

# 인지 기능 수행 시 BOLD 신호 크기에 기반 한 영역별 대뇌 편측화

정순철<sup>#</sup>, 손진훈<sup>\*</sup>, 김익현<sup>\*\*</sup>, 이수열<sup>\*\*\*</sup>

## Cerebrum Lateralization by Area based on the Intensity of BOLD Signal during Cognitive Performance

Soon Cheol Chung<sup>#</sup>, Jin Hun Shon<sup>\*</sup>, Ik Hyeon Kim<sup>\*\*</sup> and Soo Yeol Lee<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

This study compared cerebral lateralization index based on the area of neural activation with that based on the intensity of neural activation. For this purpose, 8 right-handed male college students (the mean age - 23.5 years) and 10 right-handed male college students (the mean age - 25.1 years) participated respectively in researches on visuospatial and verbal task brain function. Functional brain images were taken from 3T MRI using the single-shot EPI method. The result of measuring cerebral lateralization index based on the area of neural activation suggested that the right hemisphere is dominant in visuospatial tasks and the left one is in verbal tasks. However, the dominance is not sufficient to locate the exact part of the brain for these tasks. When cerebral lateralization index was computed based on the intensity of neural activation, it was derived that the area of cerebral lateralization closely related to visuospatial tasks is the superior parietal lobe, and the area of cerebral lateralization closely related to verbal tasks is the inferior and middle frontal lobes. Thus, cerebral lateralization index by area based on the intensity of neural activation as proposed by this study can determine the dominance of the cerebrum by area, so is helpful for accurate and quantitative determination of cerebral lateralization.

**Key Words** : Cerebrum lateralization by area (영역별 대뇌 편측화), fMRI (뇌기능영상), BOLD (혈중산소포화도에 기인한 신경활성화 신호크기), visuospatial task (공간지각과제), verbal task (언어과제)

### 1. 서론

대뇌 편측화 (cerebrum lateralization), 대뇌 기능의 비대칭성 (functional asymmetry), 반구 우세성 (hemispheric dominance), 인지 기능의 편측화

(lateralization of cognitive functions)에 대한 비슷한 연구가 현재 다양하게 수행되고 있다. 일반적으로 오른손잡이의 경우 언어 중추는 좌반구라는 것이 밝혀졌고, 우반구는 복잡한 시각 또는 공간 정보 처리를 담당한다고 알려져 있다.<sup>1</sup> 우세 반구를 판별

접수일: 2004년 5월 12일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

# 교신저자: 건국대학교 의학공학부

E-mail scchung@kku.ac.kr Tel. (043) 840-3759

\* 충남대학교 심리학과

\*\* 건국대학교 의학공학부

\*\*\* 경희대학교 동서의학대학원

하는 것은 뇌 손상에 따른 증상 및 회복 기전 등을 이해하는데 도움을 주고 간질 수술을 비롯한 기능적 뇌 수술에 있어 절제 부위를 결정하는데 중요한 기준이 된다.<sup>2</sup> 근래까지 대뇌 편측화의 표준검사로 Wada<sup>3</sup> 검사가 시행되었으나, 결과가 때로는 불확실하고 검사 자체가 매우 침습적이라는 문제가 있기 때문에 뇌기능 영상 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) 기법을 이용한 검사 방법이 유용한 방법으로 인정을 받고 있다.<sup>4,5</sup>

즉, fMRI 기법을 이용하여 공간 지각, 언어 등 고도의 인지 기능에 대한 연구뿐만 아니라 이들의 대뇌 편측화에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다. 공간 지각과 관련된 대뇌 편측화에 관한 연구들은 공간지각과제의 유형, 난이도, 성별, 개인 능력에 따라 다양한 연구 결과들을 보고해 왔다. Fink<sup>6</sup> 등은 정상성인들이 수직선이나 수평선의 이등분 판단 (line bisection judgement) 과제와 같은 공간 지각 과제를 수행하는 동안 fMRI 기법을 이용하여 뇌 활성화를 측정하였고, 그 결과로 우측 두정 후두엽과 양측 상 후측 두정피질은 수평선에 비해 수직선 이등분 판단과제를 수행하는 동안 더 많이 활성화되었다고 보고하였다. 특히 후 두정엽의 우반구 우세성은 선의 방향과 관계없이 나타났다고 보고하였다. 뇌 손상 환자들을 대상으로 한 fMRI 연구에서도 이와 유사한 결과를 보고하였다.<sup>7</sup> 양측 두정엽이 손상된 후 환자들은 선 방향 판단 (judgement of line orientation) 과제를 잘 수행하지 못하였고, 특히 우측 두정엽이 손상된 경우 더 심하게 나타났다. Ng<sup>8</sup> 등은 심상회전 (mental rotation) 과제와 선 방향 판단 과제와 관련한 뇌 영역을 밝혔다. 선 방향 과제는 우측 전측 선조피질 (ventral extrastriate cortex)과, 심상회전과제는 양측 (우측이 우세한) 상 두정엽과 관련이 있었다. 과제 난이도와 성별에 따라 공간 지각과 관련된 뇌 편측화가 다르다는 연구 결과도 보고 되었다.<sup>9</sup> 공간 과제가 어려울수록 활성화되는 뇌 부위는 보다 편측화 되고 제한되는 양상을 보여주었다. 공간 지각에 의한 뇌 활성화는 우반구에서 우세하게 나타났지만, 성별에 따라 차이가 있었다. 여성의 경우, 공간 지각 과제를 푸는 동안 우반구가 더 많이 활성화되었지만, 남성의 경우에는 양측반구가 모두 활성화되었다. 개인 능력에 따라 대뇌의 편측화에도 차이가 난다는 연구 결과도 보고 되었다. Vitouch<sup>10</sup> 등은 서파 전위도 (Slow Potential Topography: SPT)를 이용하여 공간

지각 능력이 우수한 집단과 떨어지는 집단간에 대뇌 반구의 편측화가 차이가 있다는 결과를 보고하였다. 공간 지각 능력이 뛰어난 집단은 좌우 반구의 후두엽과 후두정엽에서 대칭적으로 활성화되었으나, 공간 지각 능력이 떨어지는 집단은 우반구의 두정엽 혹은 두정측두엽에서 활성화되어 비대칭적이었다고 보고하였다. 즉, 공간 지각 능력이 뛰어난 집단은 우측 반구의 우세성이 상대적으로 감소하여 양측 반구가 대칭적으로 활성화 되었다고 보고하였다. Chung<sup>11</sup> 등은 30%의 고농도 산소 공급이 뇌 활성화 양을 증가시키고, 대뇌 편측화를 감소시켜 개인의 공간 지각 능력을 향상시킬 수 있다고 보고하기도 하였다.

언어 영역의 뇌기능 연구는 시각적 및 청각적 언어 자극의 decoding, 언어의 생성, 언어의 종류에 따른 많은 연구 결과들이 보고 되었다.<sup>12-14</sup> 자극 종류, 성별, 노화 등에 따라 대뇌 편측화의 크기에 차이가 발생할 수 있다는 것이 밝혀졌다.<sup>15-23</sup> 동사 생성의 언어 과제 수행 시 좌측 반구가 우세했으며, 성별에 따라 편측화에 차이가 없었다.<sup>15</sup> Frost<sup>16</sup> 등은 청각적 언어 이해 과제 (language comprehension task) 수행 시 남녀 모두 좌반구 우세성을 보고하였고 성별에 따라 편측화 정도는 차이가 없었다고 보고하였다. 그러나 청각적 언어 이해 과제 수행 시 측두엽에서 여자에 비해 남자가 보다 더 좌측 반구의 편측화가 컸다는 보고도 있었다.<sup>17-19</sup> Rowan<sup>20</sup> 등은 동사 생성 과제에서 좌측 측두엽과 전두엽의 우세성을 보고하였다. 정상인과 정신분열 환자의 언어 중추의 편측성의 차이에 관한 연구도 수행되었다. Weiss<sup>21</sup> 등은 언어 과제 수행 시 정상인은 좌측 Broca 영역이 우세하였지만, 정신분열 환자는 양측에서 활성화 되었다고 보고하였다. 또한 연령 증가에 따라 우측 반구의 인지 처리 기능의 감소가 좌측에 비해 더 크며, 특히 전두엽 영역의 편측화가 감소된다는 보고가 있었다.<sup>22,23</sup> 이와 같이 인간의 다양한 인지 처리에 관련한 대뇌 편측화에 관한 연구는 우세 반구의 판단뿐만 아니라, 특정 인지 처리와 관련된 뇌 영역별 우세성의 판단도 아주 중요하게 여겨지고 있다.

지금까지 뇌기능 영상에서 대뇌 편측화의 결정은 신경 활성화 면적 (활성화 voxel 수)을 기반으로 한 편측화 지수 (Lateralization Index: LI)로부터 판단 되었다.<sup>1,24</sup> 편측화 지수의 계산은  $(LV-RV)/(LV+RV)$ 의 공식을 통해 수행되는데, 이때

LV와 RV는 각각 좌, 우반구의 활성화 voxel 수이다. 편측화 지수가 양(+)이 되면 좌반구가, 음(-)이 되면 우반구가 우세 반구가 된다. 그러나 이와 같은 방법은 단순히 우세 반구만을 판단하는 데는 유용성이 높지만, 영역별로 편측화 지수를 계산하기에는 활용하기 어렵다는 단점이 있다. 예를 들어 공간 지각 과제를 수행하면 근접 영역인 소뇌, 후두엽, 두정엽이 함께 신경 활성화가 일어나는데, 활성화되는 voxel은 집단화 (cluster)되어 각 영역을 구분하기 힘들고 이 때문에 영역별 편측화 지수의 계산은 어려움이 있었다.<sup>11</sup> 물론 관심 영역 (ROI)을 설정한 후 영역별 신경 활성화 면적을 계산할 수 있으나, 경계 부분에서 오류가 발생할 확률이 높아질 수 있다.

본 연구에서는 활성화 voxel 수 (활성화 된 면적)를 이용하는 기존의 대뇌 편측화 계산 방법을 보완하여, 대뇌 영역별 편측화 지수도 쉽게 계산할 수 있도록 활성화 voxel의 신호 강도 (활성화 된 신호 크기)를 이용하는 새로운 편측화 계산 방법을 제안하고자 한다. 즉, 뇌기능 영상에서 특정 영역의 Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD) 신호의 강도는 신경 활성화의 크기를 나타내는 또 다른 지표이기 때문에<sup>25-27</sup>, 이를 이용하면 영역별 대뇌 편측화 지수를 쉽게 계산할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 공간, 언어의 대표적인 두 가지 인지 과제를 수행한 후, 활성화 voxel 수를 이용한 기존의 편측화 지수 계산 방법과 활성화 voxel의 신호 크기를 이용한 새로운 방법을 비교 분석하고자 한다.

## 2. 뇌기능 영상 기법 (fMRI)과 BOLD 신호

뇌는 부위별로 고유한 기능을 지니고 있으며 어떠한 기능을 수행하기 위하여 특정부위의 뇌신경 활동이 일어나면 이와 함께 그 부위의 국소적 뇌 혈류 및 대사가 증가한다. fMRI은 이러한 생리적 변화를 표현하는 것으로써 1992년 Ogawa가 뇌에서의 생리적 변화를 측정할 수 있는 현재 뇌기능 영상에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.<sup>25-27</sup> MR 영상을 이용한 뇌의 기능적 영상 원리는 생리적으로 BOLD 효과에 기반을 두고 있다. BOLD 효과는 신경 활성화 증가에 따른 산소 유입량의 증가는 활성화된 뇌 조직이 실제로 필요로 하는 산소량을 증가하기 때문에 소모되지 않은 산소가 정맥으로 흘러

나가서 Oxyhemoglobin 농도를 증가시키고 상대적으로 Deoxyhemoglobin의 농도는 감소시킨다는 이론이다. 인체 내의 혈액은 그 상태에 따라 서로 다른 자화율을 갖고 있기 때문에 (산소와 결합한 Oxyhemoglobin은 반자성 성질을, 산소를 잃은 Deoxyhemoglobin은 상자성 성질을 띤다) Deoxyhemoglobin의 감소는 곧 자화율 효과 (susceptibility effect)를 감소시켜 MR 신호 (BOLD)의 증가를 가져온다. 그러므로 신경 활성화가 크면 클수록 Deoxyhemoglobin의 감소량이 커지고, 동시에 MR 신호의 증가량은 크게 되는 것이다. 즉, fMRI에서 BOLD 신호의 크기와 신경활성화 비율은 서로 양의 상관관계를 가지기 때문에 특정영역에서 BOLD 신호의 강도가 커다는 것은 그만큼 신경활성화가 더 발생했다는 의미이다.<sup>25-27</sup> 그러나 현재까지 BOLD 신호의 크기를 대뇌 편측화의 계산에 이용한 연구는 전무한 상태이다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 실험 참여자

뇌 손상의 경험이 없고, 인지 처리가 정상인 8명의 오른손잡이 남자 대학생 (평균 23.5세)과 10명의 오른손잡이 남자 대학생 (평균 25.1세)이 각각 공간 지각 과제와 언어 과제의 fMRI 연구에 참여하였다.

### 3.2 공간 및 언어 과제의 문항 선정

지능 진단 검사, 적성 진단 검사 그리고 일반 적성 검사 (General Aptitude Test Battery: GATB)로부터 공간 지각 능력을 측정할 수 있는 20문항의 소 검사들을 선정하였다.<sup>28-30</sup> 선정된 문제는 주어진 도형의 모양과 똑 같은 모양을 네 개의 보기 중에 찾는 유형과, 주어진 도형의 전개도를 찾는 유형으로 구성되어 있다. 적성진단검사와 지능진단검사로부터 언어추리 및 언어개념 능력을 측정하는 28문항의 검사들을 선정하였다. 언어추리검사는 앞서 제시되는 두 단어의 관계와 동일한 관계가 성립되는 단어를 찾는 형식이며, 언어개념검사는 네 단어 중 의미가 다른 하나의 단어를 찾는 유형으로 이루어져 있다. Fig. 1에 예제 문제를 나타내었다.

### 3.3 실험 설계 및 절차

한 실험은 네 개의 블록으로 구성되었으며, 각

블록은 통제 과제 (1분)와 인지 과제 (1분)를 포함하도록 하였다. Fig. 2는 한 실험의 구성을 도식화한 것으로 한 실험 당 소요시간은 블록 당 2분씩, 총 8분이었다. 선정된 통제 과제와 인지 과제는 뇌기능 영상 실험을 위한 자극 제시 S/W인 SuperLab 1.07 (Cedrus Co.)을 사용하여 제작하였고, 컴퓨터와 빔 프로젝터를 이용하여 MRI 내부의 피검자에게 거울을 통하여 제시하였다. 피검자는 제시된 문제에 대해 반응 버튼을 누르도록 하여 해답을 결정하도록 하였다.

통제 과제에서는 1, 2, 3, 4의 네 개 숫자 중 화면에 제시되는 번호에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다 (블록 당 8번 시행). 인지 과제에서는 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 눌러 반응하게 하였다 (공간 지각 과제: 블록 당 5번 시행, 언어 과제: 블록 당 7번 시행).

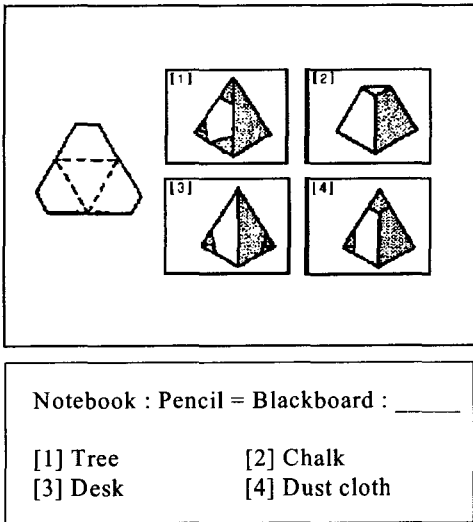


Fig. 1 Problem type for visuospatial and verbal tasks

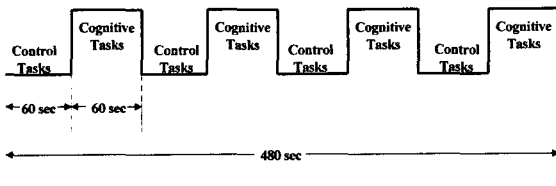


Fig. 2 Test procedure

### 3.4 뇌기능 영상 획득

뇌기능 영상 획득은 KAIST 뇌과학 연구 센터에 있는 3T ISOL Technology FORTE를 사용하였으며, single-shot Echo Planar Imaging (EPI) 방법 (TR/TE: 3000/35msec, FOV 240mm, matrix 64×64, slices thickness 4mm)으로 각 블록 당 35장의 뇌 절편 영상을 획득하였다. T1 강조영상법인 3-D FLAIR 방법 (TR/TE: 280/14msec, FOV 240mm, matrix 256×256, slice thickness 4mm)으로 해부학적 뇌 영상을 획득하였다.

### 3.5 뇌기능 영상 분석

뇌기능 영상 데이터는 SPM-99 (Statistical Parametric Mapping-99, Wellcome Department of Cognitive Neurology, Oxford, 1999) S/W를 사용하여 분석하였다. 재배열 (realignment) 과정으로 머리의 움직임을 교정하고, 기능적 영상과 해부학적 영상을 상관정립 (coregister)하여 공통 좌표로 합성해주었다. 각 개인의 뇌 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간에 template image (Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 normalization 하였다.<sup>31</sup> 활성화된 뇌 영역은 normalization 된 개인의 영상 자료를 그룹으로 분석하여 활성화의 평균치를 구하고 T score에 따라 색채 부호화 (color coding)하여 개인별 및 그룹별로 뇌 지도를 얻었다. 이때 감산법 (Cognition tasks - Control tasks)을 사용하여 각 인지 과제를 풀 때 신경망의 활성화가 일어나는 뇌 영역을 추출하였다.

### 3.6 활성화 voxel 수로부터 대뇌 편측화 계산

위절에서 추출된 뇌 지도를 바탕으로 활성화된 voxel 수 (활성화 된 면적)를 계산하였다. 대뇌 편측화 지수 (LI)의 계산은 아래 (1)의 공식을 통해 수행되었다.

$$LI = (LV - RV) / (LV + RV) \quad (1)$$

이때 LV과 RV는 각각 좌, 우반구의 활성화된 voxel 수이다. 각 반구의 활성화 voxel 수는 SPM의 분석 방법 중 Small volume correction (SVC)을 이용하여 좌, 우 반구의 범위를 지정한 후 측정되었다.

### 3.7 활성화 voxel 신호 크기로부터 영역별 대뇌 편측화 계산

영역별 활성화된 voxel의 신호 크기를 이용한 대뇌 편측화 지수 (Intensity Lateralization Index: ILI)의 계산은 아래 (2)의 공식을 통해 수행되었다.

$$ILI = (LI - RI) / (LI + RI) \quad (2)$$

이때 LI와 RI는 특정 영역에서 각각 좌, 우반구에 활성화된 voxel 신호 (BOLD)의 평균 크기이다. 뇌기능 영상 분석 결과 (3.5절 분석 결과)로부터 활성화가 발생한 각 영역의 BOLD 신호의 크기를 관찰하기 위하여, 각 인지 과제 수행 시 활성화가 발생한 영역 중 대표적인 영역들을 선정하였고 이 영역을 좌, 우로 구분하였다. 선정 기준은 각 영역별로 활성화의 통계적 유의도가 가장 큰 voxel를 중심으로 5×5×5 영역으로 선택하였다.

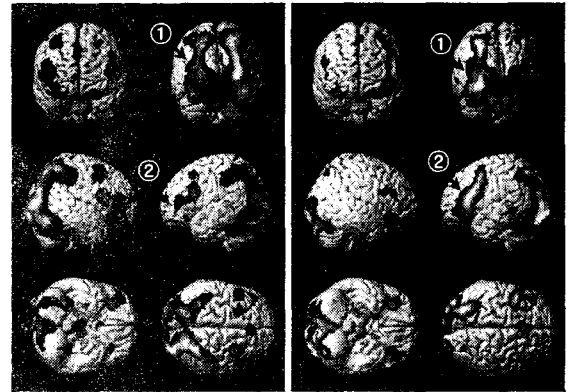
## 4. 결과

### 4.1 뇌기능 영상 분석 결과

Fig. 3의 (a)는 공간 지각 과제를 수행하였을 때 활성화되는 뇌 영역이다. 소뇌 (Cerebellum) 영역, 양측 후두엽 (Bilateral occipital lobes) 영역, 양측 상두정엽 (Bilateral superior parietal lobes), 양측 하두정엽 (Bilateral inferior parietal lobes), 양측 췌기앞소엽 (Bilateral precuneus), 양측 중심후이랑 (Bilateral postcentral gyri) 등을 포함하는 두정엽 (Parietal lobe) 영역, 그리고 양측 중간전두이랑 (Bilateral middle frontal gyri), 양측 하전두이랑 (Bilateral inferior frontal gyri), 양측 내측전두이랑 (Bilateral medial frontal gyri), 양측 상전두이랑 (Bilateral superior frontal gyri), 양측 대상회 (Bilateral cingulate gyri) 등을 포함하는 전두엽 (Frontal lobe) 부분이 활성화되었다 (corrected  $p < .05$ ).

Fig. 3의 (b)는 언어 과제를 수행하였을 때 활성화되는 뇌 영역이다. 소뇌 (Cerebellum) 영역, 혀이랑 (Lingual gyrus), 외측후두이랑 (Lateral occipital gyrus) 등을 포함한 후두엽 (Occipital lobe) 영역, 왼쪽 중간측두이랑 (Left middle temporal gyrus) 등을 포함한 측두엽 (Temporal lobe) 영역, 양측 상두정엽 (Bilateral superior parietal lobe), 왼쪽 하두정엽 (Left inferior parietal lobe) 등을 포함하는 두정엽 (Parietal lobe) 영역과 양측 중간전두이랑 (Bilateral

middle frontal gyri), 양측 하전두이랑 (Bilateral inferior frontal gyri), 양측 내측전두이랑 (Bilateral medial frontal gyri), 양측 대상회 (Bilateral cingulate gyri) 등을 포함한 전두엽 (Frontal lobe) 영역에서 활성화 되었다 (corrected  $p < .05$ ).



(a) (b)  
Fig. 3 Activation areas while performing (a) visuospatial and (b) verbal tasks respectively (corrected  $p < .05$ ) ①: Occipital, parietal and cerebellum areas ②: Frontal area

### 4.2 활성화 voxel 수에 기반 한 대뇌 편측화

공간 및 언어 과제 수행 시 활성화 된 voxel수를 좌, 우반구로 구분하였고, 수식 (1)을 통하여 계산된 대뇌 편측화 지수 (LI)를 Table 1과 2에 나타내었다. 공간 과제 수행 시 좌반구에 비해 우반구에서 활성화 된 voxel 수가 통계적으로 유의미하게 컸으며 ( $t = -9.057$ ,  $df = 7$ ,  $p = 0.001$ ), LI는 음이 나와 우반구가 우세 반구가 된다는 사실을 알 수 있다. 또한 언어 과제 수행 시 우반구에 비해 좌반구에서 활성화 된 voxel 수가 통계적으로 유의미하게 컸으며 ( $t = 6.498$ ,  $df = 9$ ,  $p = 0.001$ ), LI는 양이 나와 좌반구가 우세 반구가 된다는 사실을 알 수 있다.

### 4.3 활성화 voxel 신호 크기에 기반 한 대뇌 편측화

Fig. 3과 같이 각 과제 모두 소뇌, 후두엽, 두정엽 영역 (①번 화살표)들이 모두 집단(cluster)을 형성하고 있고, 전두엽 영역 (②번 화살표)에서도 집단을 형성하고 있기 때문에 영역별로 대뇌 편측화

를 계산하기가 힘들었다. 그래서 일반적으로 대뇌 편측화의 계산은 위절에서와 같이 좌, 우반구만을 구분하여 계산된다.

Table 1 Number of activated voxel at the left and right hemisphere and lateralization index in visuospatial task

	Left	Right	LI
#1	5513	9869	-0.28
#2	9047	11604	-0.12
#3	4974	8596	-0.27
#4	5973	7939	-0.14
#5	7346	9479	-0.13
#6	10042	12490	-0.11
#7	7511	10287	-0.16
#8	8301	10264	-0.11
Avg±S.D	7338 ± 1771	10066 ± 1483	-0.16 ± 0.07

Table 2 Number of activated voxel at the left and right hemisphere and lateralization index in verbal task

	Left	Right	LI
#1	2450	1128	0.37
#2	3254	2508	0.13
#3	5893	3079	0.31
#4	4357	1285	0.54
#5	3550	247	0.87
#6	6557	790	0.78
#7	3534	901	0.59
#8	3645	930	0.59
#9	2898	361	0.78
#10	2932	610	0.66
Avg±S.D	3907±1334	1183 ± 915	0.53 ± 0.23

본 연구에서 제안된 영역별 voxel의 신호강도(활성화된 크기)에 기반 한 대뇌 편측화 지수 (ILI)를 수식 (2)를 이용하여 계산하였다. 이때 공간 지각 과제에서는 대표적으로 중간 전두엽 (Middle frontal lobe: MF), 상 두정엽 (Superior parietal lobe: SP), 후두엽 (Occipital lobe: O)의 세 영역을 좌, 우로 구분하여 여섯 영역을 선정하였다. 언어 과제에서는 대표적으로 중간 전두엽 (Middle frontal lobe: MF), 하 전두엽 (Inferior frontal lobe: IF), 상 두정엽

(Superior parietal lobe: SP), 후두엽 (Occipital lobe: O)의 네 영역을 좌, 우로 구분하여 여덟 영역을 선정하였다. 각 과제에서 영역별로 계산된 voxel의 신호 크기와 ILI를 Table 3과 4에 나타내었다.

Table 3에서와 같이 공간 과제 수행 시 세 영역 모두 ILI가 음이 나와 우측이 모두 우세하였지만, Fig. 4와 같이 상 두정엽 (SP)에서만 좌측에 비해 우측에서 voxel의 신호 강도가 통계적으로 유의미하게 컸다 ( $t=-2.345$ ,  $df=7$ ,  $p=0.05$ ). Table 4에서와 같이 언어 과제 수행 시 후두엽 (O)을 제외한 세 영역에서 ILI가 양이 나와 좌측이 우세하였고, 중간 전두엽 ( $t=4.559$ ,  $df=7$ ,  $p=0.003$ )과 하 전두엽 ( $t=4.689$ ,  $df=7$ ,  $p=0.002$ )에서만 우측에 비해 좌측에서 voxel의 신호 강도가 통계적으로 유의미하게 컸다. Fig. 5는 하 전두엽에서 좌, 우측의 voxel의 신호 강도를 비교한 결과이다.

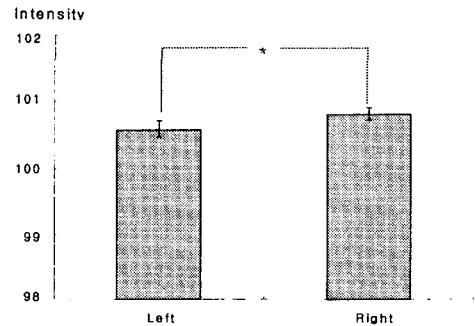


Fig. 4 Intensity of activated voxel at the left and right superior parietal lobes (SP) in visuospatial task (\* $p<0.05$ )

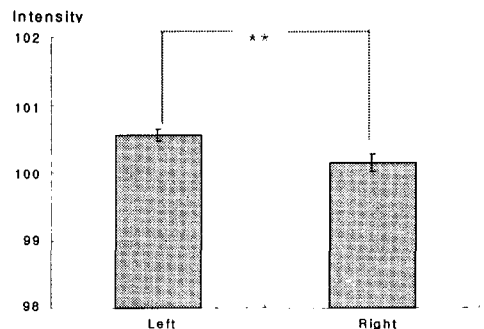


Fig. 5 Intensity of activated voxel at the left and right inferior frontal lobes (IF) in verbal task (\*\* $p<0.01$ )

Table 3 Intensity of activated voxel and intensity lateralization index at the middle frontal lobe (MF), superior parietal lobe (SP), and occipital lobe (O) in visuospatial task (Talairach coordinates)

	Left			Right			ILI		
	MF (-46,18,24)	SP (-24,-68,56)	O (-28,-94,6)	MF (46,18,24)	SP (24,-68,56)	O (32,-94,8)	MF	SP	O
#1	100.85	100.78	100.51	100.99	101.04	100.58	-0.0007	-0.0013	-0.0004
#2	101.09	100.61	100.62	101.65	100.69	101.25	-0.0028	-0.0004	-0.0031
#3	100.60	100.31	100.70	100.33	100.73	101.07	0.0014	-0.0021	-0.0018
#4	100.73	100.57	100.59	100.75	101.11	101.41	-0.0001	-0.0027	-0.0041
#5	99.93	100.44	100.68	100.40	100.61	100.71	-0.0023	-0.0009	-0.0001
#6	101.12	100.46	100.85	100.20	100.68	100.78	0.0046	-0.0011	0.0004
#7	100.16	101.05	100.84	100.59	100.72	101.08	-0.0021	0.0016	-0.0012
#8	100.18	100.48	100.69	99.89	100.93	100.55	0.0015	-0.0022	0.0007
Avg	100.58	100.59	100.69	100.60	100.81	100.93	-0.0001	-0.0011	-0.0012
±S.D	± 0.44	± 0.23	± 0.12	± 0.54	± 0.19	± 0.32	± 0.0020	± 0.0010	± 0.0020

Table 4 Intensity of activated voxel and intensity lateralization index at the middle frontal lobe (MF), inferior frontal lobe (IF), superior parietal lobe (SP), and occipital lobe (O) in verbal task (Talairach coordinates)

	Left				Right				ILI			
	SP (-28, -72, 58)	O (-30, -86, -18)	MF (-46, 14, 26)	IF (-32, 30, -10)	SP (28, -72, 58)	O (30, -86, -18)	MF (46, 14, 26)	IF (32, 30, -10)	SP	O	MF	IF
#1	101.69	100.91	100.86	100.88	101.11	101.56	100.81	100.50	0.0029	-0.0032	0.0002	0.0019
#2	100.50	100.30	100.76	100.36	100.00	100.26	99.96	100.01	0.0025	0.0002	0.0040	0.0017
#3	100.81	99.83	100.64	100.64	-	100.12	99.97	100.15	-	-0.0015	0.0033	0.0024
#4	100.92	100.53	100.97	100.42	99.89	99.93	100.34	99.88	0.0052	0.0030	0.0031	0.0027
#5	100.20	100.11	100.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#6	101.06	100.91	100.84	100.67	-	100.09	100.37	100.37	-	0.0041	0.0023	0.0015
#7	101.06	99.91	100.99	100.46	-	100.82	100.01	100.19	-	-0.0045	0.0049	0.0013
#8	-	100.10	101.86	100.40	-	101.19	100.30	100.37	-	-0.0054	0.0077	0.0001
#9	100.22	99.94	101.50	-	100.47	100.12	99.93	-	-0.0012	-0.0009	0.0078	-
#10	101.00	99.57	100.95	100.61	100.45	100.21	-	99.74	0.0027	-0.0032	-	0.0043
Avg	100.82	100.21	100.96	100.56	100.38	100.48	100.21	100.15	0.0024	-0.0013	0.0042	0.0020
±S.D	± 0.47	± 0.45	± 0.44	± 0.17	± 0.48	± 0.57	± 0.30	± 0.26	± 0.0023	± 0.0032	± 0.0026	± 0.0012

## 5. 토의

본 연구에서는 공간, 언어의 대표적인 두 가지 인지 과제를 수행한 후, 기존의 신경 활성화 면적에 기반한 대뇌 편측화 지수 (LI)와 새로운 방법인 신경 활성화 크기에 기반한 대뇌 편측화 지수 (ILI)를 비교 분석하고자 하였다.

다양한 유형의 공간 과제 수행 시 소뇌, 후두엽, 전두엽, 두정엽 등이 활성화 되고, 특히 두정엽 부분이 중요한 역할을 수행한다는 사실은 잘 알려져 있다.<sup>6-11</sup> 언어추리, 언어개념 및 내적 언어 생성을 포함하는 연구에서 후두엽, 소뇌 등의 활성화뿐만 아니라, 특히 Broca 영역을 포함하는 하 전두엽 부분, Wernicke 영역이 포함된 두정엽과 측두엽 영역이 언어와 관련한 중요한 부분으로 보고 되고 있다.<sup>12-21</sup> Fig. 3에서와 같이 본 연구에서도 각 과제 수행 시 활성화 된 대뇌 영역은 선행 연구 결과와 일치한다.

지금까지 다양한 인지 과제에 대해 대뇌 우세 반구의 결정은 활성화 된 voxel 수 (활성화 면적)를 이용하였다. 본 연구에서도 좌, 우반구를 구분하여 공간 및 언어 과제에 대해 각각 활성화 된 voxel 수를 계산하였다. 이를 바탕으로 대뇌 편측화를 계산한 결과, 공간 과제는 우반구가, 언어 과제는 좌반구가 우세 반구가 된다는 사실을 도출할 수 있었고, 이것은 선행 연구 결과와 일치하는 것이다. 그러나 이러한 우세성이 대뇌의 어느 영역에서 정확히 발생했는지에 대한 정보를 추출하기는 힘들었다. 공간 과제에서는 두정엽, 후두엽, 소뇌가 집단을 형성하고 있기 때문에, 특히 공간과제와 가장 밀접한 관련이 있는 두정엽에서 우측 반구의 우세성을 판단하기가 어려웠다. 언어 과제에서도 좌측 전두엽 영역이 집단을 형성하고 있기 때문에 가장 중요한 영역인 Broca 영역을 포함하는 좌측 하 전두엽 부분의 우세성을 정량적으로 판단하기가 어려웠다.

그러나 본 연구에서 제안된 활성화 된 voxel 신호 크기에 기반한 대뇌 영역별 편측화 지수는 이러한 한계를 극복할 수 있음을 보여주었다. 즉, 공간 과제에서 상 두정엽, 후두엽, 중간 전두엽 영역을 좌, 우로 구분하여 ILI를 계산한 결과 모두 음이 나와 세 영역 모두 우측이 우세하지만, 통계적으로 상 두정엽 부분만 유의미하다는 사실을 도출할 수 있었다. 이러한 사실은 공간 과제와 밀접한 대뇌

편측화 영역은 상 두정엽 영역이라는 것을 강력히 뒷받침한다. 언어 과제에서 중간 전두엽, 하 전두엽, 상 두정엽, 후두엽의 네 영역을 좌, 우로 구분하여 ILI를 계산한 결과 후두엽을 제외하고 모두 양이 나와 세 영역에서 좌측이 우세하고, 통계적으로는 중간 전두엽, 하 전두엽 영역만 유의미하다는 사실을 도출할 수 있었다. 이러한 사실은 언어 과제와 밀접한 대뇌 편측화 영역이 Broca 영역을 포함하는 하 전두엽 영역이라는 것을 강력히 뒷받침할 수 있고, 중간 전두엽도 언어 과제의 편측화와 밀접한 관련이 있다는 것을 의미한다. 그러므로 본 연구에서 제안된 voxel 신호 크기에 기반한 대뇌 영역별 편측화 지수는 영역별로 대뇌의 우세성을 쉽게 판단할 수 있기 때문에 정확하고, 정량적인 대뇌 편측화 결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 각 인지 과제와 밀접한 관련이 있을 것으로 예상한 대표적인 영역 (공간: 세 영역, 언어: 네 영역)에서만 ILI를 계산하였다. 그러나 향후 영역을 세분화함으로써 특정 인지 과제와 밀접한 관련이 있는 새로운 대뇌 편측화 영역을 찾는 데에도 ILI는 다양하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로, 본 연구에서 제시한 ILI 방법으로 인지 과제에 따른 대뇌 영역별 편측화를 정확하게 계산할 수 있었고, 이러한 데이터는 향후 인간의 뇌 기능을 이해하는데 도움을 줄 것으로 예상된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (과제번호: R11-2002-103)

## 참고문헌

1. Springer, S.P., Deutsch, G., "Left Brain, Right Brain," 5th edn. W.H. Freeman, New York, 1988.
2. Kim, Y.H., Kim, S.Y., Lee, J.C., Kim, H.I., Hong, I.K., Parrish, T.B., Seo, J.H., Kim, H.K., "Brain language network and lateralization using for spoken and written Korean words in normal adults: a functional MRI study," J. of Korean Acad. of Rehab. Med. Vol. 24, No. 4, pp. 594-602, 2000.



3. Wada, J., Rasmussen, T., "Intracarotid injection of sodium amytal for the lateralization of cerebral speech dominance," *Stroke*, Vol. 30, pp. 2331-2340, 1999. *Journal of Neurosurgery*, Vol. 17, pp. 266-282, 1960.
4. Binder, J.R., Swanson, S.J., Hammeke, T.A., Morris, G.L., Mueller, W.M., Fischer, M., Benbadis, S., Frost, J.A., Rao, S.M., Houghton, V.M., "Determination of language dominance using functional MRI: a comparison with the Wada test," *Neurology*, Vol. 46, pp. 978-984, 1996.
5. Cao, Y., Vikingstad, E.M., George, K.P., Johnson, A.F., Welch, K.M., "Cortical language activation in stroke patients recovering from aphasia with functional MRI," *Stroke*, Vol. 30, pp. 2331-2340, 1999.
6. Fink, G.R., Marshall, J.C., Weiss, P.H., Zilles, K., "The neural basis of vertical and horizontal line bisection judgements: an fMRI study of normal volunteers," *Neuroimage*, Vol. 14, No. 1, pp. 59-67, 2001.
7. Ng, V.W., Eslinger, P.J., Williams, S.C., Brammer, M.J., Bullmore, E.T., Andrew, C.M., Suckling, J., Morris, R.G., Benton, A.L., "Hemispheric preference in visuospatial processing: a complementary approach with fMRI and lesion studies," *Human Brain Mapping*, Vol. 10, No. 2, pp. 80-86, 2000.
8. Ng, V.W., Bullmore, E.T., de Zubicaray, G.I., Cooper, A., Suckling, J., Williams, S.C., "Identifying rate-limiting nodes in large-scale cortical networks for visuospatial processing: an illustration using fMRI," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 13, No. 4, pp. 538-545, 2001.
9. Gur, R.C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A., Turetsky, B. I., Detre, J.A., Gee, J., Gur, R.E., "An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task," *Brain and Language*, Vol. 74, pp. 157-170, 2000.
10. Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M., Leodolter, U., "Cortical activity of good and poor spatial test performances during and spatial and verbal processing studied with slow potential topography," *International Journal of Psychology*, Vol. 27, pp. 183-199, 1997.
11. Chung, S.C., Shon, J.H., Kim, I.H., "The effect of highly concentrated oxygen administration on cerebrum lateralization of young men during visuospatial task," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 8, pp. 180-188, 2004.
12. Kim, Y.H., "Usefulness of functional MRI for the study of brain function," *Korean Journal of Brain Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 65-76, 2001.
13. Herholz, K., Thiel, A., Wienhard, K., Pietrzyk, U., Von Stockhausen, H. M., Karbe, H., Kessler, J., Bruckbauer, T., Halber, M., Heiss, W. D., "Individual functional anatomy of verb generation," *Neuroimage*, Vol. 3, pp. 185-194, 1996.
14. Jessen, F., Erb, M., Klose, U., Lotze, M., Grodd, W., Heun, R., "Activation of human language processing brain regions after the presentation of random letter strings demonstrated with event-related functional magnetic resonance imaging," *Neuroscience Letters*, Vol. 270, pp. 13-16, 1999.
15. Jaeger, J.J., Lockwood, A.H., Van Valin, R.D., Kemmerer, D.L., Murphy, B.W., Wack, D.S., "Sex differences in brain regions activated by grammatical and reading tasks," *Neuroreport*, Vol. 9, pp. 2803-2807, 1998.
16. Frost, J.A., Binder, J.R., Springer, J.A., Hammeke, T.A., Bellgowan, P.S.F., Rao, S.M., Cox, R.W., "Language processing is strongly left lateralized in both sexes. Evidence from functional MRI," *Brain*, Vol. 122, pp. 199-208, 1999.
17. Kansaku, K., Yamaura, A., Kitazawa, S., "Sex differences in lateralization revealed in the posterior language areas," *Cerebral Cortex*, Vol. 10, pp. 866-872, 2000.
18. Kansaku, K., Kitazawa, S., "Imaging studies on sex differences in the lateralization of language," *Neuroscience Research*, Vol. 41, pp. 333-337, 2001.

19. Phillips, M.D., Lurito, J.T., Dzemidzic, M., Lowe, M.J., Wang, T., Mathews, V.P., "Gender based differences in temporal lobe activation demonstrated using a novel passive listening paradigm," *Neuroimage*, Vol. 11, S352, 2000.
20. Rowan, A., Liegeois, F., Vargha Khadem, F., Gadian, D., Connelly, A., Baldeweg, T., "Cortical lateralization during verb generation: a combined ERP and fMRI study," *Neuroimage*, Vol. 22, pp. 665-675, 2004.
21. Weiss, E.M., Hofer, A., Golaszewski, S., Siedentopf, C., Brinkhoff, C., Kremser, C., Felber, S., Fleischhacker, W.W., "Brain activation patterns during a verbal fluency test-a functional MRI study in healthy volunteers and patient with schizophrenia," *Schizophrenia Research*, Vol. 70, pp. 287-291, 2004.
22. Cabeza, R., "Hemispheric asymmetry reduction in old adults: the HAROLD model," *Psychological Aging*, Vol. 17, pp. 85-100, 2002.
23. Dolcos, F., Rice, H.J., Cabeza, R., "Hemispheric asymmetry and aging: right hemisphere decline or asymmetry reduction," *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol. 26, pp. 819-825, 2002.
24. Roland, P. E., "Brain activation," 1st edn. Wiley liss. Inc. New York, 1993.
25. Ogawa, S., Tank, D.W., Menon, R., Ellermann, J.M., Kim, S.G., Merkle, H., Ugurbil, K., "Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging," *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 89, pp. 5951-5955, 1992.
26. Moonen, C.T.W., Bandettini, P.A., "Functional MRI," Springer, New York, 1999.
27. Logothetis, N.K., "The neural basis of the blood-oxygen-level-dependent functional magnetic resonance imaging signal," *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, Vol. 29, pp. 1003-1037, 2002.
28. Lee, S.R., "Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1982.
29. Lee, S.R., Kim, K.R., "Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
30. Park, S.B., "GATB (General Aptitude Test Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
31. Talairach, J., Tournoux, P., "Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain," Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1988.