,  
Chonbuk National University College of Medicine

### Abstract

본 연구의 목적은 사람들이 언어과제와 공간지각과제를 수행하는 동안 활성화되는 뇌 영역의 차이를 규명하는 것이다. 428명의 대학생을 대상으로 집단 심리실험을 수행하여, fMRI 연구를 위한 실험참여자로 17명의 오른손잡이 여대생을 선정하였다. 17명 중 8명은 언어능력은 뛰어나지만 공간지각능력이 떨어지고, 나머지 9명은 언어능력은 빈약하지만, 공간지각능력이 우수한 사람들이었다. fMRI 실험에 사용된 패러다임에는 언어과제와 공간지각과제가 각각 8block으로 구성되었으며, 각 block은 동일한 과제 3문항을 포함하였다. fMRI 이미징은 1.5T Siemens Vision Scanner로 수집되었으며, Single-shot EPI 기법으로 (TR/TE : 3840/40ms, flip angle : 90, FOV : 220, 64x64 matrix) 이미지를 스캔하였다. 자료분석은 SPM-99 소프트웨어를 사용하였다. 감산(subtraction)분석결과, 언어능력이 뛰어난 집단에서는 양측 대상회(bilateral cingulate gyri)와 좌측 상두정엽(left superior parietal lobe)이 더 많이 활성화되었고, 언어능력이 떨어지는 집단에서는 양측 전두엽(both frontal lobes)이 더 많이 활성화되었다. 공간지각 능력이 우수한 집단은 양측 대상회(bilateral cingulate gyri)와 우측 상두정엽(right superior parietal lobe)에서 뇌 활성화가 더 많이 나타났고, 공간지각능력이 떨어지는 집단에서는 우측 시상(right thalamus)과 좌측 측후두엽(left temporooccipital)이 더 많이 활성화되었다. 언어능력이나 공간지각능력이 우수한 집단에서는 공통적으로 대상회(cingulate gyri)가 활성화되었다.

*Key words* : fMRI, 언어능력, 공간지각능력, 뇌 신경망

## 1. 서론

해부학적으로 두 반구는 서로 많이 닮았지만 기능적으로 결코 같지 않다는 증거들이 많이 제시되어 왔다. 대부분 오른손잡이의 경우 언어중추는 좌반구라는 것이 밝혀졌지만, 공간지각과 관련된 정보처리는 어느 반구에서 주로 담당하는지에 관해서는 아직도 연구자간에 논쟁의 대상이 되고 있다.

지금까지 대뇌 편재화 (lateralization)와 관련된 연구는 주로 반구손상이나 뇌량을 절단한 신경학적 손상을 가진 환자에게서 얻어졌다. 최근 들어, 기능적 뇌 자기 공명 영상 (functional Magnetic Resonance Imaging ; fMRI) 방법과 양전자 방출 단층촬영 (Positron Emission Tomography; PET) 등을 이용하는 기능적 뇌영상 기술이 개발됨에 따라 다양한 인지과정과 관련된 뇌 영역의 활성화도를 효과적이고 과학적으로 분석하여 가시화할 수 있게 되었다.

특히 뇌 자기 공명 영상화 (fMRI) 기법은 다른 기법들 (PET 등)보다 방사선 조사의 위험이 없고, 공간 및 시간적 해상력이 뛰어나므로 인간의 뇌 기능을 정확히 연구할 수 있는 방법이다. 최근에는 fMRI를 이용하여 지금까지 다른 이미징 기법들로 밝혀진 대뇌 기능이나 개인의 인지능력에 따른 뇌 활성화 영역에 관한 연구결과들을 재검증하는 연구들도 증가하고 있다.

언어와 공간지각에 관련된 뇌 활성화 영역에 대한 fMRI 연구에 따르면, 언어는 좌반구 우세이며 공간지각은 우반구에서 우세하게 나타나지만, 성별에 따른 차이가 있다고 보고하였다. 여성의 경우 공간지각과제를 수행하는 동안 우반구가 더 많이 활성화되었지만 남성의 경우 양측반구가 활성화되는 양상이 나타났다 (Gur et al., 2000). Vitouch 등은 (1997) SPT (Slow Potential Topography)를 사용하여 공간지각능력이 뛰어난 집단과 떨어지는 집단간에 대뇌 반구의 활성화 영역이 다르다는 결과를 보여주었다. 이 연구결과에 따르면, 공간지각능력이 떨어지는 집단은 우반구의 두

정엽 (parietal) 영역에서, 공간지각능력이 뛰어난 집단은 좌우반구의 후두엽 (occipital)과 후-두정엽 (occipito-parietal)에서 더 많이 활성화되었다.

지능검사(IQ test)를 받는 것과 같은 어려운 과제를 수행할 때 우수한 문제 해결능력을 가진 집단과 문제 해결능력이 뛰어나지 못한 집단의 뇌 영역에 대한 PET 연구를 수행하였다 (Duncan et al., 2000). Habib 등은 (2000) 학습과 기억 능력의 개인차에 대한 PET 연구를 수행한 결과, 기억능력의 개인차는 특정 뇌 회로에서의 신경활동 차이에 기인한다고 제안하였다.

본 연구에서는 심리집단실험을 실시하여 첫째, 언어능력과 공간능력을 신뢰롭게 평가하는 실험 과제를 선정하고, 둘째 언어능력과 공간지각능력에서 분명한 차이를 보이는 실험참여자들을 선별하고자 한다. 또한 fMRI 실험을 수행하여 첫째, 언어과제와 공간과제를 수행하는 동안 일어나는 뇌 활성화 영역을 밝히고, 둘째, 언어능력과 공간지각 능력에 따른 뇌 활성화 영역의 차이를 규명하고자 한다.

## 2. 실험 I : fMRI 실험 자극 및 실험 참여자 선정

### 2.1 실험참여자

심리학 개론을 수강하는 남녀 대학생 428명 (남 : 225명, 녀 : 203명)이 실험 자극 및 실험참여자 선정을 위한 집단 심리실험에 지원하였다.

### 2.2 질문지 문항 구성

지능진단검사와 적성검사에서 언어능력과 공간지각능력을 평가할 수 있는 문항을 각각 110문항과 90문항을 추출하였다. 언어능력을 측정하는 과제로는 언어유추검사와 언어관계검사가 포함되었으며, 공간지각능력을 측정하기 위해서 공간지각검사와 공간관계검사를 사용하였다. 언어과제와 공간지각과제 검사지는

문항과 문항 순서가 다른 두 가지 양식으로 구성하였다. 언어과제의 A와 B 양식은 각각 55문항, 공간지각과제 두 양식은 각각 45문항을 포함하였다.

### 2.3 실험절차

집단실험은 7 집단 (각 집단 50-70명)으로 분류하여 실시하였다. 실험에 대한 전반적인 설명과 실험절차를 5분간 설명한 후, 언어과제 (혹은 공간지각과제) 질문지와 답안지를 배포하였다. 실험참여자들은 언어과제에 대한 설명을 듣고 연습문제를 풀어본 후, 언어과제 55문항을 10분 동안 풀었다. 언어 과제가 끝나면, 공간지각과제 (혹은 언어과제)에 대한 설명이 있고 연습문제를 풀어본 후, 10분동안 공간 과제 45문항을 풀었다. 모든 실험참여자들은 Edinburgh Handedness 검사지에 자신의 '손잡이 우세성'을 평가하였다. 언어과제와 공간과제를 푸는 순서는 집단별로 역균동화(counterbalancing)시켰다.

### 2.4 실험결과

언어과제와 공간지각과제 수행성적을 토대로 1) 언어능력은 뛰어나지만 공간지각능력이 떨어지는 집단 ('언어상')과 공간지각능력이 우수하지만 언어능력이 떨어지는 집단 ('공간상')에 속하는 실험참여자들로 오른손잡이 여자대학생을 선정하였다. 표 1에 '언어상' 집단과 '공간상' 집단의 평균과 표준편차를 나타내었다. 두 집단의 언어점수와 공간점수간에는 유의미한 차이를 보여주었다.

표 1. 선정된 실험참여자의 과제 중앙경향치 (( )안은 표준편차)

집단 \ 점수	'언어상'집단	'공간상'집단
언어점수	35 (4.11)	20 (2.14)
공간점수	20 (3.46)	33 (3.65)

언어능력이 뛰어난 집단과 떨어지는 집단의 구분, 공간지각 능력이 우수한 집단과 떨어지

는 집단을 구분하기 위해 문항난이도를 고려하여 문항을 선정하였다. 언어과제와 공간지각과제의 문항난이도 분석을 통하여 2) 언어과제와 공간지각과제의 난이도에 따라 각 질문지 유형별(A/ B 양식)로 12문항씩 (쉬운 과제: 4문항, 중간난이도 과제: 4문항, 어려운 과제: 4문항)을 fMRI실험을 위하여 선정하였다.

## 3. 실험 II : fMRI 실험

### 3.1 실험참여자

심리실험에서 선정된 실험지원자 중 fMRI 실험에 참여하는 실험참여자들은 모두 17명이었으며 (언어상/공간상 = 8명, 언어하/공간상=9명), 뇌 손상 병력이 없는 오른손잡이 여자 대학생들이었다 (20-24세).

### 3.2 실험 과제

실험과제로는 심리실험에서 선정된 언어과제 24 문항과 공간과제 24문항을 사용하였다. 각 과제의 예는 그림 1에 제시하였다. 실험과제를 풀 때 실험참여자들은 정답에 해당하는 버튼을 누르고, 통제조건에서는 단지 화면에 나타나는 숫자 (1, 2, 3, 4 중의 하나)에 해당하는 버튼을 누르도록 지시 받았다.

모든 문항들은 난이도에 따라 제시되는 시간이 달랐다. 문항마다 주어지는 제한시간이 다르기 때문에 발생하는 문제점을 보완하기 위해 한 문항을 푸는 시간이 끝나기 전 2-3초에 화면 오른쪽 상단에 별표가 나타나도록 하였다.

심리실험에서 그전에 풀었던 문제에 대한 기억효과를 배제시키기 위하여 심리 실험에서 A양식의 문제를 풀었던 실험참여자들은 fMRI 실험에서 B양식을 풀고, 심리실험에서 B양식을 풀었던 사람들은 A양식을 풀도록 하였다. 따라서 모든 실험참여자는 언어과제 12문항과 공간지각과제 12문항을 풀었다.

Beam projector를 통해 언어/공간/통제 과제들이 화면에 제시가 되고, 실험참여자들의 눈으로부터 20cm앞에 놓여진, 기울어진 거울을 통해 제시된 화면을 보도록 하였다.

### 3.3 fMRI 실험 패러다임

fMRI 패러다임은 각 과제마다 8block으로 구성되었으며 (언어과제 : 4blocks×2 양식, 공간과제 : 4block×2 양식), 각 block에는 동일한 과제 3문항씩 할당되었다. 실험 패러다임은 SuperLab 2.0을 사용하여 제작하였다. fMRI 실험은 모두 2 회(run)으로 구성되어 있으며, 각 회에는 4 block이 포함되어 있다. 그림 1은 fMRI 실험 패러다임의 예를 보여주고 있다. 언어과제와 공간지각과제는 교대로 풀도록 제시되었다. 실험 과제를 푸는 순서는 실험 참여자마다 역균등화시켰으며, 이를 위해서 순서가 다른 8 종류의 패러다임을 구성하였다.

### 3.4 이비징 기법과 데이터 분석

이비징은 1.5T Siemens Vision scanner로 수행되었다. Single-shot EPI fMRI scan 기법 (TR/TE : 3840/40ms, flip angle : 90, FOV : 220, 64×64 matrix, slice thickness : 6mm)을 이용하여 20장의 슬라이스를 연속적으로 수집하였다. 각 회마다 통제와 과제쌍이 네 번 교대로 나타나며, 84장의 이미지를 수집하였다. T1-weighted 해부학적 이미지가 Flash sequence를 이용하여 얻어졌다.

fMRI 자료는 SPM 99소프트웨어 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)를 사용하여 motion-correction하고, coregister와 normalization 과정을 거쳐 최종적으로 분석되었다.

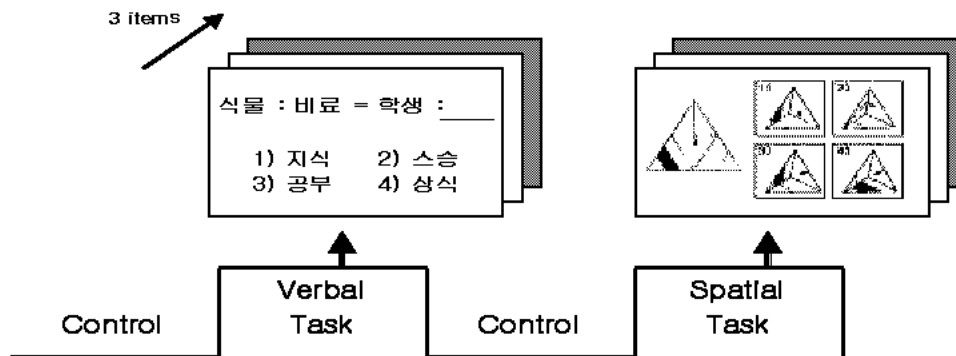


그림 1. 실험과제 및 패러다임

### 3.5 실험결과

#### 3.5.1 지적능력 평균 수행

fMRI 실험에서 언어과제와 공간지각과제를 풀 수행 정도는 문항 정답수로 확인할 수 있다. 표 2는 '언어상' 집단과 '공간상' 집단의 정답평균을 나타낸 것이다. 언어점수는 '언어상' 집단과 '공간상' 집단에서 통계적으로 유의미한 차이를 보였지만, 공간점수는 두 집단간에 유의미한 차이가 없었다.

표 2. fMRI 실험시 집단별 정답 평균 (평균오차)

집단 \ 점수	'언어상'집단	'공간상'집단
언어점수	4.2 (.33)	2.88 (.34)
공간점수	2.81 (.39)	3.69 (.28)

#### 3.5.2 뇌 활성화 영역

두 과제를 비교해 보면, 언어과제와 공간지각과제를 수행하는 동안 뇌 활성화 영역이 다르게 나타났다. 언어과제를 푸는 동안에는 양측 후두엽 시각 연합영역 (bilateral occipital visual association area), 좌측 상두정엽 (left superior parietal area), 양측 중간하전두엽 (좌반구 우세)(bilateral middle and inferior frontal lobe (left dominant)), 전대상회 (anterior cingulate gyrus)의 뇌 영역에서 많

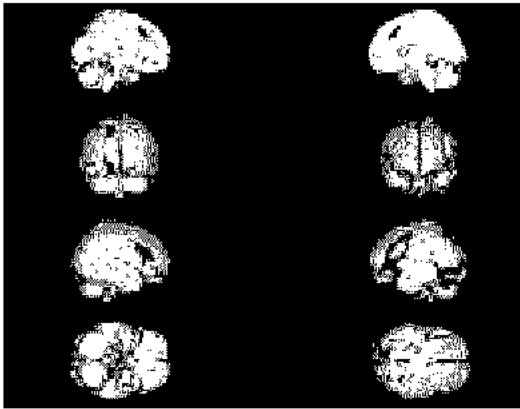


그림 2. 언어과제 수행시 뇌 활성화 영역

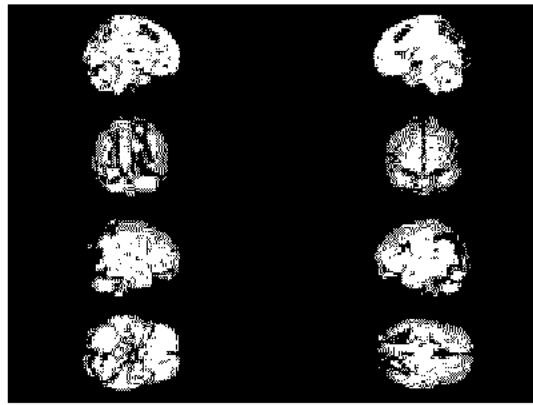


그림 3. 공간과제 수행시 뇌 활성화 영역

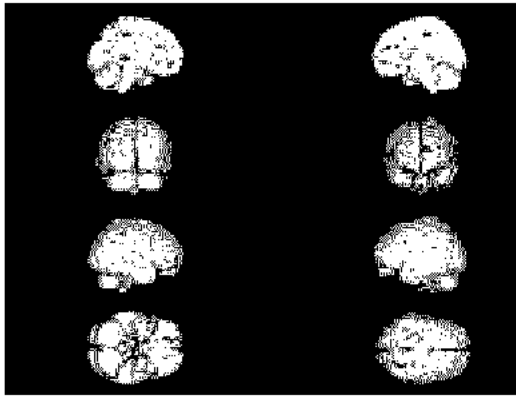


그림 4. 언어능력이 뛰어난 집단에서 더 많이 활성화되는 뇌 영역 (언어상-언어하)

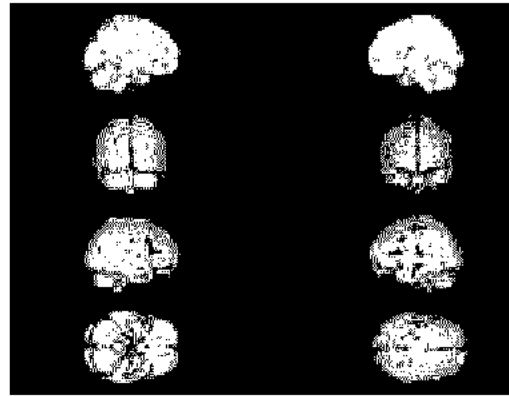


그림 5. 언어능력이 떨어지는 집단에서 더 많이 활성화되는 뇌 영역 (언어하-언어상)

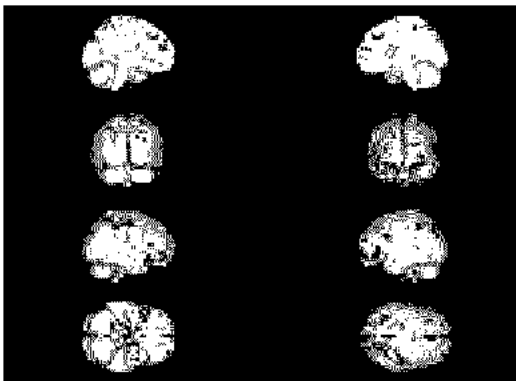


그림 6. 공간능력이 우수한 집단에서 더 많이 활성화되는 뇌영역 (공간상-공간하)

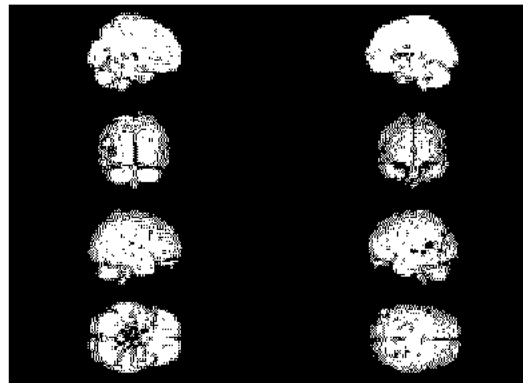


그림 7. 공간능력이 떨어지는 집단에서 더 많이 활성화되는 뇌 영역 (공간하-공간상)

이 활성화되었다 (그림 2). 공간지각과제를 풀 때는 우측 상두정엽 (right superior parietal lobe), 두정엽 내고랑 (intraparietal sulcus), 후두엽 시각 연합 영역 (occipital visual association area), 양측 대상회 (bilateral cingulate gyrus), 시상 (thalamus)이 활성화되었다 (그림 3).

언어능력이 뛰어난 집단에서는 언어과제를 푸는 동안 대상회 (cingulate gyri), 좌측 상두정엽 (left superior parietal area)이 더 많이 활성화되지만 (그림 5), 언어능력이 떨어지는 집단은 양측 전두엽 (both frontal lobe) 부위에서 더 많은 활성화가 나타났다 (그림 6).

공간지각 과제를 수행하는 동안에 공간능력이 우수한 집단에서는 우측 상두정엽 (right superior parietal lobe)과 대상회 (cingulate gyri) 영역이 더 많이 활성화되었고 (그림 7), 반면 시상 (thalamus)과 좌측-후두엽 (left temporooccipital area) 영역에서의 더 많은 활성화는 공간능력이 떨어지는 집단에서 나타났다 (그림 8).

#### 4. 결론 및 논의

본 연구의 결과는 언어 증추가 좌반구에 있고, 공간지각의 경우에는 우반구에는 주로 담당한다는 임상 연구나 다른 이미징 연구결과들과 일치한다. 특히 오른손잡이 여자들만 대상으로 한 연구 결과는 여성의 경우 언어과제를 수행하는 동안에 좌반구의 활성화가 더 많이 일어났고, 공간지각과제는 우반구를 더 많이 활성화시킨다는 fMRI를 이용한 Gur 등(2000)의 최근 연구와도 일치한다.

본 연구의 주된 관심사였던 언어능력과 공간지각 능력에 따른 뇌 활성화 영역도 다르게 나타났다. 언어능력이나 공간지각능력이 뛰어난 집단은 떨어지는 집단에 비교하여 대뇌 편재화가 더 두드러지게 나타났다. 또한 언어능력이나 공간지각능력이 뛰어난 사람들은 공통적으로 대상회가 보다 많이 활성화되는 양상을 보여주었다. 이는 언어와 공간 지각 정보처

리과정에서 대상회의 역할이 매우 중요한 것을 시사한다.

더 나아가 언어능력과 공간지각능력이 모두 뛰어난 집단과 둘 다 떨어지는 집단은 '언어상' 집단이나 '공간상' 집단과 비교하여, 뇌 신경망에서 어떤 차이를 보여 줄 것인가? 후속 연구에서 이 두 집단에 대한 fMRI 연구를 수행하여 언어능력과 공간지각능력에 따른 보다 분명한 뇌 신경망을 규명할 필요가 있다.

또한 본 연구에서 fMRI를 이용하여 이미징하기 위해 block design를 사용하였다는 제한점이 있었다. 문항난이도가 언어과제와 공간지각과제를 수행할 때 뇌 정보 처리과정에 어떻게 영향을 미치는가와 여러 문항에 대한 정답 반응과 오답 반응을 구분하여, 정답/오답 반응에 따라 뇌 신경망이 달라질 것인가 등에 대한 여러 문제들에 대한 해답을 규명하기 위해서는 event-related fMRI 연구를 수행해야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술훈부의 뇌과학연구개발사업의 (Brain Science and Engineering Research Program)연구비 지원을 받아 수행되었음.

#### 참고문헌

- 김연희. (2001). functional MRI를 이용한 뇌 기능 연구, 한국뇌학회지, 1(1) (제출중)
- Duncan, J., Seitz, R. J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H., Ahmed, A., Newell, F. N., & Emslie, H. (2000). A neural basis for general intelligence, *Science*, July 21:289, 457-460.
- Gleitman, H., Fridlund, A., & Reisberg a. (1995). *Basic psychology*, Norton.
- Gur, R.C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A., Turetsky, B.L., Detre, J.A., Gee, J., & Gur R.E. (2000). An fMRI study of sex difference in regional activation to a verbal and a

- spatial task, *Brain and Language*, 74, 157-170.
- Habib, R., McIntosh, A. R., & Tulving, E. (2000). Individual differences in the functional neuroanatomy of verbal discrimination learning revealed by positron emission tomography. *Acta Psychologica*, 105, 141-157.
- Kim, Y.-H., Kim, H.-G., Kim, S.-Y., Kim, H.-I. (2000). Cortical network activated by Korean Traditional Opera (Pansori) : A functional MRI study, *Proceeding of the 2000 spring conference of KOSES*, 113-119.
- Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M., & Leodolter U. (1997). Cortical activity of good and spatial test performs during spatial and verbal processing studied with slow potential topography, *International Journal of Psychophysiology*, 27, 183-199.