

언어영역의 기능적 자기공명영상

유재욱¹ · 나동규¹ · 변홍식¹ · 노덕우¹ · 조재민¹ · 문찬홍² · 나덕렬³ · 장기현⁴

목적 : 언어기능의 지도화(language mapping) 및 우세반구 결정에 있어서 기능적 자기공명영상의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법 : 자원자 10명(남자 6명, 여자 4명, 오른손잡이 7명, 왼손잡이 3명)을 대상으로 단어생성 과제(명사만들기, 동사만들기)와 판단과제를 이용하여 언어영역의 활성화를 유도하였다. 1.5T 초전도 자기공명영상장치에서 EPI로 BOLD 기법을 이용하여 기능적 영상을 얻었으며, 영상후처리는 SPM 분석 프로그램을 이용하였다. 기능적 영상은 2번의 활성화와 3번의 휴식기를 번갈아 시행하였고 스캔 시간은 각각 30초였으며 총 영상획득시간은 162초였다. 유의수준 $p(0.001)$ 을 기준으로 자극 과제에 따라 활성화된 뇌영역을 분석하였고 반구별로 활성화된 화소의 수를 측정하여 편재화지수(lateralization index)를 구하였다.

결과 : 왼손잡이 1명을 제외한 9명에서 성공적으로 기능적 영상을 얻었으며 양측 전운동영역(premotor area), 하전두회, 두정엽, 중측두회 등의 여러 영역에서 활성화 신호가 나타났다. 오른손잡이의 경우 편재화지수는 평균 0.64(0.16~1)로 모두 좌측으로 편재화 되었다. 과제별로는 동사만들기 과제가 명사만들기 및 판단 과제에 비해 언어 영역의 활성화가 많았고 편재화지수의 값도 높았다.

결론 : 기능적 자기공명영상은 언어영역의 뇌기능지도화 및 우세반구 결정에 있어서 유용한 검사 방법이 될 수 있으리라 생각된다.

기능적 뇌지도화(functional brain mapping)는 특정한 자극을 주거나 특정한 영역의 과제를 수행할 때 활성화되는 뇌영역을 규명하는 연구로서 기초 신경과학 분야 및 임상 응용에 있어서 매우 중요한 과제이다. 1990년대 초 MR영상을 이용한 시각기능의 영상화를 시작으로 감각 및 운동영역의 기능적 자기공명영상(이하 fMRI)에 대한 많은 연구가 보고되고 있으며(1-6), 최근에는 언어기능의 영상화 및 편재화(lateralization)에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다(7-20). 하전두회(inferior frontal gyrus), 측두엽, 두정엽 등 여러 부위가 언어기능과 연관이 있다고 알려져 있으며 PET나 MR을 이용한 언어영역의 기능적 영상에서 이들 부위의 활성화 및 편재화가 보고되고 있으

나 아직 국내에는 운동성 언어중추인 하전두회의 활성화만이 보고되어 있다(15-16). 저자들은 단어생성과제(word generation task)와 판단과제(decision task)를 사용하여 언어기능을 영상화하고 우세 대뇌반구를 결정하는데 있어서 fMRI의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

정상 성인 자원자 10명(21~41세: 평균 29.1세)을 대상으로 하였으며 남자가 6명, 여자가 4명이었다. 신경심리검사(21)를 이용하여 손잡이를 결정하였으며 7명은 오른손잡이였고 3명은

대한자기공명의과학회지 3:53-59(1999)

¹성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 진단방사선과,

²한국과학기술원,

³성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과,

⁴서울대학교 의과대학 진단방사선과학 교실

*이 논문은 보건과학기술연구개발사업 연구비(기능적자기공명영상을 이용한 언어 및 기억기능의 기능적 뇌지도화 및 뇌기능 연구(연구번호: HMP-98-N-1-0023))의 지원에 의해 이루어진 것임.

접 수 : 1998년 10월 10일, 채 택 : 99년 1월 5일

통신저자 : 나동규 서울시 강남구 일원동 50

Tel. 82-2-3410-0516 Fax. 82-2-3410-2559

유재욱 외

원손잡이었다. 1.5T 초전도 자기공명영상장치(GE medical system, Milwaukee, USA)에서 echo planar image(이하 EPI로 약함) BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) 기법을 이용하여 20절편의 활성화 영상을 얻었다(Interleaved gradient echo single shot EPI, TR/TE 3000/60 msec, 숙입각(flip angle 90°, matrix 64×64, 절편두께 5mm, no slice gap, FOV 24×24cm). AC-PC 선을 기준으로 하여 횡단면 영상을 얻었으며 가능한 한 모든 대뇌가 포함되도록 조정하였다. EPI 영상 전에 같은 위치에서 T1-강조영상(TR/TE 417/9 msec, matrix 256×256, 절편두께5mm, no slice gap, FOV 24X24cm)을 얻어 해부학적 영상으로 사용하였다.

기능적 영상은 2번의 활성화와 3번의 휴식기를 번갈아 가며 시행하였고 각각의 휴식기 및 활성화에 절편당 10회의 영상을 얻었으며 각 영상획득시간은 30초였다. EPI 영상이 평형기(equilibrium state)를 이루기 전의 높은 신호를 보정하기 위해 12초간의 모조영상(dummy scan)을 활성화 영상을 얻기 전에 추가로 얻었으며, 총 스캔 시간은 모조영상을 포함하여 162초가 소요되었다. 휴식기에는 스크린의 가운데 위치한 십자모양을 피검자가 집중하여 보고만 있고 가능한 다른 생각을 배제하도록 하였다. 활성화에는 다음과 같은 언어와 관련된 과제를 스크린을 통해 투사하였으며 검사를 시작하기 전에 각각의 과제에 대한 설명을 충분히 하였다. 명사만들기 과제는 2초마다 새로운 음절을

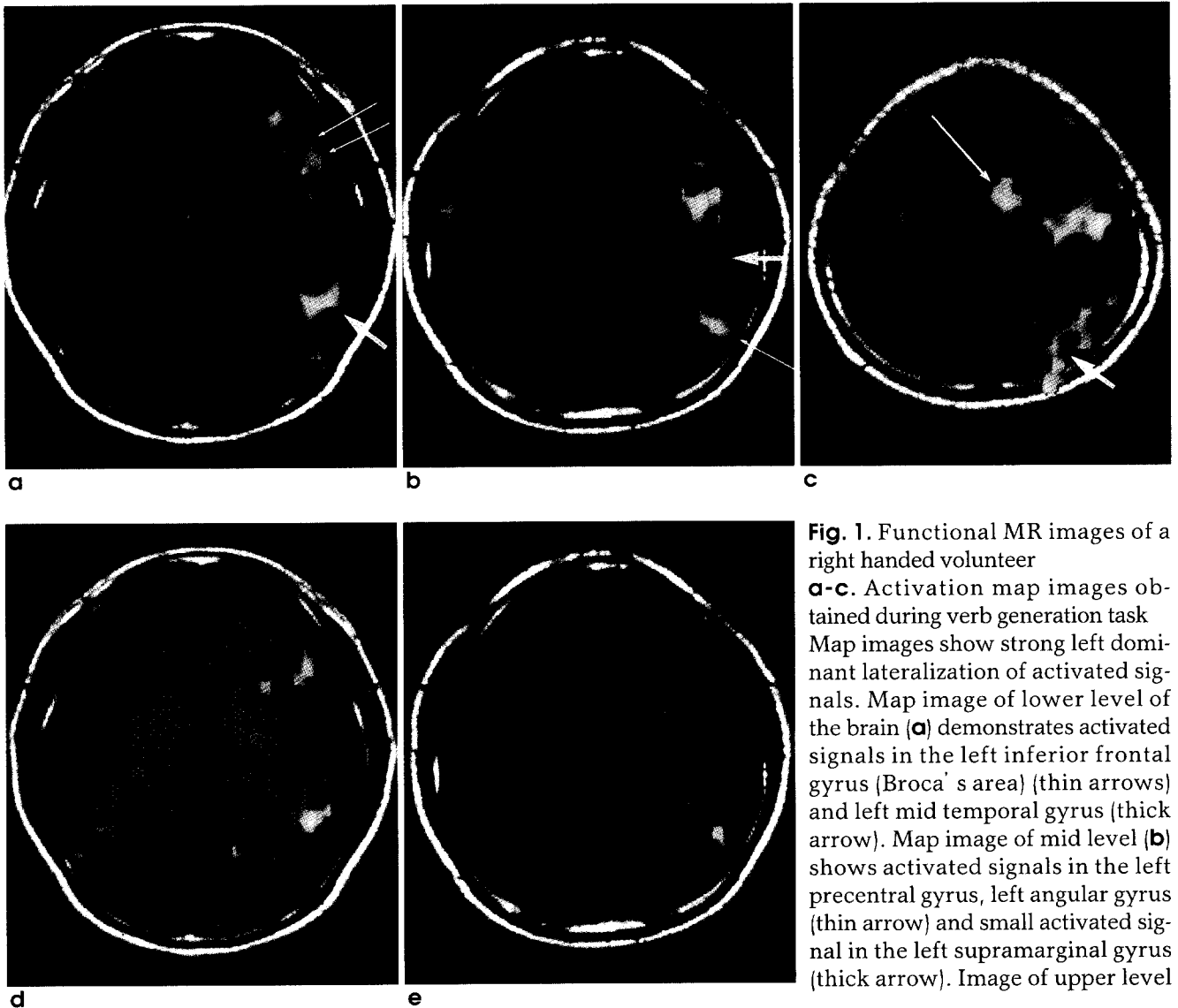


Fig. 1. Functional MR images of a right handed volunteer
a-c. Activation map images obtained during verb generation task
 Map images show strong left dominant lateralization of activated signals. Map image of lower level of the brain (**a**) demonstrates activated signals in the left inferior frontal gyrus (Broca's area) (thin arrows) and left mid temporal gyrus (thick arrow). Map image of mid level (**b**) shows activated signals in the left precentral gyrus, left angular gyrus (thin arrow) and small activated signal in the left supramarginal gyrus (thick arrow). Image of upper level (**c**) also shows activated signals in the left supplementary motor area (thin arrow) and left intraparietal sulcus (thick arrow). Small activated signals are also seen in the right frontoparietal lobe.
d-e. Activation map images obtained during noun generation task (**d**) and decision task (**e**) shows small activated signals in the language areas corresponding to those in verb generation task.

보여주고 같은 음절로 시작하는 명사를 최대한 많이 생각해 내어 속으로 말하게 하였다(예: 기 --> 기차, 기린……). 동사만들기 과제는 2-3초마다 새로운 단어를 보여주고 주어진 단어와 연관이 있는 동사를 최대한 많이 속으로 말하게 하였다(예: 사과 --> 먹다, 깎다……). 판단하기 과제는 활성화가 시작되기 직전에 판단기준(네발달린 초식동물, 개보다 큰 육식동물)을 2초간 보여주었고 2초마다 여러 동물의 이름을 보여주어 판단기준에 합당한 경우 압착공(squeeze ball)을 눌러 신호하도록 하였다. 각각의 단어와 음절은 모두 1초 동안만 보여주었고 나머지 1-2초는 빈 슬라이드를 보여주었다.

얻어진 활성화 영상의 영상후처리는 PC로 옮겨 fMRI분석 소프트웨어인 Statistical Parametric Mapping (SPM96, MRC Cyclotron Unit, London, UK) 분석 프로그램을 이용하여 시행하였다. 움직임에 의한 오정렬(misalignment)을 보정하기 위해 Automated Image Reconstruction(AIR) 소프트웨어(22)를 사용하였다. ANCOVA를 이용하여 전체적 표준화(global normalization)를 시행하였고, 화소 단위로 t-test를 시행하여 활성화 지도인 SPMt를 얻었다. 유의수준 $p < 0.001$ ($Z \text{ score} > 3.1$)을 기준으로 얻어진 활성화 지도를 미리 얻은 T1영상에 중첩하여 최종 기능적 영상을 얻었다. 신호 대 잡음비를 높이고, 잡음을 제거하기 위하여 시간 및 공간에 대한 gaussian filtering 및 high pass filtering을 시행하였다. 분석은 유의수준 $p < 0.001$ 을 기준으로 얻은 영상을 기준으로 과제에 따라 활성화된 영역을 육안으로 분석하였고 우세 반구를 결정하기 위해 후두엽, 소뇌, 기저핵 등의 활성화를 제외한 활성화된 화소수를 측정하였다. 반구별 화소 수를 합산한 후 다음의 수

식으로 편재화 지수(lateralization index)를 구하여 과제별로 비교하였다.

편재화지수(lateralization Index) = (좌측 활성화 화소의 수 - 우측 활성화 화소의 수) / (좌측 활성화 화소의 수 + 우측 활성화 화소의 수)

결 과

왼손잡이 1명을 제외한 9명에서 성공적으로 기능적 영상을 얻었으며 판단하기 과제의 경우 평균 정답율은 86%였다. 왼손잡이 1명의 경우는 모든 과제에서 전전두엽 피질(prefrontal cortex)의 활성화만이 나타나 분석에서 제외하였다. 과제별로는 동사만들기 과제가 가장 많은 활성화를 보였고 분석 대상으로 한 9명에서 모두 성공적으로 활성화 영상을 얻을 수 있었다. 명사만들기 과제와 판단하기 과제에서는 각각 1명과 3명에서 의미 있는 활성화가 없었다.

각 과제에서 활성화된 뇌의 중요영역에 대한 육안적 분석 결과 및 편재화는 table 1에 정리하였다. 전두엽, 측두엽, 두정엽의 여러 부위에서 일정 부위에 활성화 신호가 나타났는데 전운동영역 및 운동영역(Brodmann's area 6,4)의 활성화가 가장 빈번하였고 활성화된 화소의 수도 가장 많았으며 하전두회(Brodmann's area 44,45,46), 두정엽(Brodmann's area 39,40), 보조운동영역, 중측두회(Brodmann's area 21,22)에서 일정한 영역의 대뇌피질에 활성화가 있었다(Fig. 1). 두정엽의 활성화는 주로 하두정엽에 위치하였고 앞쪽에 위치한 상연회(supramarginal gyrus, Brodmann's area 40)보다 뒤

Table 1. Summary of activation sites and lateralization in nine volunteers

Activation area	Lateralization								
	Noun			Verb			Decision		
	L > R	L = R	R > L	L > R	L = R	R > L	L > R	L = R	R > L
Rt. Handedness(n = 7)									
M/PM(BA 6, M1)	6			7			2	1	1
INF(BA 44,45,46)	5		1	7			2		1
Parietal	5	1		6	1		4		
Angular(BA39)	5			4	1		2		
SMG(BA 40)	2	3		3			2	1	
MT(BA 21,22)	5			4			2		1
SMA	5			7			4		
Lt. Handedness(n = 2)									
M/PM(BA 6, M1)	1	1		2				1	
INF(BA 44,45,46)	1		1	2					1
Parietal(BA 39, 40)	1	1		2					1
Angular(BA39)	1		1	2					1
SMG(BA 40) MT(BA 21,22)			1	1		1			
SMA	1	1			1				

L > R : dominant activation in the left hemisphere, L = R : similar activation in both hemispheres, R > L : dominant activation in the right activation, M/PM : motor and premotor areas, BA : Brodmann's area, INF: inferior frontal area, SMG : supramarginal gyrus, MT : mid-temporal area, SMA : supplementary motor area

Table 2. Summary of Lateralization index* for language dominance in each task

	Task			Total (average)
	Noun	Verb	Decision	
Rt. Handedness				
1		0.58	0.85	0.72±0.19
2	0.78	0.90	0.49	0.72±0.21
3	0.44	0.81	0.23	0.49±0.29
4	0.58	0.71	0.74	0.68±0.08
5	1.00	0.42	1.00	0.81±0.33
6		0.47	0.86	0.66±0.27
7	0.16	0.47		0.31±0.22
Total	0.57±0.29	0.68±0.19	0.66±0.30	0.64±0.25
Lt. Handedness				
1	0.55	0.82		0.69±0.19
2	0.07	0.47	-0.59	-0.01±0.54
Total	0.31±0.34	0.65±0.25	-0.59	0.27±0.55

*Lateralization index = [(activated pixel number in the left - activated pixel number in the right)/(activated pixel number in the left + activated pixel number in the right)]

쪽에 위치한 각회(Brodmann's area 39) 및 내두정엽구(intraparietal sulcus)를 따른 활성화가 많이 나타났다. 이외의 뇌영역에도 부분적으로 활성화가 있었는데, 동사만들기 과제에서 9명중 대상회전(anterior cingulate) 부위가 5명(56%), 상전두회 또는 중전두회 5명(56%), 기저핵 5명(56%), 상측두회 2명(22%), 시상(thalamus) 1명(11%)에서 활성화가 관찰되었고, 8명에서 후두엽에 활성화가 관찰되었다. 이들 영역의 활성화 정도는 명사만들기 과제와 판단과제에서는 동사만들기 과제에서 보다 적게 나타났다. 동사만들기 과제에서 소뇌의 활성화는 오른손잡이 7명중 6명에서 있었고, 우측이 우세한 예가 5명, 양측성이 1명 이었으며, 왼손잡이 2명은 우측이 우세한 활성화를 나타냈다.

활성화된 화소의 수를 정량적으로 측정하여 계산한 편재화 지수의 값은 오른손잡이의 경우 0.16에서 1로 모두 좌측으로 편재화 되었다(table 2). 왼손잡이의 경우 1명은 좌측(0.69±0.19)으로 편재화 되었고 다른 한 명의 경우 과제별로 편재화가 달라졌으며 평균 값은 0에 가까웠다(-0.01±0.54). 과제별로는 오른손잡이의 경우 동사만들기 과제의 편재화지수 평균값이 명사만들기 과제나 판단하기 과제의 편재화지수에 비해 높았으며 다른 과제에 비하여 상대적으로 비슷한 수치의 분포를 나타냈다(table 2).

고 찰

fMRI은 BOLD 기법의 개발과 급속영상의 발전을 토대로 PET와 함께 뇌기능 지도화의 비침습적인 방법으로 현재 활발히 이용되고 있다. 언어영역의 기능적 영상에 관한 연구에 의하면 전두엽 및 측두정엽에서 언어와 연관된 의미 있는 활성화가 보고

된 바 있으며 기존 연구 방법인 전기자극이나 Wada검사와의 비교에서도 높은 일치도를 보이고 있다(17,18,20).

본 연구에서 활성화 된 뇌 영역으로는 전두엽이 가장 많았고, 동사만들기 과제에서 중심전회(precentral sulcus)를 따른 전운동영역 및 운동영역(Brodmann's area 6, 4)과 운동성 언어중추로 알려진 Broca영역을 포함한 하전두회(Brodmann's area 44,45,46)의 활성화가 9명 모두에서 나타났으며 이들 활성화 영역의 분포는 단어생성과제를 이용하여 대뇌전체를 영상화 한 다른 연구의 결과와 일치하였다(11,19,23). 전두엽의 활성화는 언어기능의 영상화에서 일정한 활성화를 보이는 부분이며 단어생성 및 발성을 위한 준비 등 주로 언어의 출력기능과 연관성이 있다고 이해되어 왔지만 이들 기능이 제외된 판단과제를 이용한 연구(8-10)에서도 전두엽의 활성화가 보여 언어의 이해와도 밀접한 연관이 있는 것으로 생각되고 있다. 이외에도 집중, 단기 기억, 적절한 단어의 기억 및 재생을 위한 계획 등 자극과제의 수행에 필요한 여러 기능이 전두엽의 활성화를 유도하는 것으로 해석되고 있다(9, 23-27). Paulsue등(12)은 Broca영역을 포함한 전두엽의 활성화가 언어영역검사에서 가장 편재화를 잘 보이는 부분이며 일차청각영역(planum temporale)의 비대칭성보다 언어의 편재화를 예측하는데 도움이 된다고 보고하였고, Desmond 등(17)은 하전두회의 활성화를 기준으로 편재화를 시도하여 Wada검사와 높은 일치도를 보임을 보고하였다.

측두정엽이 언어의 이해나 인지와 밀접한 연관이 있다는 것은 잘 알려진 사실이다(28). 판단과제나 단어생성과제를 이용한 기능적영상에서 전두엽과 더불어 언어기능과 연관된 측두엽이나 두정엽의 활성화가 보고되어 있고 대부분 Wernicke 영역으로 알려진 상측두회보다는 그 주변의 중측두회나 두정엽의 활성화를 보고하고 있다(8-11,23,29). Binder등(10)은 이들 영역이 언어의 의미와 관련된 정보를 저장하는 장소로서 과거 알려진 Wernicke 영역보다 넓은 영역의 측두정엽이 언어의 이해에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다고 보고하였다. 본 연구에서도 과제에 따라 약간의 차이는 있지만 대부분 하두정엽과 중측두회의 일정한 피질영역에서 활성화가 나타났고 이는 이 부위가 언어의 이해과정에 밀접히 관련된 영역임을 시사하는 다른 연구 보고(8-10,23)와 일치하는 결과로 생각된다.

어떤 과제가 언어기능의 영상화에 가장 적합한 과제인가에 관하여는 아직까지 정립되어 있지 않다. 주어진 자극에 따라 적당한 단어를 찾아내는 단어생성과제는 Petersen등(30)이 PET을 이용한 연구에서 처음 시도한 이후 PET나 MR을 이용한 언어기능의 영상화에 가장 널리 이용되는 방법이다. 본 연구에서는 동사만들기 과제와 명사만들기 과제를 함께 사용하였는데 동사만들기 과제를 이용한 기능적 영상이 전반적으로 활성화가 많았다. 이는 Warburton등(23)의 연구와 일치하는 소견으로 이들은 PET을 이용하여 명사만들기 과제와 동사만들기 과제를 직접 비교하여 명사만들기 과제와 동사만들기 과제가 활성화를 보이는 영역의 분포에는 차이가 없었지만 동사만들기 과제가 좌측 전두엽, 측두엽, 두정엽, 보조운동영역등에서 명사만들기에 비해 강

한 활성화를 보임을 보고하였고, 특히 측두정엽의 활성화의 차이는 동사만들기 과제가 어의와 연관된 기억에 보다 더 의존적이기 때문에 어의와 연관된 측두정엽의 활성화가 명사만들기 과제에 비해 많음으로 설명하였다. 또한 단어를 보거나 읽는 것만으로도 언어와 관련된 것으로 알려진 여러 부위의 활성화가 있다는 것이 보고되어 있어(31) 과제별로 주어지는 자극의 형태(음절, 단어)가 다른 것도 활성화의 차이에 영향이 있었을 것으로 생각된다.

판단하기 과제는 발성을 하지 않기 때문에 운동과 연관된 가공물이 나타날 가능성이 적으며 피검자의 반응을 밖에서 확인할 수 있기 때문에 단어생성과제와 함께 언어기능의 영상화에 많이 사용되고 있는 과제이다(8-11). Binder 등(8-10)은 본 연구에서와 비슷한 판단기준을 이용한 연구에서 성공적으로 전두엽 및 측두정엽의 활성화를 유도하였음을 보고하였고 전두엽이 언어의 이해나 인지와도 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 판단하기 과제로 자극하였을 때 3명에서 활성화 신호가 보이지 않았고 활성화 신호가 보인 경우에도 단어생성과제에 비해 전반적으로 활성화된 화소의 수가 적었으며 전두엽의 활성화는 Binder 등(8-10)이 보고한 전전두피질 보다는 단어생성과제에서 활성화 되는 전두엽의 활성화부와 비슷한 조건을 보였다. Binder 등(8-10)은 청각을 통하여 자극을 주었고 음의 높이를 판단하는 과제(tone decision task)를 대조과제로 사용하였는데, 이러한 자극방법의 차이 및 대조과제의 유무가 활성화 유도 및 신호의 분포에 차이를 가져온 것으로 생각되며 분석방법이 다른 것도 영향이 있을 것으로 생각된다. 같은 자극방법이나 대조과제를 사용한 단어생성과제보다 활성화 신호가 적은 것은 단어생성과제의 경우 주어진 자극에 가능한 한 많은 단어를 생각하여 속으로 말하게 하였고, 판단하기 과제의 경우는 2초마다 주어진 동물에 대한 판단만을 하도록 하였기 때문에 상대적으로 언어와 관계된 영역의 활성화가 적었을 가능성이 있을 것으로 생각된다.

반구별 활성화소수를 계산하여 편재화지수를 구하는 방법은 기능적 영상을 통한 우세 대뇌반구의 결정에 가장 많이 이용되고 있으며 Wada검사와의 비교에서는 Wada검사와 높은 일치도를 보고하고 있다(17-19). 오른손잡이의 경우 편재화지수를 기준으로 한 우세반구는 모두 좌측이었으며 대상자나 과제에 따라 편재화 지수의 값은 0.16~1로 다양한 수치를 보였다. 왼손잡이 1명에서는 과제별로 우세반구가 달라졌고, 다른 한명에서는 전두엽과 두정엽은 좌측으로 편재화 되었으나 측두엽은 우측으로 편재화 되어 오른손잡이에 비해 다양한 양상을 보였다. 기존의 연구(18,19,32)에 의하면 Wada 검사나 기능적영상을 이용한 편재화는 다양한 스펙트럼을 보이며 이는 언어중추가 어느 한 쪽으로 완전히 편재화 되기 보다는 기능별로 한 쪽 반구에 상대적인 우세가 있는 것으로 설명되고 있는데, 이번 연구에서 보인 다양한 수치의 편재화지수나 왼손잡이에서 과제별로 우세반구가 달라진 것도 같은 이유로 설명할 수 있겠다. 과제별로는 동사만들기 과제의 경우가 편재화지수의 평균값이 가장 높았으며 비교적 고른 분포를 보였다.

fMRI를 분석할 때 쓰이는 유의수준은 영상후처리에 사용된 소프트웨어나 통계처리 방법에 따라 다양하게 사용되고 있다. 본 연구에서는 유의수준을 $p < 0.001$ 로 하여 분석하였는데 대부분 유의수준 $p < 0.001$ 에서 활성화 신호가 나타났고 유의수준을 $p < 0.01$ 로 낮추어 분석하면 $p < 0.001$ 에서 활성화를 보이지 않았던 뇌영역에서도 활성화 신호가 나타났으며 분석에서 제외되었던 일부 과제에서도 의미 있는 활성화신호를 보였으나 잠음 역시 증가하였다. 또한 의미 있는 활성화로 생각되는 영역에서는 반대편(오른손잡이의 경우 우측) 활성화의 증가가 상대적으로 많아져 편재화는 나빠지는 경향을 보였다. 따라서 가능한 가성신호를 제거하고 의미 있는 신호강도를 규명하기 위하여는 $p < 0.001$ 의 높은 유의수준을 사용하는 것이 fMRI에서 나타나는 신호강도를 정확히 분석할 수 있으리라 생각되며 본 연구에서는 과제별로 같은 조건을 유지하기 위하여 유의수준은 $p < 0.001$ 로 고정하여 분석하였다.

요약하면 저자들은 MR을 이용한 언어영역의 기능적 영상에서 대부분 성공적으로 언어와 관련된 여러 부위의 활성화 신호를 얻었으며 오른손잡이의 경우 모두 좌측으로 편재되었다. 과제별로는 동사만들기 과제가 많은 활성화 신호를 나타내었고 편재화도 다른 과제에 비해 우수하였다. 저자들은 MR을 이용한 fMRI 이 언어기능의 지도화 및 우세반구 결정에 있어서 유용한 검사방법이 될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- Belliveau JW, Kennedy DN, McKinsty RC, et al. Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. *Science* 1991;254:716-719
- Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, et al. Functional magnetic resonance imaging of human auditory cortex. *Ann Neurol* 1994;35:662-672
- Connelly A, Jackson GD, Frackowiak FSJ, Belliveau JW, Bargha-Khadem F, Gadian DG. Functional mapping of activated human primary cortex with a clinical MR imaging system. *Radiology* 1993;188:125-130
- Rao SM, Binder JR, Hammeke TA, et al. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. *Neurology* 1995;45:919-924
- Yetkin FZ, Mueller WM, Hammeke TA, et al. Functional magnetic resonance imaging mapping of the sensorimotor cortex with tactile stimulation. *Neurosurgery* 1995;36:921-925
- Li A, Yetkin FZ, Cox R, Haughton VM. Ipsilateral hemisphere activation during motor and sensory tasks. *Neuroradiol* 1996;17:651-655
- 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
- Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, et al. Lateralized human brain language systems demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging. *Arch Neurol*

- 1995;52:593-601
9. Binder JR. Functional magnetic resonance imaging: language mapping. *Neurosurgery Clin North Am* 1997;8:383-392
 10. 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
 11. 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
 12. Paulesu E, Connelly A, Frith CD, et al. Functional MR imaging correlations with positron emission tomography: initial experience using a cognitive activation paradigm on verbal working memory. *Neuroimaging Clin North Am* 1995;5:207-225
 13. Yetkin FZ, Hammeke TA, Swanson SJ, et al. A comparison of functional MR activation patterns during silent and audible language tasks. *Am J Neuroradiol* 1995;16:1087-1092
 14. Klein D, Milner B, Zatorre RJ, Meyer E, Evans AC. The neural substrates underlying word generation: a bilingual functional-imaging study. *Proc Natl Acad Sci* 1995;92:2899-2903
 15. 정희영, 김재형, 신태민 등. 1.5 T 자기공명영상을 이용한 사람 뇌의 언어관련기능의 Mapping : 운동성 언어기능을 중심으로. *대한방사선의학회지* 1998;38:205-210
 16. 유인규, 장기현, 송인찬 등. EPI 기법을 이용한 운동성 뇌언어중추의 기능적 자기공명영상. *대한방사선의학회지* 1998;38:957-964
 17. Desmond JE, Sum JM, Wagner AD, et al. Functional MRI measurement of language lateralization in Wada-tested patients. *Brain* 1995;118:1411-1419
 18. Binder JR, Swanson SJ, Hammeke TA, et al. Determination of language dominance using functional MRI: a comparison with the Wada test. *Neurology* 1996;46:978-984
 19. 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. *Am J Neuroradiol* 1998;19:73-77
 20. FitzGerald DB, Cosgrove GR, Ronner S, et al. Location of language in the cortex: a comparison between functional MR imaging and electrocortical stimulation. *Am J Neuroradiol* 1997;18:1529-1539
 21. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97-113
 22. Woods RP, Cherry SR, Mazziotta JC. A rapid automated algorithm for accurately aligning and reslicing PET images. *J Comput Assist Tomogr* 1992;16:620-633
 23. Warburton E, Wise RJS, Price CJ, et al. Noun and verb retrieval by normal subjects studies with PET. *Brain* 1996;119:159-179
 24. Wise R, Chollet F, Hadar U, Friston K, Hoffner E, Frackowiak R. Distribution of cortical neural networks in word comprehension and word retrieval. *Brain* 1991; 114: 1803-1817.
 25. Frith CD, Friston KJ, Liddle PF, Frackowiak RSJ. A PET study of word finding. *Neuropsychologia* 1991; 29:1137-1148.
 26. Frith CD, Friston KJ, Liddle PF, Frackowiak RSJ. Willed action and the prefrontal cortex in man: a study with PET. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1991;244:241-246.
 27. Raichle ME, Fiez JA, Videen TO, MacLeod AM, Pardo JV, Fox PT. Practice-related changes in human brain functional anatomy during non-motor learning. *Cereb cortex* 1994;4:8-26.
 28. Coughlan AK, Warrington EK. Word comprehension and word-retrieval in patient with localized cerebral lesions. *Brain* 1978;101:163-185
 29. Demonet JF, Chollet F, Ramsay S, et al. The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain* 1992;15:1753-1768.
 30. Petersen SE, Fox PT, Posner MI, Mintun M, Raichle ME. Positron emission tomographic studies for the cortical anatomy of single word processing. *Nature* 1988; 331: 585-589
 31. Frackowiak RSJ, Friston KJ, Frith CD, Dolan RJ, Mazziotta JC. Human brain function. Academic Press. Chapter 13 1997;301-328
 32. Latchaw RE, Ugurbil k, Hu X. Functional MR imaging of perceptual and cognitive functions. *Neuroimaging Clin North Am* 1995;5:193-205

Functional MRI of Language Area

Jae Wook Ryoo¹, Dong Gyu Na¹, Hong Sik Byun¹, Duk Woo Ro¹, Jae Min Cho¹,
Chan Hong Moon², Duk Lyul Na³, Kee-Hyun Chang⁴

¹Department of Radiology, Samsung Medical Center, College of Medicine, Sung Kyun Kwan University

²Korea Advanced Institute of Science and Technology,

³Department of Neurology, Samsung Medical Center, College of Medicine, Sung Kyun Kwan University

⁴Department of Radiology, Seoul National University, College of Medicine

Purpose : To evaluate the usefulness of functional MR imaging (fMRI) for language mapping and determination of language lateralization.

Materials and Methods : Functional maps of the language area were obtained during word generation tasks and decision task in ten volunteers (7 right handed, 3 left-handed). MR examinations were performed at 1.5T scanner with EPI BOLD technique. Each task consisted of three resting periods and two activation periods with each period of 30 seconds. Total acquisition time was 162 sec. SPM program was used for the postprocessing of images. Statistical comparisons were performed by using t-statistics on a pixel-by-pixel basis after global normalization by ANCOVA. Activation areas were topographically analyzed ($p < 0.001$) and activated pixels in each hemisphere were compared quantitatively by lateralization index.

Results : Significant activation signals were demonstrated in 9 of 10 volunteers. Activation signals were found in the premotor and motor cortices, the inferior frontal, inferior parietal, and mid-temporal lobes during stimulation tasks. In the right handed seven volunteers, activation of language areas was lateralized to the left side. Verb generation task produced stronger activation in the language areas and higher value of lateralization index than noun generation task or decision task.

Conclusion : fMRI could be a useful non-invasive method for language mapping and determination of language dominance

Index words : Brain
Magnetic resonance (MR), functional
Speech

Address reprint requests to : Dong Gyu Na, M.D., Department of Radiology, Samsung Medical Center, College of Medicine, Sung Kyun Kwan University, #50 Ilwon-dong, Kangnam-Ku, Seoul 135-710, Korea
Tel. 82-2-3410-0516 Fax. 82-2-3410-2559 E-mail. dgna@smc.samsung.co.kr