

# 수지운동자극을 사용한 부운동중추의 기능적 MR연구: 일차운동중추와의 비교

이호규<sup>1</sup>, 김진서<sup>1</sup>, 이명준<sup>1</sup>, 최충근<sup>1</sup>, 서대철<sup>1</sup>, 임태환<sup>1</sup>

**목 적 :** 기능적 MR영상을 이용하여 일차운동중추 및 부운동중추의 활성화 부위의 확인 및 편측성을 확인하고자 하였다.

**대상 및 방법 :** 7명의 정상성인을 대상으로 echoplanar imaging 혈액산소농도의존(blood oxygen level dependent)기법을 이용하여 운동자극에 의한 뇌피질활성화 검사를 시행하였다. 사용한 MR기기는 1.5T Siemens Magnetom Vision system이고 표준두부코일을 사용하였다. EPI의 parameter는 TR/TE: 1.0/66.0 msec, 숙임각: 90°, field of view: 22cm×22cm, matrix: 128×128, 절편갯수/절편두께/간격: 10/4mm/0.8mm와 지방억제기법이 추가되었다. 손가락운동을 한쪽 손의 검사에 3회의 운동자극기간과 3회의 휴식기를 번갈아 좌측손과 우측손을 따로 시행하였다.

영상처리 software는 Stimulate 5.0를 사용하였고 통계적인 방법은 cross-correlation을 이용하였다. 좌우측 반구의 활성화시의 평균신호강도의 상승률과 일차운동중추와 부운동중추부위의 활성화된 voxel의 갯수를 구하여 좌측 및 우측손의 운동시의 좌우측반구의 활성화된 voxel의 갯수를 비교하였다. 그리고 각 반구의 활성화된 voxel의 총합을 구하여 각반구의 비대칭성을 확인하는 지표로 삼았다.

**결 과 :** 부운동중추에서 우성반구의 신호 상승률은 2.49-3.06%로 일차운동중추의 4.4-7.23% 보다 낮은 상승률을 보였다. 우측이나 좌측손가락운동시 부운동중추의 좌,우측반구의 평균신호강도의 상승률에는 유의한 차이가 없었다( $p>0.01$ ). 활성화된 voxel의 갯수에 있어서도 유의한 차이가 없었다.

반구의 비대칭성을 확인하기 위하여 각각의 뇌반구의 활성화 voxel의 총합을 구하였을 때 일차운동중추의 경우는 유의성있는 차이를 보였으나( $p<0.05$ ) 부운동중추의 경우에는 차이가 없었다.

**결 론 :** 일차운동중추는 반대측 뇌반구의 우세 및 좌측반구가 우세한 비대칭성을 보였으나 부운동중추는 한쪽 반구의 비대칭성이 약한결과를 보였다.

## 서 론

Ogawa 등(1, 2)이 MR을 이용한 생체에서의 blood oxygen level dependent(BOLD)기법을 발견한 이후로 기능적 MR연구가 매우활발하게 연구되고 있다. 운동기능에 관여하는 중요 부위는 일차운동중추 및 부운동중추이고 이외에 premotor cortex 및 parietal cortex가 등이 관여한다고 알려져 있다. 일

차운동 중추는 뇌기능 MR을 통하여 좌측반구가 우세하고 좌, 우측반구의 활성화 양상이 비대칭적이라고 알려져 있다(3). 부운동중추의 기능은 일차운동중추보다 상위 통제를 하는 부위로 PET 연구(4)나 뇌파연구 등에서 부운동중추에 대한 연구가 진행되어왔으나 부운동중추의 편측성 및 반구비대칭성의 유무에 대해서는 논란이 많다(5). 이에 저자들은 기능적 MR영상을 이용하여 부운동중추의 활성화부위 및 편측화를 확인하고 일차운동중추와 비교하여 운동중추연구에 기여하고자 하였다.

대한자기공명의과학회지 1: 103-108(1997)

<sup>1</sup>울산대학교 의과대학 서울중앙병원 진단방사선과

통신저자: 이호규 서울시 송파구 풍납동 388-1 울산대학교 의과대학 서울 중앙병원 진단방사선과

Tel. 82-2-224-4371 Fax. 82-2-476-4719

대상 및 방법

우측손을 쓰는 7명의 정상성인(남자 : 6명, 여자 : 1명, 평균연령 : 33세)을 대상으로 하였다.

기능적 MR영상을 위하여 사용한 MR기기는 Siemens 1.5T Magenotom Vision system(AG, Erlangen, Germany)이고 표준 head coil을 사용하였다.

소음감소를 위하여 자원자의 귀를 귀마개로 막은후 환자의 움직임을 줄이기 위하여 스티로폼 패드를 사용하였다. 먼저 turbo-FLASH를 이용한 scout image를 얻었다. 이때 정중앙의 시상면영상에서 중심구(central sulcus)가 잘나타날 수 있도록 localizer의 각도를 조절하고 중심구가 정중앙에 위치할 수 있도록 축상면을 위치시킨다. 이렇게 하여 해부학적 기본영상으로 4mm 간격의 10개의 축상면 T1 강조영상을 얻는다. 이후 이 영상면과 일치하는 EPI기법을 이용한 BOLD technique을 시행한다. EPI의 parameter는 TR/TE : 1.0/66.0msec, flip

angle : 90도, FOV : 22cm×22cm, matrix : 128×128와 slice number/slice thickness/gap : 10/4mm/0.8mm로 정하고 지방억제기법이 추가된다. 기본 운동자극은 엄지손가락과 인지에서 약지까지 순서대로 초당 2회 정도로 마추치게 하여 우측손, 및 좌측손의 순서로 시행한다. 한쪽 손의 검사에 3회의 운동 자극기간과 3회의 휴식기를 번갈아 시행한다. 한시기동안에 6회의 영상을 얻게되고 6시기 동안 총 360개의 절편영상을 얻게 된다.

우선적으로 운동인공물(motion artifact)의 확인은 cine mode상에서 영상의 움직임이 눈에 띄는 경우는 제외하였다. 사용한 영상처리 software는 Stimulate 5.0(University of Minnesota, Mineapolis)를 사용하였고 통계적인 방법은 cross-correlation을 이용하였다(6). 자료처리는 7-9초 가량의 신경 자극의 지연시간을 감안하여 각시기에서 첫번째영상을 제외하고 각 시기에 5개의 영상을 선택하였다. cross-correlation threshold는 0.7 이상으로 하였고 2개이상의 voxel이 clustering한 경우에 의미있는 신호로 포함시켰다. 이렇게 하여 얻어진

Table 1. Percent Change of Signal Intensity and Number of Activated Voxels on MI

	Rt finger tapping				Lt finger tapping			
	Rt(%)	NAV	Lt(%)	NAV	Rt(%)	NAV	Lt(%)	NAV
Case 1	7.03 ± 0.22	3	8.03 ± 0.12	11	8.44 ± 0.23	6	6.76 ± 0.23	3
Case 2	5.23 ± 0.42	2	7.32 ± 0.38	9	6.76 ± 0.43	5	7.23 ± 0.54	2
Case 3	4.05 ± 0.24	2	6.35 ± 0.34	6	8.88 ± 0.42	4	5.78 ± 0.32	5
Case 4	3.35 ± 0.35	2	5.44 ± 0.35	8	4.65 ± 0.05	8	7.54 ± 0.92	4
Case 5	3.25 ± 0.45	1	6.67 ± 0.45	6	5.55 ± 0.04	6	6.57 ± 0.54	6
Case 6	2.45 ± 0.25	1	6.32 ± 0.25	12	9.78 ± 0.11	9	4.76 ± 0.33	7
Case 7	5.46 ± 0.45	4	7.45 ± 0.45	7	6.56 ± 0.54	7	5.44 ± 0.87	9
Average	4.40 ± 0.34	2.1	6.80 ± 0.33	8.4	7.23 ± 0.26	6.4	6.30 ± 0.54	5.1

\* Lt(%): PCSI of the left hemisphere  
PCSI: percent change of signal intensity

M1: primary motor area  
Rt(%): PCSI of the right hemisphere

NAV: number of activated voxels

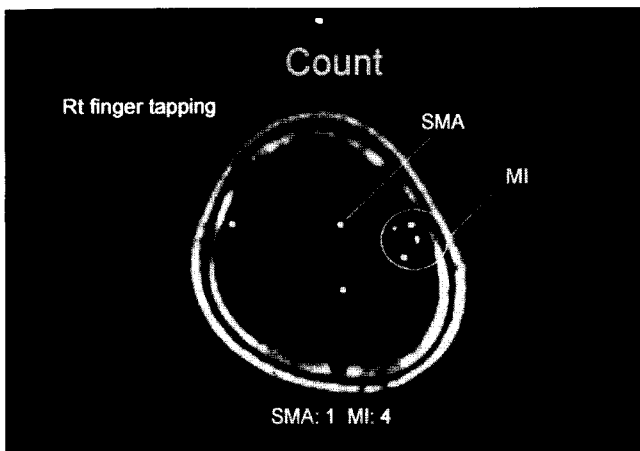


Fig. 1. Counting method of activated voxel number during finger tapping. This slice shows one voxel on the supplementary motor area (SMA) and 4 voxels on the primary motor area(MI).

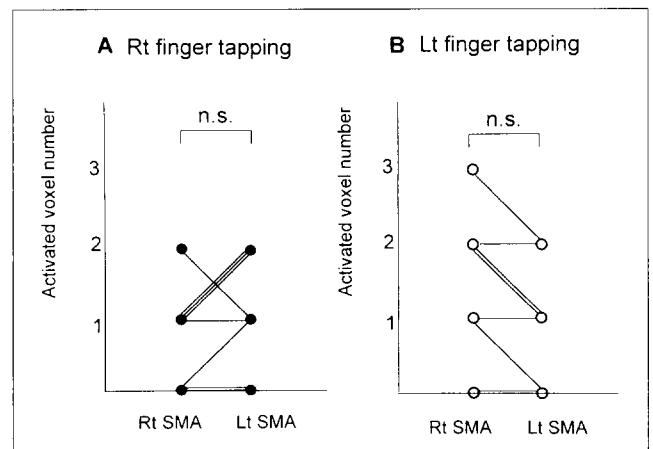
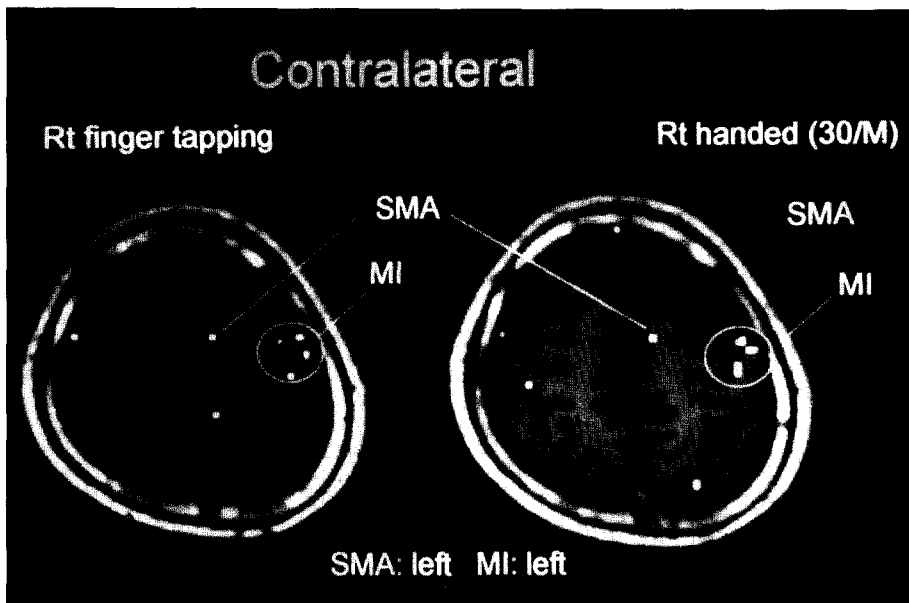


Fig. 2. The differences of the activated voxel number in the right and left supplementary motor area during right (a) and left (b) finger tapping. This graph means no difference of activated voxel number between each hemisphere. n.s. = not significant

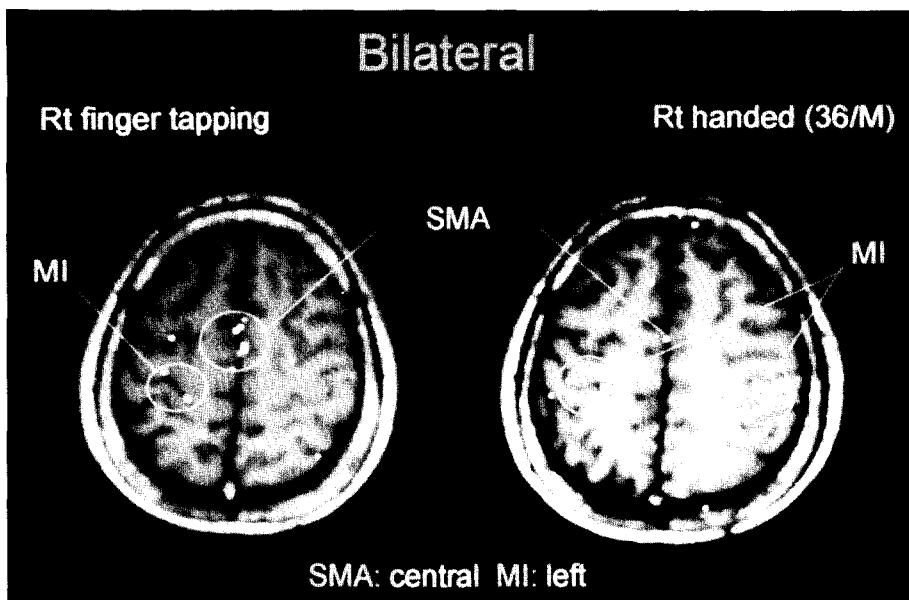
**Table 2.** Percent Change of Signal Intensity and Number of Activated Voxels on SMA

	Rt finger tapping				Lt finger tapping			
	Rt(%)	NAV	Lt(%)	NAV	Rt(%)	NAV	Lt(%)	NAV
Case 1	3.67 ± 0.64	1	4.32 ± 0.32	2	3.11 ± 0.11	1	4.42 ± 0.33	2
Case 2	2.43 ± 0.03	1	3.33 ± 0.24	2	2.11 ± 0.42	1	1.65 ± 0.05	1
Case 3	4.32 ± 0.24	2	4.32 ± 0.18	1	4.32 ± 0.03	2	2.44 ± 0.21	1
Case 4	0.32 ± 0.27	0	0.21 ± 0.02	0	0.33 ± 0.01	0	0.12 ± 0.02	0
Case 5	3.24 ± 0.14	1	2.32 ± 0.19	1	3.54 ± 0.05	1	0.23 ± 0.01	0
Case 6	3.11 ± 0.18	1	4.23 ± 0.21	2	4.82 ± 0.43	2	3.22 ± 0.12	1
Case 7	0.33 ± 0.01	0	1.62 ± 0.02	1	3.22 ± 0.07	3	3.02 ± 0.22	2
Average	2.49 ± 0.22	0.9	2.91 ± 0.17	1.3	3.06 ± 0.16	1.4	2.16 ± 0.14	1

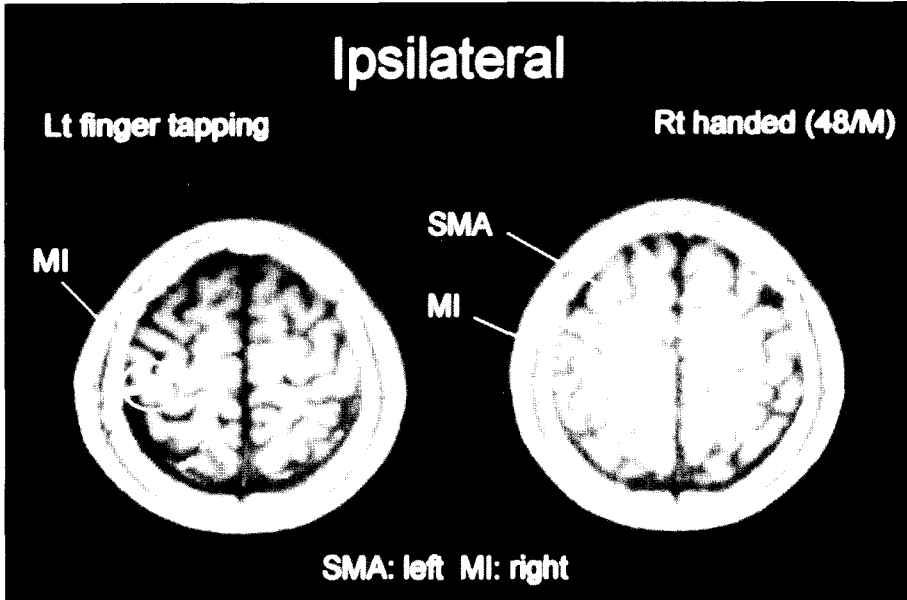
\* Lt(%): PCSI of the left hemisphere      AV : number of activated voxels      PCSI : percent change of signal intensity  
 Rt(%): PCSI of the right hemisphere      SMA : supplementary motor area



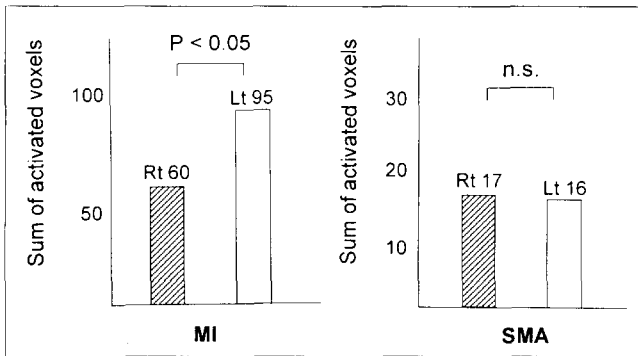
**Fig. 3.** Example of activated voxels on the contralateral hemisphere. Functional map shows dominant activation on both the supplementary and primary motor areas of the contralateral hemisphere. SMA = supplementary motor area, MI = primary motor area.



**Fig. 4.** Example of activated voxels on the bilateral hemispheres. Functional map shows dominant activation on both the supplementary and primary motor area of the bilateral hemispheres. SMA = supplementary motor area, MI = primary motor area.



**Fig. 5.** Example of activated voxels on the ipsilateral hemisphere. Functional map shows dominant activation on the ipsilateral supplementary motor area in comparison to it on the primary motor area of the contralateral hemisphere. SMA =supplementary motor area, MI= primary motor area.



**Fig. 6.** The differences of sum of activated voxels between primary motor area (a) and supplementary motor area (b). This graph shows no hemispheric asymmetry of activation on the supplementary motor area compared to hemispheric asymmetry on the primary motor area. Rt = right hemisphere, Lt = left hemisphere, n.s. = not significant.

활성화된 voxel을 같은 부위의 T1강조영상에 첨가시켰다. 이상과 같은 과정을 좌측손가락의 운동자극에서 반복해서 시행하였다.

각 검사를 연속적으로 시행하여 시간에 따른 변수를 가급적 최소화하였다. 중심기주변의 precentral gyrus 및 postcentral gyrus를 일차운동중추에 포함시키고 superior frontal gyrus 부위는 부운동중추로 포함시켰다(Fig. 1). 좌우측 반구의 활성화시의 평균신호강도의 상승률(percent change of signal intensity)을 구하고 일차운동중추와 부운동중추부위의 활성화된 voxel의 갯수를 단순 수학적계산으로 구하였다. 구해진 결과를 이용하여 좌측 및 우측손의 운동시의 좌우측반구의 활성화된 voxel의 갯수를 비교하였다. 그리고 각 반구의 활성화된 voxel의 총합을 구하여 각반구의 비대칭성을 확인하는 지표로 삼았다.

### 결 과

대상인원 7명 모두에서 일차운동중추및 부운동중추 부위의 활성화를 보였다. 각부위의 평균신호강도의 상승률은 Table 1과 같다. 부운동중추에서 우측반구의 신호 상승률은 2.49-3.06%로 일차운동중추의 4.4-7.23%보다 낮은 상승률을 보였다. 우측이나 좌측손가락운동시 부운동중추의 좌,우측 반구의 평균신호강도의 상승률에는 유의한 차이가 없었다(p>0.01). 활성화된 voxel의 갯수에 있어서도 유의한 차이가 없었다(Fig. 2). 부운동중추의 우세한 반구의 갯수는 반대측반구가 8예, 양측이 비슷한 경우가 5예, 동측반구의 경우 2예였다(Fig. 3, 4, 5).

반구의 비대칭성을 확인하기 위하여 각각의 뇌반구의 활성화 voxel의 총합을 구하였을 때 일차운동중추의 경우는 우측반구의 합이 60, 좌측반구의 합이 95로 유의성있는 차이를 보였으나 (p<0.05) 부운동중추의 경우에는 우측 및 좌측이 각각 17과 16으로 유의한 차이가 없었다(Fig. 6).

### 고 찰

저자들이 뇌기능검사에 사용한 BOLD기법은 기능적 MR영상에 중요한 방법으로 그원리는 뇌의 활성화에 따라 국소적혈류의 증가와 함께 산소 소모량이 증가되는데 이 늘어난 산소는 뇌조직의 유출정맥계, 즉 모세혈관및 정맥의 oxyhemoglobin양을 증가시켜 상대적으로 deoxyhemoglobin 농도를 감소시킨다. deoxyhemoglobin은 주위 proton의 T2 및 T2\* 이완시간을 감소시키는 상자성물질이므로 이의 감소는 T2 및 T2\* 강조영상에서 신호강도의 증가를 초래하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 gradient echo기법이나 EPI를 이용하여 뇌기능검사를 수행할 수있다(1, 2).

최근의 연구 보고에 의하면 운동활성화시 EPI의 BOLD 영

향에 의한 신호강도의 증가는 약 4-6%라고 알려져 있다(7). 저자의 경우에 있어서 이보다 약간 높게 나온 이유는 혈관에 의한 in-flow 영향이 추가되었기 때문으로 생각된다. 이러한 영향을 감소시키기 위해서는 해부학적강조영상에서 혈관을 보이게 하여 주변의 cortical vessel을 빼거나 속입각을 줄여서 flow 영향을 감소시키거나 후처리과정에서 신호강도가 10%이상되는 경우는 제거하는 방법이 있다(7).

운동자극시의 일차운동중추의 위치결정 및 좌측반구의 비대칭성에 대한 연구 등은 연구가 많이 되어 있다(3, 8). 그리고 뇌반구의 비대칭성은 운동중추에서는 현저하지만 감각중추에서는 이러한 비대칭성이 없다고 알려져 있다(9). 또한 운동자극시에 소뇌의 활성화에 대해서도 MRI로 알려진 바가 있다(10). 부운동중추의 편측성에 대해서는 최근에 부운동중추등이 좌측반구가 우세하다는 보고가 있다(5). 저자들의 결과에서는 일차운동중추의 좌측반구로의 편측성은 쉽게 눈에 띄나 부운동중추는 그렇지 않음을 알수 있는데 그이유로 부운동중추는 일차운동중추보다 상위의 중추로 신호 강도가 약하고 좌우측반구의 가로지르는 신경섬유의 수가 비슷하지 않을까 추정된다.

운동 circuit에 관여하는 뇌피질은 일차운동중추, 부운동중추 premotor parietal cortex등이 같이 작용한다고 알려져 있다. 이러한 운동자극에 대한 반응은 운동피질 이외에도 두정엽의 감각중추 및 associate cortex등에서도 활성화된다는 보고가 있다(7). 따라서 이러한 운동 circuit를 확인하기 위해서는 시간분해능이 큰 EPI를 이용하여 활성화시간의 차이를 확인하는 것이 필요하다.

결론적으로 일차운동중추는 반대측 뇌반구의 우세 및 한쪽반구의 비대칭성을 보였으나 부운동중추는 양측성이 우세하고 한쪽 뇌반구의 비대칭성이 약하다.

## 참 고 문 헌

1. Ogawa S, Lee T, Nayak AS et al. Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance imaging of rodent brain at high magnetic fields, *Magn Reson Med* 1990;14:68-78
2. Ogawa S, Lee T. Magnetic resonance imaging of blood vessels at high fields in vivo and in vitro measurements and image simulation, *Magn Reson Med* 1990;16:9-18
3. Kim S-G, Ashe J, Hendrich K, et al. Functional magnetic resonance imaging of motor cortex: hemispheric asymmetry and handedness. *Science* 1993;261:615-617
4. Seitz RJ, Roland PE, Bohm C, et al. Motor learning in man: a positron emission tomographic study. *NeuroReport* 1990;1:17-201
5. Y. Yamada H, Sadato N, Tanaka M, et al. Lateralization of the supplementary motor area in motor sequences test using high spatial resolution FMRI. *Proceedings of 4th ISMRM* 1996;1864
6. Strupp JP. Stimulate: a GUI based fMRI analysis software package. *Proceedings of 2nd functional mapping of the human brain* 1996;S607
7. Sanders JA, Orrison WW. Functional resonance imaging. Orrison WW's Functional brain imaging(1st ed). St. Louis Mosby 1995;239-326
8. Yetkin FZ, Papke A, Mark LP, et al. Location of the sensorimotor cortex: functional and conventional MR compared. *AJNR* 1995;16:2109-2113
9. Li A, Yetkin FZ, Cox R, et al. Ipsilateral hemispheric activation during motor and sensory tasks. *AJNR* 1996;17:651-655
10. Mattay VS, Frank JA, Santha AKS, et al. Whole-brain functional mapping with isotropic MR imaging. *Radiology* 1996;201:399-404

## Functional MRI of The Supplementary Motor Area in Hand Motor Task : Comparison Study with The Primary Motor Area

Ho Kyu Lee, Jin Suh Kim, Choong Gon Choi,  
Dae Chul Suh, Tae-Hwan Lim

*Dept. of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center*

**Purpose:** To investigate the localization and functional lateralization of the supplementary motor area (SMA) in motor activation tests in comparison to that of the primary motor area.

**Materials and Methods:** Seven healthy volunteers obtained echoplanar imaging blood oxygen level dependent technique. This study was carried on 1.5T Siemens Magnetom Vision system with the standard head coil. Parameters of EPI were followed as ; TR/TE : 1.0/66.0msec, flip angle : 90°, field of view : 22cm×22cm, matrix : 128×128, slice number/slice thickness/gap : 10/4mm/0.8mm with fat suppression technique. Motor task as finger opposition in each hand consisted of 3 sets of alternative rest and activation periods. Postprocessing were done on Stimulate 5.0 by using cross-correlation statistics. To compare the functional lateralization of the SMA in the right and left hand tests, each examination was evaluated for the percent change of signal intensity and the number of activated voxels both in the SMA and in the primary motor area. Hemispheric asymmetry was defined as difference of summation of the activated voxels between each hemisphere.

**Results:** Percent change of signal intensity in the SMA (2.49-3.06%) is lower than that of primary motor area(4.4-7.23%). Percent change of signal intensity including activated voxels were observed almost equally in the right and left SMA. As for summation of activated voxels, primary motor area had significant difference between each hemisphere but not did the SMA.

**Conclusion:** Preferred contralateral dominant hemisphere and hemispheric asymmetry were detected in the primary motor area but not in the SMA.

**Index words:** Brain, function ; Brain, MR ; MR, brain mapping ; MR, technology

Address reprint requests to : Ho Kyu Lee, M.D., Dept. of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center,  
# 388-1 Poongnap-Dong, Songpa-Gu, Seoul 138-736, Korea.  
Tel. 82-2-224-4371/4400 Fax. 82-2-476-4719