대한영상의학회지 2005;52:305 - 312

# 기능적 자기공명영상에서 어휘판단과제를 이용한 언어 우세반구의 결정[1]

유재욱 · 최대섭 · 나동규[2] · 조재민 · 김삼수[3] · 박의동 · 유진종 · 차상훈[4]

**목적:** 어휘판단과제를 이용한 기능적 자기공명영상을 단어생성과제를 이용한 영상과 비교하여 언어기능의 영상화 및 우세반구의 판정에 있어 어휘판단과제의 유용성을 알아보고자 하였다.
**대상과 방법:** Wada 검사를 시행한 환자 16명을 대상(여자 9명, 남자 7명)으로 하였고, Wada 검사 결과 언어기능의 우세반구는 모두 좌측이었다. 어휘판단과제와 단어생성과제를 이용하여 언어기능의 활성화를 유도하였다. 1.5 T MR기기에서 EPI BOLD 기법을 이용하여 기능적 영상을 얻었다. 영상후처리는 SPM 분석 프로그램을 사용하였으며 활성화 신호의 유의수준은 $p<0.001$ 또는 $p<0.01$을 기준으로 하였다. 활성화 영상에서 나타난 활성화 신호를 반구전체, 전두엽, 측두정엽으로 나누어 측정하여 편재화지수를 구하였고 이를 기준으로 우세반구를 결정하여 Wada 검사와 비교하였다. 각 측정부위에서 자극 과제별로, 각 자극 과제에서 측정부위별로 편재화에 차이가 있는지를 비교하였다.
**결과:** 어휘판단과제를 이용한 활성화 영상에서 나타난 활성화 화소의 수는 단어생성과제에 비해 적었다. 단어생성과제의 경우 측정부위와 관계없이 기능적 자기공명영상의 편재화지수를 기준으로 우세반구를 결정하였을 때 모든 환자에서 Wada 검사의 결과와 일치하였다. 어휘판단과제의 경우 반구전체와 측두정엽의 활성화를 비교하였을 때 94%에서 Wada 검사와 일치된 결과를 얻었다. 편재화지수의 평균값은 어휘판단과제를 이용한 경우가 단어생성과제를 이용한 경우에 비해 높았다.
**결론:** 어휘판단과제를 이용하여 언어기능의 뇌지도를 얻을 수 있었으며 언어의 우세반구를 판정할 수 있었다. 어휘판단과제는 인지기능의 저하가 있어 단어생성과제를 수행하지 못하는 환자에서 유용한 자극과제가 될 것으로 생각된다.

최근 비침습적으로 뇌기능을 영상화 할 수 있는 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, 이하 fMRI)이 개발됨에 따라 fMRI를 이용한 언어기능의 영상화와 (1 - 9) fMRI의 활성화 신호를 이용하여 언어기능의 우세반구를 판정하고자 하는 연구들이 국내외에서 활발히 이루어지고 있다(10 - 19). 현재 언어기능의 fMRI에서 활성화를 유도하기 위하여 가장 널리 사용되는 과제는 음절이나 단어를 제시하고 이와 연관된 단어들을 생각해내는 단어생성과제이며 여러 연구에서 언어기능의 영상화나 언어기능의 우세반구 판정에 있어 유용한 자극과제로 보고되었다(4, 16 - 19). 하지만 단어 생성과제는 과제의 수행을 위해 집중, 적절한 단어의 선택, 단기기억 등의 여러 인지기능이 필요한 쉽지 않은 과제로 인지기능의 저하가 동반된 환자에서는 성공적인 수행을 기대하기 어려운 단점이 있다(4). 또한 과제를 얼마나 성실히 수행하는지는 환자의 의지에 의존해야 하며 검사자가 이를 확인하기 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 진짜 단어와 가짜 단어을 구별해 내는 어휘판단과제를 이용하여 언어기능에 대한 fMRI를 얻고 어휘판단과제를 이용한 fMRI를 단어생성과제를 이용한 fMRI와 비교하여 언어기능의 영상화 및 우세반구의 판정에 있어 어휘판단과제의 유용성을 알아보고자 하였다.

## 대상과 방법

### *대상(Table 1)*

수술이 예정되고 언어기능의 우세반구 판정을 위해 Wada 검사를 시행 받은 16명의 환자를 대상으로 하였다. 여자가 9명, 남자가 7명이었고, 평균연령은 28세(14 - 48세)였다. 신경심리검사(20)를 통하여 손잡이를 결정하였으며 15명은 오른손잡이였고 1명은 왼손잡이였다. Video EEG monitoring 결

[1]경상대학교 의과대학 진단방사선과
[2]서울대학교 의과대학 진단방사선과학교실
[3]강원대학교 의과대학 진단방사선과학
[4]충북대학교 의과대학 진단방사선과
이 논문은 2005년 1월 13일 접수하여 2005년 4월 29일에 채택되었음.

과 측두엽간질환자가 13명(우측 8명, 좌측 4명, 양측1명), 좌측 전두엽간질이 3예였다. 자기공명영상(이하MRI) 검사 소견에서 해마의 위축을 보인 경우가 6명, 원인을 알 수 없는 경우가 5명, 뇌종양을 보인 경우가 2명, 동정맥기형, 해면혈관종(cavernous hemangioma), 뇌연화증(cerebromalacia)을 보인 경우가 각각 1명이었다.

### *Wada 검사*

Wada 검사는 디지털 감산 혈관조영술(digital subtraction angiography)을 이용하였다. 대퇴동맥을 Seldinger 방법으로 천자한 후 5 Fr 카테타를 삽입하여 병소가 있는 쪽의 내경동맥부터 amobarbital을 투여하였다. 약물투여 전에 내경동맥 조영을 실시하여 뇌동맥의 변이 등을 확인하였다. 약물을 주입하기 직전 두 팔을 들고 손을 움직이게 하였고 숫자를 세도록 한 후 반대쪽 팔에 편마비가 일어날 때까지 amobarbital을 투여하였고, 70-150 mg의 amobarbital이 사용되었다. 언어기능의 우세반구를 결정하기 위하여 amobarbital 투여 후 숫자세기에 변화가 있는지 확인하였고 환자의 이름이나 현재의 기분을 묻거나 제시된 그림의 이름 말하기, 간단한 문장을 따라 말하기 등을 시행하여 적절한 반응을 보이는 지를 확인하였다. 병소가 있는 쪽의 검사가 끝난 후 30분 이상의 시간을 두어 반대편에서 같은 방법으로 검사를 시행하였다. Wada 검사 결과 모든 환자의 언어의 우세반구는 좌측으로 나타났다.

### *fMRI*

MRI는 1.5T 초전도 자기공명영상장치(GE medical system, Signa, Milwaukee, U.S.A.)를 사용하였다. fMRI는 EPI-BOLD 기법(TR/TE 3000/60 ms, 화소 64×64, 절편두께 5 mm, FOV 24 cm)을 사용하여 전교련(anterior commissure)와 후교련(posterior commissure)을 연장한 선에 평행한 20절편의 횡단면 영상을 얻었다. fMRI를 얻기 전에 fMRI와 같은 위치에서 T1-강조영상(TR/TE 417/9 ms, 화소 256×256, 절편두께 5 mm, FOV 24 cm)을 얻어 해부학적 영상으로 사용하였다. fMRI는 4번의 활성기와 5번의 휴식기를 번갈아 가며 시행하였고 각 휴식기 및 활성기에 단면당 10회의 영상을 얻었으며 EPI 영상이 평형기(equilibrium state)를 이룰 때까지 4회의 모조영상(dummy scan)을 시행하였다. 총 영상획득시간은 모조영상을 포함하여 282초였다.

**Table 1.** Summary of Patients

| Patient No. | Age/ Sex | Handedness | Seizure focus | | Etiology |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Hemisphere | Lobe | |
| 1 | 23/F | R | R | Temporal | MTS |
| 2 | 26/F | R | R | Temporal | MTS |
| 3 | 19/M | R | R | Temporal | Unknown |
| 4 | 44/M | R | L | Temporal | Unknown |
| 5 | 28/M | R | R | Temporal | Unknown |
| 6 | 39/F | R | L | Frontal | AVM |
| 7 | 18/M | L | R | Temporal | MTS |
| 8 | 32/F | R | L | Frontal | Unknown |
| 9 | 41/M | R | R | Temporal | MTS |
| 10 | 20/F | R | B | Temporal | Unknown |
| 11 | 48/F | R | R | Temporal | MTS |
| 12 | 21/M | R | L | Frontal | Tumor |
| 13 | 27/F | R | L | Temporal | Unknown |
| 14 | 14/F | R | R | Temporal | Tumor |
| 15 | 39/F | R | L | Temporal | MTS |
| 16 | 15/M | R | L | Temporal | CA |

R: right, L: left, B: both, MTS: mesial temporal sclerosis
AVM: arteriovenous malformation, CA: cavernous angioma

### *자극과제*

자극은 컴퓨터와 연결된 액정 패널과 프로젝터(overhead projector)를 이용하여 MRI 촬영실내에 위치한 반투명 스크린으로 투사되었고, 환자는 두부코일(head coil) 내에 부착된 거울을 통하여 반투명 스크린에 투사되는 자극을 보고 다음의 과제들을 수행하였다. 단어생성과제의 경우 활성기에는 한글 한 음절을 2초 동안 보여주었고 다음 음절이 나타날 때까지 같은 음절로 시작되는 단어를 생각해내어 속으로 말하도록 하였다(예, 가 → 가위, 가수, 가방, ....). 각 음절 사이에는 1초의 빈 슬라이드를 보여주어 음절을 구분하였다. 휴식기에는 스크린의 가운데 위치한 십자모양을 집중하여 보고만 있고 가능한 다른 생각을 하지 않도록 하였다. 어휘판단과제의 경우 2음절 또는 3음절의 단어와 가짜 단어를 무작위로 보여준 후 주어진 자극이 단어인지 아닌지를 판단하여 단어일 경우 오른손으로 압착공(squeeze ball)을 눌러 신호하도록 하였다(예, 수박 → 신호, 수밤 → 신호하지 않음). 자극은 1초마다 보여 주었고 자극 사이의 간격은 없었다. 휴식기에는 여러 바탕색의 빈 슬라이드를 보여주고 빨간 색 바탕의 슬라이드가 나오면 압착공을 눌러 신호하도록 하였다. 검사를 시작하기 전에 각 과제에 대한 설명을 충분히 하였다.

### *영상후처리*

얻어진 데이터의 영상후처리는 퍼스널 컴퓨터로 옮겨 fMRI 분석 소프트웨어인 Statistical parametric mapping 프로그램(SPM 99, MRC Cyclotron Unit, London, UK)을 이용하여 분석하였다. 영상획득과정에서의 움직임을 보정하기 위하여 Automated image reconstruction(AIR) 프로그램(21)을 이용하여 이미지를 재정렬 하였고, Gaussian filter를 이용하여 이미지 다듬기(smoothing)를 시행하였다. ANCOVA model을 이용하여 전체혈류(global flow)를 보정한 후 화소단위의 t-test를 시행하여 활성화지도(statistical parametric mapping)를 얻었다. 유의수준 $p<0.01$ 또는 $p<0.001$을 기준으로 활성화 신호를 결정하고 이를 해부학적 영상인 T1-강조영상에 중첩하여 최종 fMRI를 얻었다.

### *분석*

단어생성과제와 어휘판단과제를 이용하여 얻어진 fMRI에서 나타난 활성화의 정도와 활성화 신호가 나타난 부위를 육안으로 비교하였다. fMRI에서 언어기능의 우세반구를 결정하기

위하여 각 자극과제에서 얻어진 활성화 영상에서 소뇌, 후두엽, 기저핵에서 나타난 활성화 신호를 제외한 활성화 화소의 수를 반구전체, 전두엽, 측두정엽으로 나누어 정량적으로 측정하였다. 각 단면에서 측정한 화소의 수를 합산하여 다음의 수식으로 편재화지수를 구하였다.

$$\text{편재화지수} = \frac{\text{좌측활성화화소의수} - \text{우측활성화화소의수}}{\text{좌측활성화화소의수} + \text{우측활성화화소의수}} \times 100$$

계산된 편재화지수의 값이 10보다 클 경우 좌측이 우세반구로, -10보다 작은 경우는 우측이 언어의 우세반구로 판정하며, -10 - 10사이의 값을 보인 경우는 양측성으로 판정

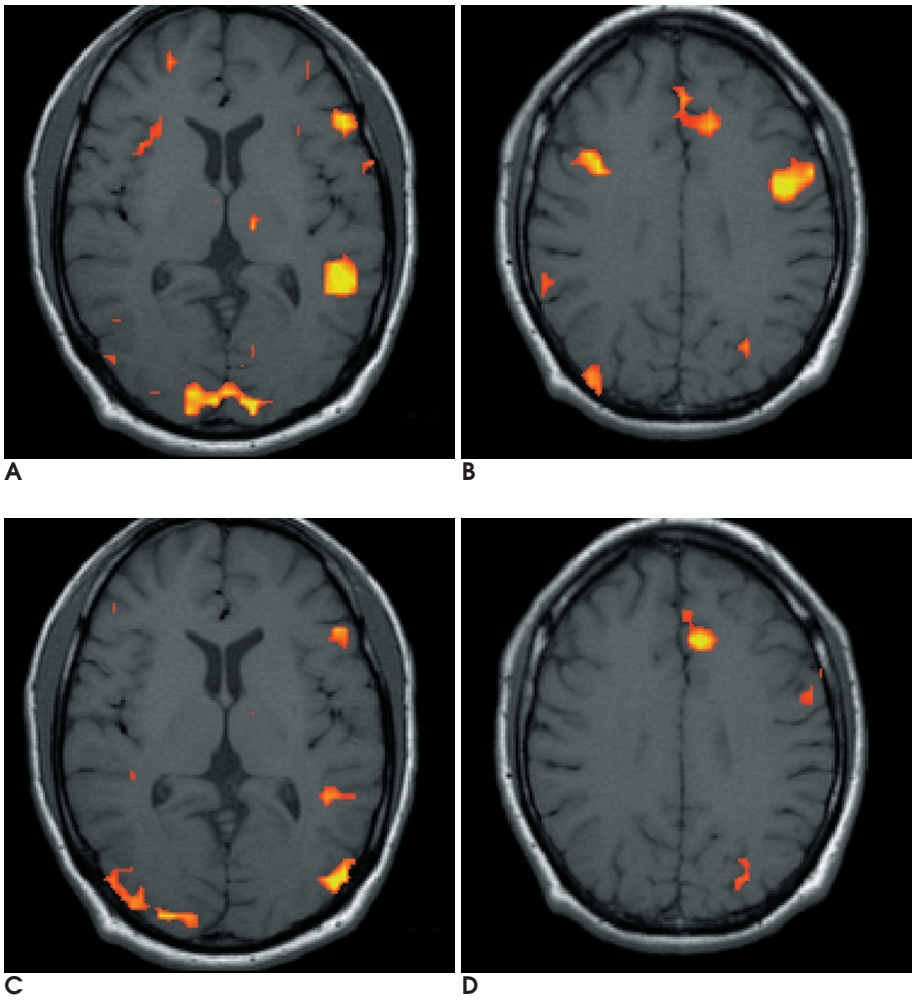


**Fig. 1.** Functional MR images (fMRIs) in a patient with right temporal lobe epilepsy (case 7) who had left language dominance in Wada test.
**A, B.** Activation map images obtained during word generation task. Lower level image (**A**) demonstrates activated signals in the both inferior frontal gyri and left middle temporal gyrus. Mid-level image (**B**) shows activated signals in both precentral gyri and medial frontal gyrus (supplementary motor area).
**C, D.** Map images obtained during lexical decision tasks. Lower level image (**C**) shows smaller activated signals in the left inferior frontal and middle temporal gyrus than those of word generation task. Mid-level image (**D**) shows smaller signal in the precentral gyrus than that of word generation task. Activated signal is not seen in the right precentral gyrus during this task.

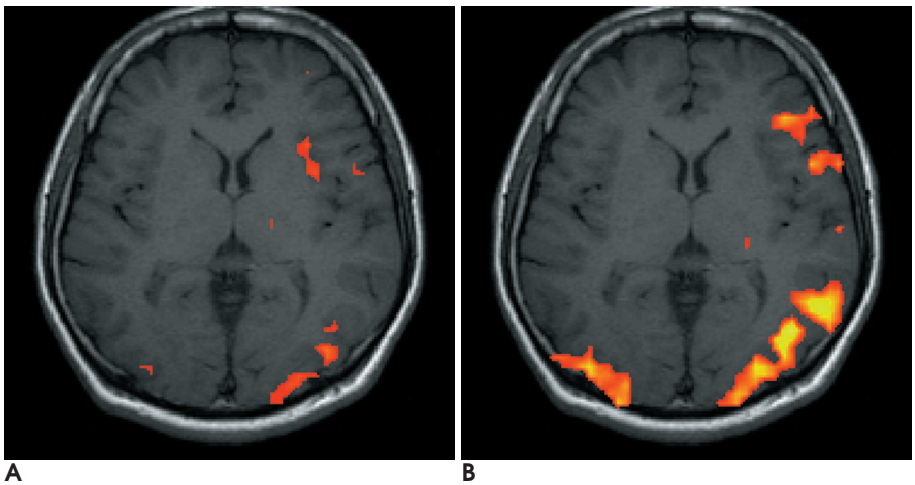


**Fig. 2.** Functional MR images (fMRIs) in a patient with right temporal lobe epilepsy (case 3).
Activation map image (**A**) obtained during word generation task demonstrates activated signals in the left inferior frontal gyrus. Activation map image (**B**) obtained during lexical decision task shows larger activated signal in the left inferior frontal gyrus than that of word generation. Note the activated signals in the left middle temporal gyrus which is not seen in word generation task.

하였고, Wada 검사의 결과에 의한 언어의 우세반구와 일치하는지 비교하였다. 각 과제에서 활성화 신호를 비교한 부위에 따라 편재화지수의 차이가 있는지를 알아보았고, 각 비교 부위에서 사용한 자극과제에 따라 편재화지수에 차이가 있는지 알아보았다.

과제별로 활성화된 화소수의 차이나 편재화지수의 차이에 대한 통계적인 검증은 $t$-test를 이용하였고 $p$ - 값이 0.05 보다 작은 경우 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

## 결 과

대상으로 하였던 16명 모두에서 성공적으로 활성화 영상을 얻을 수 있었으며 단어생성과제에서 판단의 정확도는 평균 94%였다. 전두엽, 측두엽, 하두정엽의 여러 부위에서 활성화 신호가 나타났으며, 단어생성과제의 경우 전두엽 및 두정엽의 활성화가 모든 환자에서 있었고, 측두엽의 활성화는 1명을 제외한 15명에서 나타났다. 어휘판단과제의 경우 전두엽의 활성화는 모든 환자에서 나타났고, 두정엽과 측두엽의 활성화는 2명을 제외한 14명에서 나타났다. 두 과제에서 활성화 신호가 나타난 부위에는 차이가 없었으며 전두엽에서는 하전두회, 전운동영역 및 운동영역, 보조운동영역에서, 측두엽에서는 중측두엽과 하측두엽에서, 두정엽에서는 내두정엽구(intraparietal sulcus)와 하두정엽에서 일정한 영역의 활성화가 있었다(Fig. 1, 2).

활성화 신호의 화소 수는 단어생성과제가 어휘판단과제에 비해 많은 경우가 13명(81%), 어휘판단과제가 단어생성과제에 비해 많았던 경우가 3명(19%)으로 단어생성과제가 어휘판단과제에 비해 많은 활성화를 유도하였고 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.01$, Table 2). 활성화 신호를 전두엽과 측두정엽의 활성화로 나누어 정량적으로 비교하였을 때는 전두엽의 활성화는 단어생성과제가 유의하게 많았지만 측두정엽의 활성화에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

반구전체의 활성화와 측두정엽의 활성화를 좌우 비교한 편재화지수를 기준으로 언어의 우세반구를 결정하였을 때 단어생성과제의 경우 16명(100%) 모두에서 Wada 검사의 결과와 일치하였고, 어휘판단과제의 경우 1명을 제외한 15명(94%)에서 Wada 검사와 일치하였다. 전두엽의 활성화를 비교하여 우세반구를 결정하였을 때 어휘판단과제의 경우 1명에서는 우측으로 1명에서는 양측성으로 나타나 Wada 검사와의 일치율은 단어생성과제의 경우 100%(16/16), 어휘판단과제의 경우는 88%(14/16)였다.

활성화 신호를 반구전체, 전두엽, 측두엽으로 나누어 활성화된 화소의 수를 좌우 비교하였을 때 같은 과제에서 활성화 신호를 비교한 부위별로 편재화지수의 차이는 없었다($p>0.05$). 어휘판단과제를 이용한 경우가 편재화지수의 평균값은 전두엽, 측두정엽, 반구전체의 활성화 신호를 비교하였을 때 각각 61, 71, 69로 활성화 신호를 비교한 부위와 관계없이 단어생성과제를 이용한 경우의 편재화지수(49, 56, 52)에 비해 높았다. 반구전체나 전두엽의 활성화를 비교한 경우 75%(12/16)에서, 측두정엽의 활성화를 비교한 경우 69%(11/16)에서 어휘판단과제를 이용한 경우가 단어생성과제에 비해 높은 편재화지수를 보였다(Table 2). fMRI에서 좌측이 언어의 우세반구로 판정된 환자를 대상으로 편재화지수를 비교하였을 때 어휘판단과제를 이용한 경우의 편재화지수가 단어생성과제를 이용한 경우에 비해 통계적으로 유의하게 높았지만($p<0.05$), 모든 환자를 대상으로 비교하였을 때 이는 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

**Table 2.** Number of Activated Pixels and Lateralization Index in Each Task

| Patient | Activated Pixel | | Lateralization index: Word generation | | | Lateralization index: Lexical decision | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | WG | LDT | F | TPL | Hemi | F | TPL | Hemi |
| 1 | 3413 | 3917 | 33 | 46 | 38 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 8746 | 2894 | 36 | 25 | 33 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | 5712 | 6311 | 91 | 95 | 92 | 95 | 37 | 66 |
| 4 | 7940 | 1383 | 31 | 44 | 34 | 100 | 19 | 54 |
| 5 | 5541 | 2870 | 52 | 81 | 60 | 68 | 74 | 71 |
| 6 | 5119 | 1424 | 20 | 64 | 42 | 46 | 83 | 64 |
| 7 | 5863 | 2203 | 58 | 12 | 39 | 81 | 52 | 73 |
| 8 | 6185 | 885 | 79 | 79 | 79 | 100 | 100 | 100 |
| 9 | 5764 | 4621 | 45 | 78 | 57 | - 3 | - 22 | - 12 |
| 10 | 4354 | 3352 | 61 | 27 | 54 | 67 | 36 | 59 |
| 11 | 2438 | 3963 | 23 | 14 | 20 | 59 | 100 | 85 |
| 12 | 7455 | 2873 | 78 | 78 | 78 | 100 | 100 | 100 |
| 13 | 5346 | 817 | 43 | 97 | 55 | -100 | 80 | 55 |
| 14 | 9871 | 2787 | 53 | 58 | 54 | 24 | 80 | 37 |
| 15 | 5449 | 282 | 31 | 58 | 42 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 10191 | 235 | 58 | 41 | 54 | 46 | 100 | 53 |
| Mean | 6184 | 2551 | 49 | 56 | 52 | 61 | 71 | 69 |

WG: word generation task, LDT: lexical decision task
F: frontal lobe, TPL: temporoparietal lobe, Hemi: hemisphere

## 고 찰

간질환자의 수술 전 언어기능의 우세반구를 알아보는 것은 수술에 따른 언어기능의 손실을 예상하고 이를 최소화하기 위해 필수적이다. 대뇌동맥을 통하여 sodium amytal을 주사하여 한 쪽 대뇌를 일시적으로 마비시킨 후 언어기능의 변화를 보는 Wada검사는 뇌수술이 예정되어 있는 환자의 언어기능에 대한 검사로 가장 보편적으로 쓰이는 방법이다(22). Wada 검사는 지금까지의 알려진 방법 중에 가장 정확한 방법으로 알려져 있지만(23), 혈관조영술을 이용해야 하는 침습적인 검사이며 좌우의 혈류가 교차하는 변이가 있거나 과다한 마취가 유도될 경우 검사의 신뢰도가 낮아질 수 있고, 약물의 효과가 있는 시간 동안만 검사를 시행할 수 있는 시간적인 단점이 있다(24 - 27). 최근 비침습적으로 대뇌의 기능을 영상화 할 수 있는 fMRI가 개발됨에 따라 이를 이용하여 비침습적으로 언어기능을 영상화하고 언어기능의 우세반구를 판정하고자 하는 연구들이 활발히 진행되고 있다(10 - 19). fMRI

를 이용한 언어기능의 검사는 비침습적이며 언어기능을 직접적으로 보여줄 수 있기 때문에 Wada 검사와는 달리 혈관의 변이에 영향을 받지 않으며 언어기능과 연관된 부위를 정확히 알 수 있다는 장점이 있으며, 최근 fMRI를 이용하여 언어기능의 우세반구를 결정하고 이를 Wada 검사와 비교한 연구들에서 높은 일치도가 보고된 바 있다(10 - 13, 17, 19). 본 연구에서 대상으로 하였던 16명 모두에서 언어기능의 fMRI를 얻었으며, 단어생성과제를 이용한 경우 16명 모두에서, 어휘판단과제를 이용한 경우 15명에서 Wada검사와 일치된 결과를 얻을 수 있어 fMRI가 언어기능의 우세반구를 결정하는 유용한 방법이 될 수 있음을 확인하였다.

fMRI를 이용하여 언어기능의 우세반구를 판정하고자 할 때 언어기능의 활성화를 유도하기 위하여 사용되는 자극과제는 매우 중요한 요소이지만 아직까지 어떤 자극과제가 활성화 영상에 가장 적합한 과제인지는 알려진 바 없다. 음절이나 단어를 제시하고 이와 연관된 단어들을 생각해내는 단어생성과제가 가장 널리 사용되고 있으며(4, 12), 본 연구에서도 단어생성과제를 이용하여 얻은 활성화 신호를 기준으로 언어기능의 우세반구를 판정하였을 때 16명 모두에서 Wada검사와 일치된 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 단어생성과제는 집중, 단어에 대한 지식, 단기기억, 적절한 단어의 선택, 판단 등의 여러 인지기능을 필요로 하기 때문에 인지기능의 저하가 동반된 환자에서는 과제수행이 힘들고, 과제를 얼마나 성실히 수행하는지는 환자의 의지에 의존할 수밖에 없는 단점이 있다. 판단과제를 이용하는 경우 환자의 과제수행을 검사실 밖에서 확인할 수 있는 장점이 있으며 Desmond 등(11)과 Binder 등(12)은 구체어(concrete)와 추상어(abstract)를 구분하는 판단과제와 동물의 특성을 판단하는 과제를 이용한 연구들에서 fMRI의 결과와 Wada 검사의 높은 일치도를 보고한 바 있다. 하지만 이들이 사용하였던 판단과제는 단어생성과제와 마찬가지로 여러 인지기능을 필요로 하는 쉽지 않은 과제로 인지기능의 저하가 동반될 수 있는 간질환자의 fMRI 검사에 보편적으로 적용하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서 사용한 어휘판단과제는 주어진 자극이 단어인지 아닌지를 판단하는 비교적 쉬운 과제로 언어의 세부 기능별 연구나(28) 단어생성과제의 대조과제로 사용된 적이 있으며(29) 언어기능의 우세반구 판정을 위해 사용된 적은 없다. 대상으로 하였던 환자에서 검사가 끝난 후 대상자에게 과제의 난이도를 확인하였을 때 어휘판단과제가 단어생성과제에 비해 쉬웠음을 확인하였고, 단어에 대한 판단의 정확도는 평균 94%였다.

어휘판단과제를 이용하여 얻은 활성화 영상에서 활성화 신호가 나타난 부위는 단어생성과제를 이용한 경우와 비교하여 차이가 없었다. 활성화된 화소의 수는 어휘판단과제를 이용한 경우 단어생성과제를 이용한 경우에 비해 작은 경우가 81%(13/16)이었지만, 19%(3/16)에서는 단어생성과제에 비해 많은 활성화를 유도하였다(Fig. 1, 2). 전두엽 특히 운동 및 전운동영역의 활성화에 차이가 많았는데 이는 단어생성과제에서는 단어를 속으로 말하게 하였고 어휘판단과제에서는 주어진 자극에 대한 판단만을 하도록 하였기 때문에 발성을 준비하고 수행하는 음성고리(phonological loop)와 연관된 활성화가 상대적으로 적었을 가능성이 있을 것으로 생각된다. 측두정엽의 활성화도 단어생성과제를 이용한 경우가 어휘판단과제를 이용한 경우에 비해 많았으나 이는 통계적으로 유의하지 않았다.

편재화지수는 각 반구에서 활성화된 화소의 수를 좌우 비교하는 방법으로 fMRI에서 언어기능의 우세반구를 판정하기 위해 보편적으로 사용되는 방법이다. Desmond 등(11)과 Bahn 등(13)은 하전두회의 활성화를, Yetkin 등(10)은 하전두회와 중심전회의 활성화를, Binder 등(12)은 반구전체를 비교하여 우세반구를 결정하여 Wada 검사와 일치된 결과를 얻었음을 보고하였다. 최근 Lehericy 등(19)은 단어생성과제, 문장 반복과제, 문장듣기과제를 이용하여 언어기능의 우세반구를 결정한 연구에서 전두엽의 활성화는 Wada 검사와 일치되는 결과를 보인 반면 측두엽의 활성화는 상관관계가 없음을 보고한 바 있으며, Bahn 등(13)도 측두엽의 활성화를 비교하는 것에 비해 전두엽의 활성화를 비교하는 것이 우세반구를 결정하는데 도움이 되었다는 보고를 하였다. 본 연구에서는 나타난 활성화 신호를 반구전체, 전두엽, 측두정엽으로 나누어 비교해 보았는데 기존의 연구와는 달리 동일과제에서 측정한 부위별로 편재화지수에는 유의한 차이가 없었다. 본 연구에서는 과제를 시각적으로 제시하였고 Bahn 등(13)과 Lehericy 등(19)의 연구는 청각을 통해 자극을 제시하였는데 이러한 자극방법의 차이가 활성화 신호의 편재화에 영향을 미쳤을 가능성이 있겠다. 청각을 통해 자극을 제시할 경우 소리를 듣는 것과 연관된 활성화는 양측 상측두엽에 양측성의 활성화가 나타나는 것으로 알려져 있는데(30, 31), 청각을 사용한 기존의 연구들(13, 19)에서 측두엽의 편재화가 전두엽에 비하여 낮은 것은 이러한 양측성 측두엽의 활성화 때문일 가능성이 있겠다. Lehericy 등(19)의 연구에서 문장듣기과제의 경우 휴식기에 문장을 거꾸로 듣는 과제를 시행하여 청각기능을 감산을 시도하였으며 fMRI에서 측두엽의 활성화가 거의 없음을 기술하고 있는데, 청각기능의 감산과정에서 청각의 1차 감각영역과 구분되지 않는 측두엽의 활성화가 감산되었을 가능성도 생각해 볼 수 있겠다.

언어기능의 활성화를 유도하기 위하여 사용하는 과제는 과제수행을 하기 위해 불가피하게 여러 기능의 활성화를 유도할 수 있다(12, 32). 예를 들어 청각을 이용하여 자극을 제시할 경우 소리정보를 처리하기 위한 활성화는 양측 상측두엽에 양측성으로 나타나는 것으로 알려져 있으며(30, 31), 과제수행을 위해 필요한 집중과 연관된 활성화는 우측 반구에 활성화 신호를 유도하는 것으로 알려져 있는데(33, 34), 좌측이 언어의 우세반구인 경우 이러한 양측성 또는 우측이 우세한 활성화는 언어기능의 우세반구 판정을 위해 계산하는 편재화지수를 낮아지게 할 수 있다. 따라서 감산방법(cognitive subtraction method)을 이용하여 활성화 신호를 얻는 경우 휴식기에 적절한 대조과제를 수행하게 하여 언어기능과 관련이 적은 다른 인지기능에 의한 활성화를 감산하는 것이 중요하다. 반대로 언어기능이 포함된 과제를 대조과제로 사용하는

경우 언어기능과 연관된 활성화를 감산할 수 도 있다(5). 본 연구에서 어휘판단과제를 이용한 경우가 단어생성과제를 이용한 경우에 비해 활성화 신호를 비교한 부위에 관계 없이 편재화지수의 평균값이 높았고, fMRI에서 언어의 우세반구가 좌측으로 판정된 환자의 경우 두 과제의 편재화지수는 통계적으로 유의한 차이가 있었는데($p<0.05$), 어휘판단과제의 경우 휴식기에 스크린의 바탕색을 판단하게 하여 판단이나 집중과 연관된 활성화의 감산을 하였으나 단어생성과제의 경우에는 휴식기에 스크린의 중앙에 위치한 십자가를 집중하여 보고 있게만 하였기 때문에 단어생성과제의 경우 다른 인지기능에 대한 감산이 상대적으로 적었기 때문으로 생각된다.

fMRI를 이용하여 우세반구를 판정하여 Wada 검사와 비교하였을 때 단어생성과제를 이용한 경우는 모두 Wada 검사의 결과와 일치하였고, 어휘판단과제를 이용한 경우 1명은 Wada 검사와 상반된 결과를 보였는데 정확한 이유는 알 수 없었다. 각 과제별 편재화지수는 전체반구의 활성화를 기준으로 할 때 단어생성과제의 경우 19 - 92, 어휘판단과제의 경우 -12 - 100 사이의 다양한 값을 보였다. 전두엽의 활성화를 기준으로 우세반구를 판정하였을 때 1명은 언어의 우세반구는 다른 1명에서 어휘판단과제를 이용한 경우 1명은 좌측이 언어의 우세반구로 1명은 양측성으로 나타났다. 좌측이 언어의 우세반구로 나타난 환자(patient 13)의 경우 어휘판단과제를 이용한 fMRI에서 유도된 전두엽의 활성화 신호는 우측 하전두엽에서만 있었다. 단어생성과제를 이용한 fMRI에서도 하전두엽의 활성화는 우측이 좌측에 비해 많았다. Wada 검사나 fMRI를 이용한 연구(12, 16, 23)에서 언어기능의 편재화는 다양한 분포를 보이며 이는 언어기능이 어느 한 쪽 반구에 국한되어 있다기 보다는 기능별로 한 쪽 반구에 상대적인 우세가 있는 것으로 설명되고 있는데, 이 환자의 경우 하전두엽의 활성화는 두 과제에서 비슷한 양상을 보이는 것으로 미루어 언어의 우세반구는 좌측이지만 하전두엽과 연관된 기능은 우측이 우세할 가능성이 있겠다. 하지만 언어기능의 여러 기능 중 어떤 기능이 하전두엽의 활성화를 유도하였는지는 구분할 수 없었다.

요약하면, 저자들은 단어생성과제에 비해 쉽게 수행할 수 있고 환자의 과제수행을 확인할 수 있는 어휘판단과제를 이용하여 언어기능과 연관된 것으로 알려진 여러 부위의 활성화를 유도하였다. 활성화 화소의 수는 단어생성과제를 이용한 경우에 비해 적었지만 활성화 신호가 나타난 부위는 단어생성과제를 이용한 경우와 다르지 않았다. 활성화 신호의 편재화지수를 이용하여 언어기능의 우세반구를 판정하였을 때 1명에서 Wada 검사와 다른 결과를 보였지만 94%(15/16)에서 Wada 검사와 일치되었다. 어휘판단과제를 이용한 fMRI는 단어생성과제를 이용한 경우에 비해 활성화 유도가 적고 우세반구 판정의 정확도가 낮아 단독과제로의 사용에는 제한점이 있겠지만, 인지기능의 저하가 동반되어 단어생성과제의 성공적인 수행을 기대하기 어려운 경우 언어영역의 활성화 유도 및 우세반구 판정에 있어 유용한 자극과제가 될 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌


1. McCarthy G, Blamire AM, Rothman DL, Gruetter R, Shulman RG. Echo-planar magnetic resonance imaging studies of frontal cortex activation during word generation in humans. *Proc Natl Acad Sci* 1993;90:4952-4956
2. Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, Frost JA, Bandettini PA, Jesmanowicz A, et al. Lateralized human brain language systems demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging. *Arch Neurol* 1995;52:593-601
3. Cuenod CA, Bookheimer SY, Hertz-Pannier L, Zeffiro TA, Theodore WH, Bihan DL. Functional MRI during word generation, using conventional equipment: a potential tool for language localization in the clinical environment. *Neurology* 1995;45:1821-1827
4. Binder JR. Functional magnetic resonance imaging: language mapping. *Neurosurgery Clin North Am* 1997;8:383-392
5. Binder JR, Frost JA, Hammeke TA, Cox RW, Rao SM, Prieto T. Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci* 1997;17:353-362
6. 정희영, 김재형, 신태민, 박상호, 김재수, 이경규, 등. 1.5 T 자기공명영상을 이용한 사람 뇌의 언어관련기능의 Mapping: 운동성 언어기능을 중심으로. *대한방사선의학회지* 1998;38:205- 210
7. 유인규, 장기현, 송인찬, 김홍대, 성수옥, 이상건, 등. EPI 기법을 이용한 운동성 뇌언어중추의 기능적 자기공명영상. *대한방사선의학회지* 1998;38:957-964
8. 유재욱, 나동규, 변홍식, 노덕우, 조재민, 문찬홍, 등. 언어영역의 기능적 자기공명영상. *대한자기공명의과학회지* 1999;3:53-59
9. Springer JA, Binder JR, Hammeke TA, Swanson SJ, Frost JA, Bellgowan PS, et al. Language dominance in nerurologically normal and epilepsy subjects: a functional MRI study. *Brain* 1999;122:2033-2045
10. Yetkin FZ, Hammeke TA, Swanson SJ, Morris GL, Mueller WM, McAuliffe TL, et al. A comparison of functional MR activation patterns during silent and audible language tasks. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995;16:1087-1092
11. Desmond JE, Sum JM, Wagner AD, Demb JB, Shear PK, Glover GH, et al. Functional MRI measurement of language lateralization in Wada-tested patients. *Brain* 1995;118:1411-1419
12. Binder JR, Swanson SJ, Hammeke TA, Morris GL, Mueller WM, Fischer M, et al. Determination of language dominance using functional MRI: a comparison with the Wada test. *Neurology* 1996;46:978-984
13. Bahn MM, Lin W, Silbergeld DL, Miller JW, Kuppusamy K, Cook RJ, et al. Localization of language cortices by functional MR imaging compared with intracarotid amobarbital hemispheric sedation. *AJR Am J Roentgenol* 1997;169:575-579
14. Worthington C, Vincent DJ, Bryant AE, Roberts DR, Vera CL, Ross DA, et al. Comparison of functional magnetic resonance imaging for language localization and intracarotid speech amytal testing in presurgical evaluation for intractable epilepsy: preliminary results. *Stereotact Funct Neurosurg* 1997;69:197-201
15. Hertz-Pannier L, Gaillard WD, Mott SH, Cuenod CA, Bookheimer SY, Weinstein S, et al. Noninvasive assessment of language dominance in children and adolescents with functional MRI: a preliminary study. *Neurology* 1997;48:1003-1012
16. van der Kallen BFW, Morris GL, Yetkin FZ, van Erning LJTO, Thijssen HOM, Haughton VM. Hemispheric language dominance studied with functional MR: preliminary study in healthy volunteers and patients with epilepsy. *AJNR Am J Neuroradiol* 1998;19:

73-77
17. 유재욱, 나동규, 변홍식, 문찬홍, 신성욱, 김영한, 등. 기능적 자기공명영상을 이용한 언어기능의 편재화: Wada검사와의 비교에 관한 예비연구. *대한방사선의학회지* 1999;40:821-827
18. Benson RR, FitzGerald DB, LeSueur LL, Kennedy DN, Kwong KK, Buchbinder BR, et al. Language dominance determined by whole brain functional MRI in patients with brain lesions. *Neurology* 1999;52:798-809
19. Lehericy S, Cohen L, Bazin B, Samson S, Giacomin E, Rougetet R, et al. Functional MR evaluation of temporal and frontal language dominance compared with the Wada test. *Neurology* 2000;54:1625-1633
20. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97-113
21. Woods RP, Cherry SR, Mazziota JC. A rapid automated algorithm for accurately aligning and reslicing PET images. *J Comput Assist Tomogr* 1992;16:620-633
22. Wada J, Rasmussen T. Intracarotid injection of sodium amytal for the lateralization of cerebral speech dominance: experimental and clinical observations. *J Neurosurg* 1960;17:266-282
23. Benbadis SR, Binder JR, Swanson SJ, Fischer M, Hammeke TA, Morris GL, et al. Is speech arrest during Wada testing a valid method for determining hemishperic representation of language? *Brain Lang* 1998;65:441-446
24. Dion JE, Gates PC, Fox AJ, Barnet HJ, Blom RJ. Clinical events following neuroangiography: a prospective study. *Stroke* 1987;18:997-1004
25. Hietala SO, Silfvenius H, Assly J, Olivecrona M, Jonsson L. Brain perfusion with intracarotid injection of 99mTc-HM-PAO in partial epilepsy during amobarbital testing. *Eur J Nucl Med* 1990;16:683-687
26. Malmgren K, Bilting M, Hagberg I, Hedstrom A, Silfvenius H, Starmark JE. A compound score for estimating the influence of inattention and somnolence during the intracarotid amobarbital test. *Epilepsy Res* 1992;12:253-259
27. Bouwer MS, Jones-Gotman M, Gotman J. Duration of sodium amytal effect: behavioral and EEG measures. *Epilepsia* 1993;34:61-68
28. Price CJ, Wise RJ, Watson JD, Patterson K, Howard D, Frackowiak RS. Brain activity during reading. The effects of exposure duration and task. *Brain* 1994;117:1255-1269
29. Frith CD, Friston KJ, Liddle PF, Frackowiak RS. A PET study of word finding. *Neuropsychologia* 1991;29:1137-1148
30. Wise R, Chollet F, Hadar U, Friston K, Hoffner E, Frackowiak R. Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain* 1991;114:1803-1817
31. Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, Yetkin FZ, Jesmanowicz A, Bandettini PA, et al. Functional magnetic resonance imaging of human auditory cortex. *Ann Neurol* 1994;35:662-672
32. Warburton E, Wise RJS, Price CJ, Weiller C, Harda U, Ramsay S, et al. Noun and verb retrieval by normal subjects studies with PET. *Brain* 1996;119:159-179
33. Deutsch G, Papanicolaou AC, Bourbon T, Eisenberg HM. Cerebral blood flow evidence of right cerebral activation in attention demanding tasks. *Int J Neurosci* 1988;36:23-28
34. Pardo JV, Fox PT. Raichle ME. Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature* 1991;349:61-64

J Korean Radiol Soc 2005;52:305 - 312

# Functional MRI Assessment of Hemispheric Language Dominance with Using a Lexical Decision Task[1]

Jae Wook Ryoo, M.D., Dae Seob Choi, M.D., Dong Gyu Na, M.D.[2], Jae Min Cho, M.D., Sam Soo Kim, M.D.[3], Euidong Park, M.D, Jin Jong You, M.D., Sang Hoon Cha, M.D.[4]

*[1]Department of Radiology, Gyeongsang National University College of Medicine*
*[2]Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine*
*[3]Departement of Radiology, Kangwon National University College of Medicine*
*[4]Department of Radiology, Chungbuk National University College of Medicine*

**Purpose:** We wanted to compare the fMRIs (functional magnetic resonance images) obtained during a lexical decision task and also during a word generation task, and we wanted to evaluate the usefulness of using a lexical decision task for the visualization of the brain language area and for the determination of language dominance.

**Materials and Methods:** Sixteen patients (9 women and 7 men) who had had undergone the Wada test were included in our study. All the patients were left dominant for language, as tested for on the Wada test. The functional maps of the brain language area were obtained in all the subjects during the performance of a lexical decision task and also during the performance of a word generation task. The MR examinations were performed with a 1.5 T scanner and with using the EPI BOLD technique. We used the SPM program for the postprocessing of the images. The threshold for significance was set at $p < 0.001$ or $p < 0.01$. A lateralization index was calculated from the number of activated pixels in each hemispheric region (the whole hemisphere, the frontal lobe and the temporoparietal lobe), and the hemispheric language dominance was assessed by the lateralization index; the results were then compared with those results of the Wada tests. The differences for the lateralization of the language area were analyzed with regard to the stimulation tasks and the regions used for the calculation of the lateralization indices.

**Results:** The number of activated pixels during the lexical decision task was significantly smaller than that of the word generation task. The language dominance based on the activated signals in each hemisphere, was consistent with the results of the Wada test for the word generation tasks in all the subjects. On the lexical decision task, the language dominance, as determined by the activated signals in each hemisphere and the temporoparietal lobe, correlated for 94% of the patients. The mean values of the lateralization index for the lexical decision task were higher than those mean values of the lateralization index of the word generation task.

**Conclusion:** The lexical decision task allowed us to map the language area and to determine the language dominance. It could be a useful task for those patients who cannot perform the word generation task because of their cognitive retardation.

**Index words :** Brain
Functional magnetic resonance imaging (fMRI)
Language, Wada test

Address reprint requests to : Dae Seob Choi, M.D., Department of Radiology, Gyeongsang National University College of Medicine, 90 Chilam-dong, Jinju, Gyeongsangnam-do 660-702, Korea.
Tel. 82-55-750-8201 Fax. 82-55-758-1568