

## 언어 중추 영역에 대한 기능적 자기공명영상: 시각적, 청각적 지시 과제에 관한 비교

구은희\* · 권대철\* · 김동성\* · 송인찬\*\*

서울대학교병원 진단방사선과\*, 서울대학교 의과대학 방사선학교실\*\*

(2002년 10월 15일 접수, 2003년 8월 27일 채택)

## Functional MR Imaging of Language System: Comparative Study between Visual and Auditory Instructions in Word Generation Task

E.G. Goo\*, D.C Kweon\*, D.S. Kim\* and I.C Song\*\*

Department of Diagnostic Radiology, Seoul National University Hospital\*,

School of Radiology, College of Medicine, Seoul National University\*\*

(Received October 15, 2002. Accepted August 27, 2003)

**요약**: 정상 성인을 대상으로 언어생성파제의 시각적 지시과제와 청각적 지시과제에 대한 기능적 MR영상들을 비교하고자 하였다. 6명의 정상 성인을 대상으로 자기공명영상기기를 이용하였다. 시각적, 청각적 언어 지시과제는 명사의 언어를 이용하여, 휴지기, 활성화기를 각각 6번 구성하였다. 뇌의 활성영역의 휴지기와 활성화의 신호변화에 따른 데이터는 MRDx 프로그램으로 처리하였고 cross correlation 방법으로 통계 처리하였다. 시각적, 청각적 지시과제의 분석방법은 lateralization index 공식으로 뇌 반구의 활성화 voxel의 총합과 좌·우 반구의 픽셀 수를 구하였고, 지시과제에 대한 활성화 영역을 "Area of Activation Cells" 값에 따라 4등급으로 분류하여 비교 분석하였다. 시각적, 청각적 지시과제에서 Broca, Wernicke 영역 등에서 크기는 다르지만 모두 활성화가 관찰되었다. lateralization index에서 뇌반구의 활성화 값에 차이는 시각적 지시과제에 비해 청각적 지시과제가 높은 활성화 값을 보였다. 그러므로 언어영역에 대한 뇌의 기능적 영상을 얻는데 두 방법 모두 유용하다고 생각된다.

**Abstract**: To evaluate the usefulness of functional MR imaging(fMRI) for the determination of language dominance system and to assess differences in the visual and auditory instrument language generation task according to activation task or activated area. Functional maps of the language area were obtained during visual and auditory instructions in word generation tasks in 6 healthy volunteers with right-handness were examined on a 1.5T scanner and the EPI BOLD technique, and three pulse sequence technique get of the true axial planes. Both task consisted of 96 phases including 6 activations and rests contents. Postprocessing were done on MRDx program by using cross correlation method. Two task compare the brain activation area surveyed of language lateralization index. To evaluated of the detection rates of Broca, Wernicke, pre-frontal lobe, Supplementary Motor Area (SMA) and pre-motor cortex areas and the differences of language lateraliaztion among two word generation task. To lateralization index survey in language area on right and left in brain get to activation area pixel in brain. Compared to visual and auditory instrument task in the language areas get to the lateralization index. Two language generation task high detection rates of Broca and Wernicke areas. The visual instruction no detected in the auditory area, and auditory instruction no detected in the visual area. There was statistics significant different of them among language generation task. This indicated that language area obtained image of the brain functional MR imaging usefulness in the visual and auditory task instrument.

**Key words**: fMRI, Brain, Visual, Auditory, Language, Instrument

## 서론

통신저자: 권대철, (110-744) 서울시 종로구 연건동 28  
서울대학교병원 진단방사선과

Tel. 02)760-3687

E mail. yoojoo@snuh.org

뇌는 부위별로 고유한 기능을 가지고 있으며 어떠한 기능을 수행하기 위하여 특정부위의 뇌 신경활동이 향상되면 그 부위의 국소적 뇌혈류 및 대사가 증진한다[1].

표 1. 3D SPGR T1강조영상, 2D SPGR T1강조영상, Gradient echo EPI에서의 Pulse parameter

Table 1. Summary of the pulse parameter, 3D SPGR T1 weighted image, 2D SPGR T1 weighted image and gradient echo EPI

pulse sequence	TR	TE	FOV	thickness	gap	matrix	flip angle	Nex	Scan time
3D SPGR T1WI	11.1ms	2ms	240mm	1.5mm	0	256×192	15°	1	4min33sec
2D SPGR T1WI	50ms	4ms	240mm	6mm	0	256×192	60°	1	3min17sec
Gradient echo EPI	3000ms	50ms	240mm	6mm	0	64×64	90°	1	3sec

기능적 뇌 영상의 방법 중 많이 사용되고 있는 것들은 Positron Emission Tomography (PET), Single Photon Emission Computerized Tomography (SPECT), Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) 등이 있다.

기능적 자기공명영상은 방사선 조사의 위험이 없고 공간 및 해상력이 매우 좋으므로, 짧은 시간 내에 반복적인 검사가 가능하며, 인간의 뇌 기능을 연구할 수 있고[2], 운동, 기억, 주의력, 시각, 청각, 감각, 동작 혹은 언어 수행에 따른 국소적인 뇌혈류의 변화를 나타내 보이는 비침습적인 검사방법이다[3].

기능적 자기공명영상은 뇌신경의 활동성을 자기공명의 신호 변화로 나타내어 이를 시각화하여 보여 주는 방법으로, blood oxygen level dependent (BOLD)효과가 신호원이 된다. BOLD효과는 뇌혈류 증가에 따른 산소 유입량의 증가는 활성화된 뇌 조직이 실제로 필요로 하는 산소량을 증가하기 때문에 소모되지 않은 산소가 정맥으로 흘러나가서 oxyhemoglobin 농도를 증가시키고 상대적으로 deoxyhemoglobin의 농도는 감소시킨다는 이론이다. 즉, 상대적으로 감소된 deoxyhemoglobin은 주위 T2 및 T2\*의 이완 시간을 감소시키는 상자성 물질이므로 T2\* 강조 영상에서 신호 강도의 증가를 초래하여 뇌가 활성화된 부분이 신화가 증가한 것으로 나타난다[4,5].

임상적으로는 수술 전에 중요한 뇌기능의 위치를 사전에 파악하거나 기능장애가 있는 환자에서 그에 상응하는 뇌피질의 활성도를 보아 원인을 규명하여 임상적으로 적용범위가 증대되는 최신 분야이다.

임상적으로 더욱 더 활발히 이용되기 위해서는 기능적 자기공명영상을 위한 연구가 심도 있게 이루어져야 하고, 뇌 중추를 보기 위한 기능수행 또는 자극전달의 방법이 적정화되어야 하는 등의 과제가 남아있다[6].

시각을 통하여 언어, 운동 등의 자극에 대한 뇌 기능 연구가 전반적으로 시행되고 있으나, 특히 나이가 많고, 읽기가 어려운 환자, 이해가 부족한 어린아이는 정확한 검사가 이루어지지 않는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는, 기능적 자기공명영상을 이용하여 시각적 지시과제 방법의 활성화 영역과 청각적 지시과제 방법을 이용한 활성화 영역을 비교하여 시각적인 문제로 검사를 하지 못하는 환자에게 청각적 지시과제 방법으로 검사가 가능하다는 사실을 도출하고자 한다.

## 대상 및 방법

피실험자는 6명의 정상 성인으로 남자 4명, 여자 2명, 모두

오른손잡이 이고, 나이는 23에서 26세로 평균나이는 24세였다. BOLD 효과를 기반으로 한 기능적 MR 영상은 1.5T 자기공명영상기기(GE signa Horizon 1.5T VB5.8, USA)를 사용하였고 사용된 코일은 quadrature head coil이었다. 검사에 사용된 pulse sequence는 3D spoiled gradient recalled (SPGR) T1 강조영상(T1 weighted image), 2D SPGR T1강조영상, gradient echo echo-planar imaging (EPI)를 각각 사용하는 데 각 pulse sequence의 결정된 parameter는 다음과 같다(표 1).

3D SPGR T1강조영상의 변수는 TR/TE=11.1/2ms, FOV=240mm, 절편두께/간격= 1.5mm/0mm, matrix=256×192, 숙임각=15°, 1Nex, 영상획득시간=4분33초이었다. 2D SPGR T1강조영상은 TR/TE=50/4ms, FOV=240mm, 절편두께/간격=6mm/0mm, matrix=256×192, 숙임각=60도, 1Nex, 영상획득시간=3분17초이었다.

경사에코(gradient echo) EPI는, TR/TE=3000/50ms, 숙임각=90°, FOV=240mm, 절편두께/간격=6mm/0mm, Matrix=64×64, 1Nex, 영상획득시간=3초이었다.

검사는 auto free scan을 한 뒤 touch screen의 modify CVs에서 boldscan을 1로 정하면 96phase에 의해 4분48초 scan을 하며 위 세 sequence 모두 true axial image로 데이터를 얻었다.

기능적 자기공명영상을 시행하는데 있어 이 실험에 사용된 부속 장비들로 다음과 같다. SPARC station 20 workstation (Sun microsystems inc., USA), beam projector(Sharp Co., Ltd., Japan), personal computer, screen, neck holder, sound forge 4.5, sound monitor, 마이크 등 주요 부속 장비들을 필요로 한다.

시각적, 청각적 지시 과제는 각각 휴지기(off) 6회, 활성화기(on) 6회로 합계 12블럭으로 이루어져 있다. 1블럭은 8phase이며, 12블럭은 총 96phase의 반복 영상 촬영을 한다. 1블럭은 3초×8phase=24초가 소요되어, 총 12블럭이므로 4분 48초가 된다(그림 1).

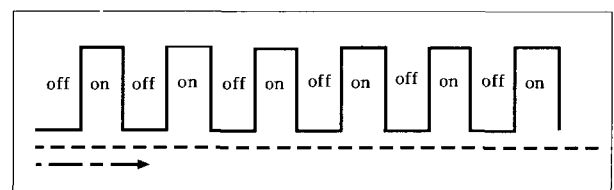


그림 1. 패러다임의 블럭

Fig. 1. Paradigm block

단어는 반응이 느린 환자나 어린아이, 고령의 성인을 고려하여 가능한 짧고 쉬운 한글 명사를 사용하였다. 공간적 위치를 나타내기 위하여 뇌의 활성화 영역의 휴지기간과 활성화기간의 신호변화에 따른 데이터 처리는 본원 연구실에서 개발한 프로그램인 MRDx를 이용하였고, 활성화 화소의 지도를 얻기 위해 영상 후 처리는 Z-score(p<0.05)와 교차연관분석법을 이용하였다.

시각적, 청각적 지시과제에 대한 우세 대뇌반구를 결정하기 위해 분석방법으로는 반구의 비대칭성을 확인하기 위하여 편측화 지수(lateralization index)를 측정하였는데 공식은 [(L-R)/(L+R)]로 right(-), left(+에 의거하여 뇌 반구의 활성화 voxel 의 총합과 좌·우 반구의 픽셀 수를 모두 합산하여 비교하였다[7]. 시각적, 청각적 지시과제에 대한 활성화 영역을 "Area of Activation Cells" 값에 따라 0=0, 1~100 =1, 100~200=2, 200 이상=3의 값에 따라 4등급으로 분류하여 본원 방사선과 의사 1명, 이학박사 1명, 그리고 방사선사 2명이 MR-Dx 프로그램을 이용하여 활성화 영역별로 비교 분석하였다.

### 결 과

대상 인원 6명 모두에게 시각적, 청각적 지시 과제방법을 시행했을 때 activated signal intensity와 편측화 지수의 결과는 다음과 같다. 먼저 Visual, Broca, Wernicke, Auditory, Pre-frontal lobe, supplementary motor area(SMA), Pre-motor 부분에서 활성화 크기는 조금씩 다르지만 두 방법 모두 활성화를 보였다(표 2).

시각적 지시과제에서 visual 영역에서는 bilateral에서 활성화가 6명(100%)이 보였고, Broca 영역에서는 bilateral 5명(83.3%), unilateral 1명(16.6%), Wernicke 영역에서는 bilateral 4명(66.6%), unilateral 2명(33.3%), Pre-frontal에서 unilateral 2명(33.3%)이고, 4명(66.6%)은 보이지 않았다. auditory 영역에서는 bilateral, unilateral 모두에서 활성화가 없었고 6명(100%), SMA 영역에서 bilateral 5명(83.3%), unilateral은 1명(16.6%)이 활성화가 있었다. Pre-motor 영역에서는 bilateral에서 6명(100%)이 활성화가 있었다(표 3).

청각적 지시과제에서 visual 영역에서는 bilateral, unilateral

표 3. 시각적 지시과제에서의 언어 영역의 검출 비율

Table 3. The detection rates of language areas with visual instruction task Unit: %

	bilateral	unilateral	no detection
Visual	6(100)	0(0)	0(0)
Broca	5(83.3)	1(16.6)	0(0)
Wernicke	4(66.6)	2(33.3)	0(0)
Pre-frontal	0(0)	2(33.3)	4(66.6)
Auditory	0(0)	0(0)	6(100)
SMA	5(83.3)	1(16.6)	0(0)
Pre-motor	6(100)	0(0)	0(0)

모두에서 활성화가 없었고 6명(100%), Broca 영역과 Wernicke 영역에서는 bilateral 4명(66.6%), unilateral 2명(33.3%), Pre-frontal에서는 bilateral 3명(50%), unilateral 1명(16.6%)이고, 2명(33.3%)은 활성화가 없었다. auditory 영역에서는 bilateral에서 활성화가 6명(100%) 있었다. SMA 영역에서 bilateral 5명(83.3%), unilateral은 1명(16.6%)이 활성화가 있었고, Pre-motor 영역에서는 bilateral에서 6명(100%)이 활성화가 있었다(표 4).

좌·우 반구의 비대칭성을 확인하기 위하여 편측화지수 공식을 적용하여 뇌 반구의 활성화 값을 나타냈다(표 5).

시각적 지시과제에서 두 번째 피실험자를 편측화지수 (L-R)/(L+R) 공식을 인용하면 [(49021-38792)/(49021+38792)]=-0.11

표 4. 청각적 지시과제에서의 언어 영역의 검출 비율

Table 4. The detection rates of language areas with auditory instruction task Unit: %

	bilateral	unilateral	no detection
Visual	0(0)	0(0)	6(100)
Broca	4(66.6)	2(33.3)	0(0)
Wernicke	4(66.6)	2(33.3)	0(0)
Pre-frontal	3(50)	1(16.6)	2(33.3)
Auditory	6(100)	0(0)	0(0)
SMA	5(83.3)	0(0)	1(16.6)
Pre-motor	6(100)	0(0)	0(0)

표 2. 정상 피실험자의 활성화 영역

Table 2. Area of activation cells in normal volunteers

Case	Visual		Broca		Wernicke		Auditory		Pre-frontal		SMA		Pre-motor	
	Visual	Auditory	Visual	Auditory	Visual	Auditory	Visual	Auditory	Visual	Auditory	Visual	Auditory	Visual	Auditory
1	B(R)	X	B(L)	L	B(L)	L	X	B(L)	X	L	L	X	B(L)	B(L)
2	B(=)	X	B(L)	B(=)	B(L)	B(L)	X	B(=)	R	X	B(=)	B(=)	B(=)	B(=)
3	B(L)	X	L	B(=)	B(L)	B(L)	X	B(=)	X	B(L)	B(R)	B(R)	B(L)	B(L)
4	B(=)	X	B(L)	B(L)	L	B(L)	X	B(=)	X	X	B(L)	B(L)	B(L)	B(L)
5	B(=)	X	B(L)	B(L)	L	B(=)	X	B(=)	L	B(=)	B(L)	B(R)	B(L)	B(L)
6	B(L)	X	B(L)	L	B(=)	L	X	B(L)	X	B(R)	B(L)	B(L)	B(L)	B(L)

Note: B(both), R(right side), L(left side), =(Same detection), X(no detection), ( ):High detection

이고, 나타난 픽셀 값이 스크린을 이용하여 검사를 할 때 좌반구의 신호픽셀의 수가 우반구 보다 0.11만큼 많이 나왔다. 청각적 지시과제로 검사하였을 때 나타난 값이 0.29이다.

편측화지수 공식에 의하면 시각적 지시과제는 0.32, 청각적 지시과제는 0.39로 시각적 지시과제에 비해 청각적 지시과제가

표 5. 언어 중추 영역에서의 정상 피실험자의 편측화지수

Table 5. Language lateralization indices in normal volunteers

case	task	value		lateralization index
		right	left	
1	Visual	19315	39435	0.34
	Auditory	165470	184327	0.05
2	Visual	38972	49021	0.11
	Auditory	14272	26284	0.29
3	Visual	5940	16377	0.46
	Auditory	5064	14558	0.48
4	Visual	3405	162440	0.65
	Auditory	6783	35319	0.67
5	Visual	161210	26340	0.24
	Auditory	28449	54102	0.31
6	Visual	669200	8624	0.12
	Auditory	2385	8822	0.57

높은 활성화 값을 보였다( $p < 0.05$ ).

그림 2(a-d)는 시각적 지시과제를 mapping 영상이고, 그림

표 6. 시각적, 청각적 지시과제에서의 언어영역의 편측화지수

Table 6. Visual and auditory instrument task in the language areas get to the lateralization index.

instruction task	lateralization index	SD
Visual	0.32	0.19
Auditory	0.39	0.20

2(e-h)는 청각적 지시 과제를 mapping 한 영상으로, 시각적 지시과제의 영상에서 그림 2(a)는 visual cortex가 occipital lobe에 dominantly bilateral하게 나타났고, 그림 2(b-c)에서는 visual cortex는 bilateral, Broca 영역이 unilateral하고, 그림 2(d)는 motor 영역이 bilateral하고, SMA 영역이 보이고 있다. 그림 2(e-h)는 청각적 지시과제를 mapping 영상으로, 그림 2(e)는 auditory 영역이 bilateral하게 나타나고, Wernicke 영역이 unilateral하게 보이고 있다. 그림 2(f)는 auditory 영역이 bilateral하게 나타나고 있다. 그림 2(g)에서는 auditory 영역과 Broca 영역이 bilateral하고, Wernicke 영역이 unilateral하게 보이고 있다. 그림 2(h)는 motor 영역이 bilateral하고, SMA 영역과 somatosensory 영역이 unilateral하게 보이고 있다.

### 고 찰

기능적 자기공명영상에서 활성화 영역을 dominantly 나타내

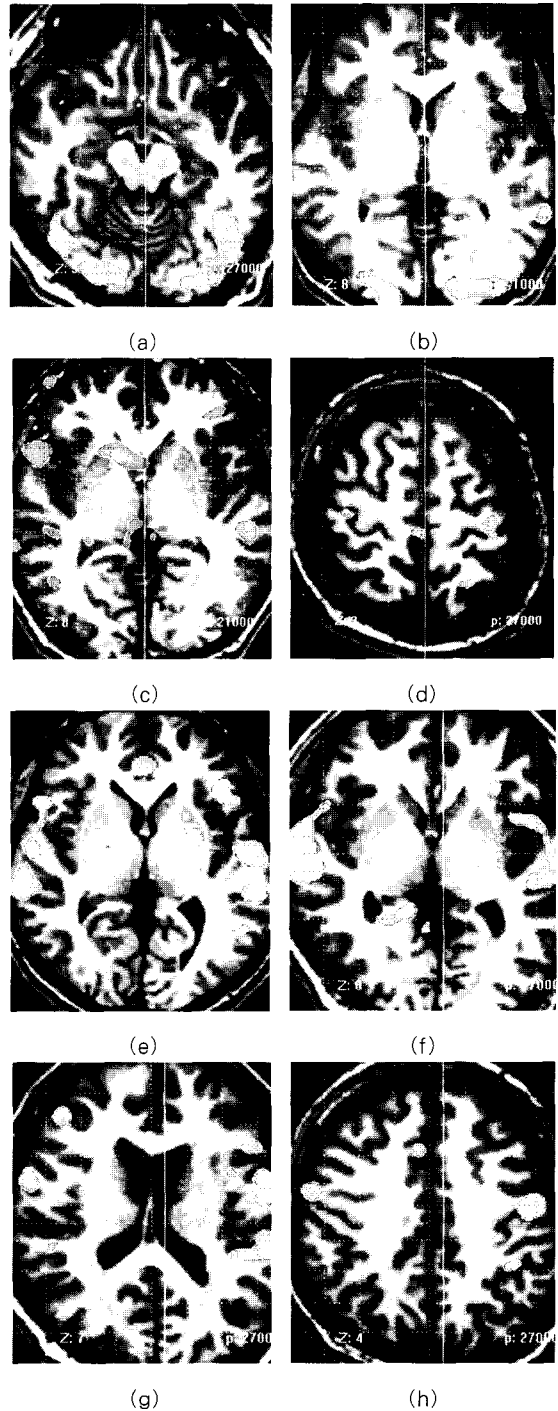


그림 2. 기능적 MR 영상의 두 지시과제  
 Fig. 2. Functional MR Images during 2 instruction in word generation task  
 a-d. 시각적 지시과제에서의 활성화 영역  
 a-d. Activation map images obtained during visual language instructions generation task  
 e-f. 청각적 지시과제에서의 활성화 영역  
 e-f. Activation map images obtained during auditory language instructions generation task

는데 있어서 가장 중요한 것은 정확한 paradigm을 작성하는 것이다. 초기에 단순한 운동기능 및 감각기능의 영상에서부터 시작하여 최근에는 언어관련 기능 등의 인식기능 까지 영상화하기에 이르렀으나 아직은 임상적용은 초보단계에 있다. 사람의 언어기능을 관장하는 주요 뇌중추의 위치는 우세 대뇌반구의 하전두회(inferior frontal gyrus, Broca 영역) 및 상측두회(superior temporal gyrus, Wernicke 영역)로 알려져 있다. 이 중 하전두회는 소리 내고자 하는 언어를 형성하는 기능의 운동성 언어중추를 그리고 상측두회는 청각을 통하여 인지된 언어를 이해하는 기능의 감각성 언어중추를 담당하고 있다.

언어의 기능적 자기공명영상은 임상적으로 우세 대뇌반구의 결정에 쉽게 이용할 수 있다. 이러한 언어의 기능적 자기공명영상은 이미 그 결과가 Wada 검사와 잘 일치하여 침습적인 Wada 검사를 대신할 수 있다고 보고 되고 있다[3,8].

분석기준이 되는 참고 데이터를 가지고, 자극에 유발되는 반응의 참고데이터와 이미지의 화소(pixel) 데이터의 시간과 신호와의 연관 정도인 cross correlation 기법을 이용하여 통계적 처리를 수행하였다[9].

편측화 지수는 좌측 활성화 화소의 개수에서 우측 활성화 화소의 개수를 뺀 값을 좌우측 활성화 개수의 합으로 나눈 값을 의미한다. 편측화지수는 -1에 가까울수록 우측 반뇌 우세를 나타내며 +1에 가까울수록 좌측 반뇌 우세를 의미하는데[2], 시각적 지시과제는 0.32, 청각적 지시과제는 0.39로 시각적 지시과제에 비해 청각적 지시과제가 높은 활성화 값을 보여 통계적으로 유의하였다( $p < 0.05$ ).

시각적 지시과제에서는 visual 영역과 언어를 형성하는 기능과 관련이 있는 Broca 영역, 언어를 인지하고 이해하는 기능의 Wernicke 영역, SMA 영역에서는 높은 활성화가 있었다. 그러나 auditory 영역에서는 모두에서 활성화가 없었다. 시각적 지시과제에 대한 반응을 mapping한 영상에서도, visual cortex가 occipital lobe에서 활성화가 있고, Broca 영역, motor 영역, SMA, pre-motor 영역이 높은 활성화를 보이고 있다. 청각적 지시과제에서는 Broca 영역, Wernicke 영역, SMA, pre motor 영역에서는 높은 활성화가 있었다. 그러나 visual 영역에서는 모두에서 활성화가 없었다. 청각적 지시과제에 대한 반응을 mapping 영상에서 auditory 영역과 Broca 영역, Wernicke 영역, motor 영역, SMA 영역, somatosensory 영역이 높은 활성화를 보였다.

언어의 품사 종류의 지시과제에 대한 연구에서 Broca 영역과 Wernicke 영역에서 높은 활성화를 보고하여, 본 연구에서도 높은 활성화를 보인 영역과 일치하였다[10].

청각적 지시과제에서 earphone을 사용하여 speech sound를 통하여 검사를 시행할 경우 시각적 검사 방법의 단점을 보완할 수 있다. 그러나 잘 들리지 않는 환자, 소리의 감지력이 부족한 환자, 긴 복합 문장으로 phoneme 인식이 부족한 경우에 이러한 청각적 지시과제의 검사 방법도 정확한 검사를 시행할 수 없다[11]. 특히 speech sound로 검사 할 경우 EPI 소리가 크기 때문에 정확한 소리의 볼륨 컨트롤, 소리 노이즈(speech

sound noise) 교정 작업이 필요하다.

## 결 론

건강한 성인을 대상으로 시각적, 청각적 지시과제의 연구를 비교 해보았을 때 운동영역을 비롯하여 전반적으로 Broca, Wernicke의 언어 영역의 활성화가 잘 나타났고 좌뇌가 우뇌에 비하여 활성화 강도가 더 강하게 나타났다. 시각적 지시과제에 비해 청각적 지시과제가 높은 활성화 값을 보였다. 시각적, 청각적 지시과제 방법을 병용하여 환자에 적용한다면 임상적 유용성과 아울러 앞으로 본격적으로 시행될 기능적 자기공명영상 연구에 도움이 될 것이라고 본다.

## 참 고 문 헌

1. M.E. Raichle, R.L. Grubb, M.H. Gado, et al., "Correlation between regional cerebral blood flow and oxidative metabolism: in vivo studies in man", Arch Neurol, Vol. 33, pp. 523-526, 1976
2. B.D. Le and A. Karni, "Application of magnetic resonance imaging to the study of human brain function", Current Opinion in Neurobiology, Vol. 5, pp. 231-237, 1995
3. J.R. Binder, S.J. Swanson, T.A. Hammeke, G.L. Morris, W.M. Mueller, M. Fischer, S. Benbadis, J.A. Frost, S.M. Rao and V.M. Haughton, "Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test", Neurology, Vol. 46, pp. 978-984, 1996
4. S. Ogawa, T. Lee, A.S. Nayak and P. Glynn, "Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance imaging of rodent brain at high magnetic field", Magn Reson Med, Vol. 14, pp. 68-78, 1990
5. P.T. Fox, M.A. Mintun, M.E. Raichle, F.M. Miezin, J.M. Allman and D.C. Van Essen, "Mapping human visual cortex with positron emission tomography", Nature, Vol. 323, pp. 806-809, 1986
6. O. Yetkin, F.Z. Yetkin, V.M. Haughton and R.W. Cox, "Use of functional MR to map language in multilingual volunteers", Am J Neuroradiol, Vol. 17, pp. 473-477, 1996
7. J. Schroder, F. Wenz, L.R. Schad, K. Baudendistel and M.V. Knopp, "Sensorimotor cortex and supplementary motor area changes in schizophrenia. A study with functional magnetic resonance imaging", Br J Psychiatry, Vol. 167, pp. 197-201, 1995
8. M.M. Bahn, W. Lin, D.L. Silbergeld, et al., "Localization of language cortices by functional MR ima-

- ging compared with intracarotid amobarbital hemispheric sedation", AJR, Vol. 169, pp. 575-579, 1997*
9. P.A. Bandettini, A. Jesmanowicz, E.C. Wong and J.S. Hyde, "Processing strategies for time-course data sets in functional MRI of the human brain", *MRM*, Vol. 30, pp. 161-173, 1993
10. I.C. Song, K.H. Chang, C.K. Chung, S.H. Lee and M.H. Han, "Reproducibility of hemispheric language dominance by noun, verb, adjective and adverb generation paradigms in functional magnetic resonance imaging of normal volunteers", *JKSMRM*, vol. 5, pp. 24-32, 2001
11. M.L. Pinheiro, "Auditory pattern perception in patients with left and right hemisphere lesions", *Ohio Journal of Speech and Hearing*, Vol. 12, pp. 9-20, 1976