

## 대뇌 피질하 뇌졸중 환자의 손 운동 회복에 대한 기능적 뇌 자기공명영상 소견

계명대학교 의과대학 재활의학교실, <sup>1</sup>신경과학교실, <sup>2</sup>진단방사선과학교실,  
<sup>3</sup>경북대학교 의과대학 진단방사선과 의학영상연구실

박기영 · 이소영 · 이상도<sup>1</sup> · 손철호<sup>2</sup> · 한봉수<sup>3</sup>

= Abstract =

### Functional MRI in the Recovery of Hand Movement after Subcortical Stroke

Gi Young Park, M.D., So Young Lee, M.D., Sang Do Lee, M.D.<sup>1</sup>,  
Chul Ho Shon, M.D.<sup>2</sup> and Bong Soo Han, Ph.D.<sup>3</sup>

*Department of Rehabilitation Medicine, <sup>1</sup>Department of Neurology,  
<sup>2</sup>Department of Radiology, Keimyung University School of Medicine,  
<sup>3</sup>Department of Radiology, Kyungpook National University College of Medicine*

**Objective:** To investigate cortical reorganization of the brain during voluntary activities of the hand in patients with subcortical cerebral infarction.

**Method:** Twelve patients with first-ever subcortical brain lesion causing hemiparesis had been evaluated with functional MRI. Bilateral hand clenching was done to test voluntary hand activities. Recovery period ranged from 2 to 36 months.

**Results:** During the unaffected hand movement, activation of contralateral primary sensorimotor cortex (SMC) were recorded in all cases and supplementary motor area (SMA) in 1 case. The affected hand movement showed activation of the contralateral SMC in all cases, ipsilateral SMC in 4 cases, SMA in 4 cases and contralateral prefrontal area in 2 cases. As for the contralateral SMC, affected hand movement showed more increased activation than the unaffected. For the bilateral SMC activation during movement of the affected hand, contralateral SMC activation was greater than the ipsilateral.

**Conclusion:** Ipsilateral activation of the SMC, SMA, prefrontal area and increased activation of the contralateral SMC during affected hand movement suggest that these may play an important role in the reorganization of sensory and motor system in stroke patients with subcortical lesion. Functional MRI studies of patients who recovered from subcortical stroke provide evidence for several process that may be related to restoration of neurologic function.

---

**Key Words:** Functional MRI, Subcortical stroke, Reorganization, Restoration of neurologic function

---

접수일 : 2001년 9월 17일, 게재승인일 : 2001년 11월 6일

교신저자 : 이소영

이 연구는 2000년도 계명대학교 동산의료원 연구비에 의해 이루어졌음.

## 서 론

뇌졸중은 우리 나라 성인의 사망 원인들 중 상위를 차지하고 있으며 환자가 사망하지 않더라도 병변 부위에 따라 다양한 기능적 장애를 초래하게 된다. 뇌졸중 환자의 재활치료는 환자의 장애를 최소화하고 환자가 가진 기능을 극대화 시켜 삶의 질을 향상시키는데 있으며, 최근 재활의학 분야에서 뇌신경과학 연구의 핵심은 뇌졸중 후 환자의 운동 기능 회복 기전을 규명하여 효과적인 재활 치료를 하는데 있다.

뇌졸중 후 신경학적 기능 회복의 기전은 크게 두 가지 범주로 나누어 설명할 수 있다. 첫째, 뇌졸중 후 첫 3개월 내지 6개월에 뇌졸중으로 발생한 국소적 유해 인자들의 호전, 즉 국소 부종의 감소, 독성 물질의 흡수, 국소적 혈액순환 부전의 호전, 부분적으로 손상된 신경원의 회복 등에 의해 신경학적 기능 회복이 발생한다. 둘째, 뇌졸중 후 초기 혹은 말기에 발생할 수 있는 것으로 뇌 가소성(brain plasticity)을 들 수 있다. 뇌 가소성은 손상 받은 뇌 신경망이 구조적, 기능적으로 변화되고 개조될 수 있는 능력이다.<sup>15)</sup> 그 기전으로 손상 받은 대뇌 반구의 기능 변화에 의한 피질의 재구성(cortical reorganization),<sup>2,6)</sup> 손상 받은 신경세포의 측부 발아(sprouting), 억제되어 있던 기능이나 신경 경로가 활성화되는 비엄폐 현상(unmasking), 기능 해리(diaschisis) 등이 있다.<sup>16)</sup>

특히 재활의학 영역에서 뇌 손상 후 뇌 신경망의 손상과 재조직 양상을 직접 관찰하고 뇌 신경망의 가소성을 촉진하기 위한 재활 치료법의 개발과 이의 유용성을 밝히기 위해 기능적 뇌 영상법이 중요하다. 최근 뇌 손상 후 운동 기능 회복에 대한 신경망의 재조직 양상을 연구하기 위하여 뇌신경 세포 전자기장의 변화를 이용한 뇌자기도(Magneto Encephalo Gram, MEG), 경두개 자기 자극법(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS), 뇌파 검사(Electro Encephalo Gram, EEG) 등과 뇌관류 혹은 뇌혈류량 변화를 이용한 단광자 방출 전산화 단층촬영(Single Photon Emission Computerized Tomography, SPECT), 양자 방출 단층촬영(Positron Emission Tomography, PET), 기능적 뇌 자기공명영상(Functional Magnetic Resonance Image, fMRI) 등이 이용되고 있다.

기능적 뇌 자기공명영상은 다른 방법들에 비해 시

간적, 공간적 해상도가 뛰어나고, 조영제 주사나 이온화 방사선(ionizing radiation)의 위험이 없어 반복적인 검사가 용이하고 대뇌 피질의 재구성과 그 역동 상태를 뇌의 3차원적 해부 구조에서 관찰할 수 있는 장점들이 있다.<sup>19)</sup>

뇌졸중 환자를 대상으로 운동 기능 회복에 대한 기능적 뇌 자기공명영상 연구에서 운동 및 감각 뇌 피질, 전운동 영역, 보조 운동 영역, 전전두엽, 소뇌 등의 활성화 변화가 보고되었다.<sup>4,8,20)</sup>

그러나 이들 연구에서 뇌졸중의 원인과 부위, 뇌졸중 시기, 손의 운동 기능 회복 시기와 정도에 따른 뇌 신경망의 재구성은 아직 완전히 규명되지 않았고, 대뇌 피질 재구성에 영향을 미칠 수 있는 피질 병변, 혈류 역동을 변화시키는 약제 사용, 재활 치료 여부 등 여러 가지 요인들도 고려되지 않았다.

본 연구에서는 대뇌 피질 병변이 없는 피질하 뇌졸중 환자들을 대상으로 기능적 뇌 자기공명영상을 실시하여 손 운동 회복에 관여하는 대뇌 피질의 재구성 양상을 알아보고자 한다.

## 연구대상 및 방법

### 1) 연구대상

계명의대 동산의료원 재활의학과에 내원한 뇌졸중 환자들 중 일측성 대뇌 피질하 뇌졸중으로 기능적 뇌 자기공명영상 검사를 수행할 수 있을 정도로 인지 기능이 회복된 환자들을 대상으로 하였다. 대상 환자들은 뇌졸중 후 환측 손의 운동 기능이 전혀 없었거나(Medical Reserch Council, MRC=0), 손 근육의 약한 수축만 보였던(MRC=1) 중증의 손 운동 마비 환자들이었으나, 검사 당시 운동 기능이 회복되어 손의 과약과 유리가 가능하였다. 뇌병변 주변의 부종, 혈류 변화, luxury perfusion 등에 의한 대뇌 피질의 혈류 활성화 변화를 배제하기 위하여 자기 공명영상을 실시하여 피질 병변 소견이 있는 환자와 기존의 뇌졸중이나 중추 신경계 질환의 병력이 있는 환자는 제외하였다.

환자는 총 12명으로 여자 6명, 남자 6명이었으며 연령은 43세부터 80세로 평균 57세이었다. 뇌졸중 후 기능적 뇌 자기공명 영상 촬영을 하기까지 걸린 시간은 환자의 손 기능과 인지 기능 회복 여부에 따라 2개월에서 3년으로 평균 12개월이었다. 뇌졸중의

**Table 1.** Demographic and Clinical Features in 12 Patients with Subcortical Stroke

Pt.	Sex	Age	Involved side	Lesion	Stroke type	Interval <sup>1)</sup> (month)	Synkinesia <sup>2)</sup>
1	M	43	Lt	Striato-capsular	Hemorrhage	18	None
2	F	49	Lt.	Thalamus	Hemorrhage	2	Yes
3	M	53	Lt.	Putamen	Hemorrhage	14	None
4	F	56	Rt.	Putamen	Hemorrhage	5	None
5	F	60	Lt.	Pons	Hemorrhage	5	Yes
6	M	45	Rt.	Pons	Hemorrhage	14	None
7	F	80	Rt.	Pons	Infarction	10	None
8	M	67	Lt.	Thalamus	Infarction	36	None
9	M	51	Lt.	Striato-capsular	Infarction	24	None
10	F	68	Rt.	Putamen	Hemorrhage	7	None
11	M	56	Lt.	Putamen	Hemorrhage	6	None
12	M	53	Lt.	Pons	Infarction	7	None

1. Interval between stroke onset and fMRI, 2. Synkinesia of the unaffected hand when the affected hand is moved.

원인은 뇌출혈 8예, 뇌경색 4예이었고, 뇌출혈 부위는 피각 4예, 뇌교 2예, 내낭 1예, 시상 1예 이었으며, 뇌경색 부위는 뇌교 2예, 시상 1예, 내낭 1예 등이었다(Table 1).

**2) 연구방법**

기능적 뇌 자기공명영상은 1.5 Tesla 영상기(Siemens, Magnetom vision)를 사용하였으며, 뇌신경의 활동 시 혈류량 증가와 산소 추출비 감소의 차이에 의한 국소적인 탈산소 헤모글로빈(deoxyhemoglobin)의 감소를 T2 강조 영상으로 나타내는 BOLD (blood oxygen level dependent) 기법을 이용하였다. 이러한 BOLD 효과는 현재 사용 중인 1.5 Tesla 영역에서는 상대적으로 신호강도가 낮고 환자의 움직임이나 인공물에 의해 결과 분석 시 오류가 발생하기 쉬우므로 초고속 영상 기법으로 T2 강조 영상을 민감하게 반영하는 경사 자장 반향(gradient echoplanar imaging) 기법을 이용하였다(64×64 image matrix, 600 ms TR, 60 ms TE, 90° flip angle, slice thickness 5 mm, FOV 210 mm).

손 운동에 따른 뇌 활성화 방안으로 일정 시간 동안 여러 번의 과제를 반복하는 블록 방식(blocked trial design)과 감산법(subtraction method)을 이용하였다. 기능적 뇌 자기공명영상 촬영 동안 10초의 휴식기와 10초의 운동기로 나누어 1~2 Hz의 빈도로 손

의 능동적 파악과 유리를 실시하였으며, 각각 3회씩 반복하여 총 60초 동안 운동기에 얻어진 총 30개의 영상을 휴식기 영상들과 비교 분석하였다.

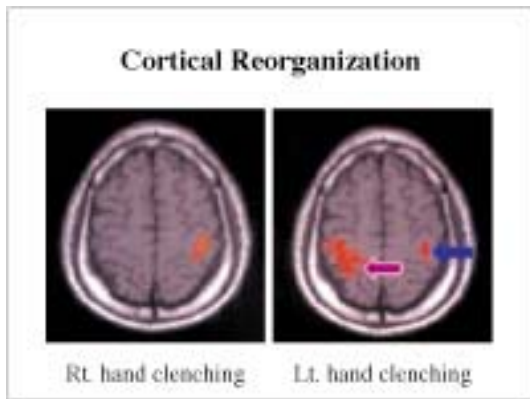
각 화소(pixel)간 개별 영상 정보의 차이를 추산하기 위한 통계학적 방법으로 student *t* test를 실시하여 군집을 이루는 화소의 활성화 정도를 통계학적으로 검증하였다(cluster analysis,  $p < 0.001$ ). Statistical Parametric Mapping (SPM)을 이용한 영상 분석 프로그램으로 미네소타 대학에서 개발된 STIMULATE Ver 5.0을 이용하였다.

환측과 건측 손 운동 시 피질 활성화 범위 분석을 위하여 대뇌 피질의 활성화 화소수를 측정하고 일차성 운동 및 감각 뇌피질에서 건측 손 운동 시 활성화 화소수를 환측 손 운동 시 활성화 화소수로 나누어 그비(Laterality Index)를 구하였다.

**결 과**

**1) 건측 손 운동 시 뇌 피질 활성화 부위**

모든 환자에서 건측 손 운동 시 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질(primary sensorimotor cortex)의 활성을 나타내었고, 보조 운동 영역(supplementary motor area) 활성이 1예에서 나타났다.



**Fig. 1.** fMRI of 45 years-old male patient with right pontine hemorrhage. Cortical activation is noticed in bilateral primary sensory and motor cortex. There is more activation on the contralateral primary sensorimotor cortex (pink arrow) than ipsilateral (blue arrow) during left (affected) hand clenching (case 6).

**2) 환측 손 운동 시 뇌 피질 활성화 부위**

모든 환자에서 환측 손 운동 시 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성을 보였으며, 동측 일차 운동 및 감각 피질의 활성화(Fig. 1)와 보조 운동 영역 활성화(Fig. 2)이 각각 4예, 전전두엽(prefrontal area) 활성이 2예에서 함께 나타났다.

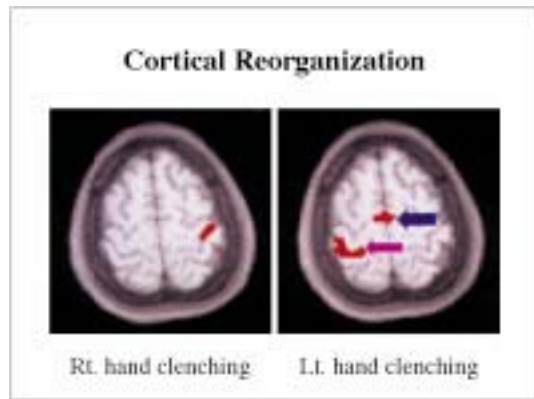
양측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성을 보인 4예의 뇌병변은 모두 뇌출혈이었고, 뇌졸중 부위는 피각, 시상, 내낭, 뇌교가 각각 1예씩이었다(Table 1).

**3) 건측 및 환측 손 운동 시 뇌피질 활성화 범위 분석**

환측 및 건측의 손 운동 시 뇌피질의 활성화 범위를 정량적으로 비교 분석하기 위해 각각의 개별 영상 정보를 담은 화소수를 비교하였다. 환측 손 운동 시 양측 일차 운동 및 감각 뇌피질 활성을 나타낸 4예의 환자에서 모두 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화 증가를 나타내었다.

환자의 뇌졸중 이환 기간이나 뇌졸중 유형과 뇌피질의 활성화 정도를 알아보기 위해 활성화 화소수의 비(Laterality Index)를 구하였으나, 임상적, 통계적으로 의미있는 연관성은 관찰할 수 없었다(Table 2).

모든 환자들에서 환측 및 건측의 손 운동 시 나타난 양측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화 범위를



**Fig. 2.** fMRI of 49 years-old female patient with right thalamic hemorrhage. Cortical activation is noticed in right sensorimotor cortex (pink arrow) and supplementary motor area (blue arrow) during left (affected) hand clenching (case 2).

비교하였다. 건측과 환측의 손 운동 시 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화 범위는 각각 46.08, 57.58로 환측의 손 운동 시 활성화 증가를 나타내었다. 환측의 손 운동 시 반대측과 동측의 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화는 각각 57.58, 13.08로 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화 범위가 더 증가되었다(Table 3).

**고 찰**

인체 내의 뇌 신경망의 구성과 역동 상태를 직접적으로 관찰할 수 있는 방법 중 하나인 기능적 뇌 영상법을 이용하여 뇌졸중 후 운동 기능 회복 기전을 규명하려는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.<sup>5,23,24,28,29)</sup> 기능적 뇌 자기공명영상은 1993년 Ogawa 등<sup>21)</sup>이 뇌 활성화에 따른 혈류 내 산소량의 변화를 이용한 BOLD 기법으로 대조 물질의 주입 없이 뇌혈류 변화를 영상화하는데 성공한 이후 방사선 조사나 조영제 주사의 위험성이 없어 다양한 뇌 기능 연구를 위하여 사용되고 있다. 최근 기능적 뇌 자기공명영상을 이용하여 언어 영역,<sup>3,9)</sup> 시지각 기능,<sup>11)</sup> 기억 기능,<sup>14)</sup> 정서 및 동기의 신경 영역<sup>18,31)</sup> 등에서 연구가 활발히 행해지고 있고 재활의학 영역에서도 뇌손상 후 기능적 회복에 대한 뇌 신경망의 재조직화, 뇌신경의 가소성, 재활 치료 효과의 증명 등

**Table 2.** Number of Significantly Activated Pixels of Primary Sensorimotor Cortex (SMC) during Hand Movement

Pt.	Involved side	Hand movement	No. of activated pixels		Laterality index <sup>1)</sup>
			Rt.	Lt.	
1	Lt.	Affected	34	66	0.62
		Unaffected	41	0	
2	Lt.	Affected	35	105	0.69
		Unaffected	73	0	
3	Lt.	Affected	60	64	0.80
		Unaffected	48	0	
4	Rt.	Affected	90	0	0.61
		Unaffected	0	55	
5	Lt.	Affected	0	45	1.02
		Unaffected	46	0	
6	Rt.	Affected	57	28	0.65
		Unaffected	0	37	
7	Rt.	Affected	16	0	1.63
		Unaffected	0	26	
8	Lt.	Affected	0	48	0.56
		Unaffected	27	0	
9	Lt.	Affected	0	60	0.93
		Unaffected	56	0	
10	Rt.	Affected	56	0	0.92
		Unaffected	0	52	
11	Lt.	Affected	0	36	1.44
		Unaffected	52	0	
12	Lt.	Affected	0	48	0.83
		Unaffected	40	0	

1. Laterality index: No. of pixels in contralateral SMC by unaffected hand movement/No. of pixels in contralateral SMC by affected hand movement.

**Table 3.** Activation of Primary Sensorimotor Cortex (SMC) in Subcortical Stroke Patients during Hand Movement

Activated cortical area	Affected hand movement		Unaffected hand movement	
	Contralateral cortex	Ipsilateral cortex	Contralateral cortex	Ipsilateral cortex
SMC	57.58±23.27*	13.08±20.69	46.08±13.10	2.00±6.92
Total	70.66±37.29		48.08±13.10	

Values are number of pixels and mean±SD.

\*p<0.05

을 위하여 이용되고 있다.<sup>1,12,14)</sup>

뇌 자기공명영상 원리와 유사한 뇌혈류 변화를 이용한 양자 방출 단층촬영(PET)을 이용한 연구에서

Frackowiak 등<sup>12)</sup>은 피질하 내상에 뇌졸중이 있는 환자군에서 환측 손 운동 시 양측 대뇌 운동 피질, 양측 소뇌, 대상 피질부(cingulate cortex) 및 섬(insular)

부위의 활성화를 보고하였으며, 대조군과 비교하였을 때 동측 피질 활성화도가 더 증가되었다고 하였다.

기능적 뇌 자기공명영상을 이용한 뇌졸중 환자의 손 운동 회복에 대한 연구에서 환자의 환측 손 운동 시 동측 및 반대측 운동 및 감각 뇌피질, 보조 운동 영역, 전전두엽, 전운동영역, 소뇌 등 다양한 부위에서 활성화도가 증가가 보고되었다.<sup>10,16,17,20,23,25,27</sup> 본 연구에서는 환측 손 운동 시 모든 환자에서 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화가 나타났고 동측 일차 운동 및 감각 뇌피질, 보조 운동 영역, 반대측 전전두엽에서 대뇌 피질의 활성화가 다양하게 동반되었다. 그러나, 반대측 뇌피질의 활성화 없이 동측 일차 운동 및 감각 뇌피질만 활성화된 예는 관찰되지 않았다.

Cramer<sup>8)</sup>는 뇌졸중으로 인한 편마비에서 회복된 10명의 환자를 대상으로 손가락 운동(tapping)을 이용한 기능적 뇌 자기 공명 영상을 실시하여 환측 손가락 운동 시 나타나는 반대측 뇌피질 활성화 범위가 건측 운동 시보다 더 증가되었다고 보고하였다. 본 연구에서 피질하 뇌졸중 환자의 환측 손과 건측 손의 능동적 과약 운동을 비교하였을 때 환측 손 운동 시 반대측 일차 운동 및 감각 피질의 활성화가 증가된 양상을 보여 다른 연구들과 동일한 결과를 나타내었다.

Weiller<sup>30)</sup>는 피질하 뇌졸중 환자의 양자 방출 단층 촬영 조건에서 환측 손의 운동 시 나타나는 동측 대뇌 피질의 활성화가 뇌졸중 환자의 손 운동 기능 회복과 연관성이 있다고 보고하였으며, 뇌졸중의 회복 초기에 기능적 뇌 자기공명영상을 이용한 연구에서도 유사한 결과가 보고되었다.<sup>4,8)</sup>

Marshall 등<sup>20)</sup>은 피질 척수로가 손상된 뇌졸중 환자에서 급성기와 회복기에 순차적으로 손 운동을 이용한 기능적 뇌 자기공명영상 촬영을 실시하여 급성기의 동측 일차 운동 및 감각 뇌피질 활성화 증가가 회복기에 반대측 뇌피질 활성화 증가로 전이된다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 동측 활성을 나타낸 4예의 경우 모두 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성화가 동반되었으며, 뇌졸중의 회복 시기와 관계없이 동측에 비해 반대측 대뇌 피질의 활성화도가 모두 증가되었다. 이는 뇌졸중 환자의 손 운동 기능 회복에 있어 동측 대뇌 피질의 활성화 증가를 일차적 기전으로 설명하던 기존의 연구 결과와는 차이가 있다.

뇌 가소성에 대한 초기 연구에서 동측 일차 운동 및 감각 뇌피질 활성화가 협동 운동(synkinesia)과 연관

되어 나타난다고 하였으나, 최근 동측 피질의 활성화는 운동 회복 초기에 나타나는 뇌 가소성의 기전의 하나로 협동 운동과 관련 없이 나타난다고 보고되고 있다.<sup>20)</sup> 본 연구에서는 2예의 환자에서 환측 손 운동 시 건측 손의 협동 운동이 나타났으나 동측 일차 운동 및 감각 뇌피질 활성화는 1예에서만 나타나 동측 운동 경로와 협동 운동의 연관성은 없는 것으로 생각된다.

전전두엽의 피질은 시상 내측핵과 연결되어 있고 시상 하부와 대뇌 피질의 일차성 운동 및 감각 뇌피질로부터 신경 섬유를 받는다.<sup>20)</sup> 전전두엽 피질의 활성화는 직접적인 외부 자극보다 대뇌의 손 운동과 연관된 다른 피질 부위의 활성화에 의한 것으로 알려져 있다.<sup>13,22)</sup> 본 연구에서 전전두엽 피질의 활성화는 뇌졸중 후 각각 5개월, 6개월 된 좌측 뇌교 출혈, 우측 피각 출혈에 의한 편마비 환자의 환측 손 운동 시 나타났으며, 상기 환자들의 환측과 건측 손 운동 시 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질 활성화 화소수를 비교한 Laterality Index는 각각 1.02, 1.44로 양측 일차 운동 및 감각 뇌피질 활성화도가 유사하였다.

보조 운동 영역의 활성화는 손의 단순한 반복 운동 시에 주로 나타나며 손의 움직임의 시작, 계획, 학습 하거나 동작을 수행하는데 필요한 신경망의 선택 초기에 나타난다.<sup>7)</sup> 환측 손 운동 시 보조 운동 영역의 활성을 동반한 4예 환자의 검사 시기는 뇌졸중 후 평균 7개월로 전체 환자군의 평균 검사 시기인 12개월보다는 짧아 비교적 회복 초기에 동측 신경 경로가 뇌졸중 환자의 운동 기능 회복에 관여하고 있다는 여러 연구 결과와 일치하는 소견을 보였다. 그러므로 보조 운동 영역이나 전전두엽의 활성화는 각손 운동 단계에서 담당하는 부분이 있을 것이나, 피질하 뇌졸중 환자에서 손상된 피질 척수로에 의한 신경망 재구성으로 생각된다.

본 연구에서 양측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성을 보인 4예의 환자는 모두 뇌출혈에 의한 편마비 환자였고, 침범 부위는 시상, 피각, 뇌교 등으로 다양하였다. 양측과 편측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 활성을 나타낸 환자들을 서로 비교하였을 때 뇌병변 유형과 침범 부위는 다양하였다. 이는 뇌졸중 초기 상지 마비 정도와 검사 당시 환자의 손 운동 능력은 유사하였으나, 대상 환자 수가 적고 손상 정도, 손 운동 회복에 소요된 시간, 손 운동 시 개개인의 약

력과 근긴장도 및 손 운동 시 파악의 빈도 등이 고려되지 않았기 때문에 뇌피질 활성화 양상과 뇌졸중 병변 부위 및 회복 시기에 따른 연관성을 규명하기에는 어려움이 있다.

기능적 뇌 자기공명영상을 이용한 연구에서는 뇌 신경망의 가소성과 재조직 상태를 가시화하여 보여주고 있으나 목적하고자 하는 뇌 기능의 활성화 영향을 얻기 위해서는 분석 과정에서 여러 가지를 고려해야 한다. 첫째, 움직임에 의한 신호 변화는 기능적 뇌 자기공명영상의 결과를 해석하는데 가장 오류를 크게 발생시킬 수 있는 요인이다. 실제로 3~5%의 뇌혈류 활성화도 차이를 감지하여 영상화하는 과정에서 특히 머리의 움직임은 실제 뇌신경의 활성화에 의한 신호 변화와 동일한 정도의 자기 공명 신호 변화를 일으킬 수 있으므로 반드시 교정되어야 한다. 둘째, 혈류 역동 변화에 의해서 나타나는 자기 공명 신호 변화를 잡음과 구별하기 위한 공간적 편평화 (spatial smoothing) 과정에서도 분석가의 주관적인 해석이 신호의 변별에 영향을 미칠 수 있다. 셋째, 통계 분석은 얻어진 영상 신호 반응을 모수 추정을 이용하여 국소적인 화적소(voxel) 간의 차이를 분석하는 과정이다. 이러한 차이를 추산하기 위해 다양한 통계적 방법이 사용될 수 있으나, 분석 프로그램에 사용된 통계적 방법이나 p-value 범위 산정에 따라 피질 활성도가 나타나기도 하고 소멸되기도 하므로 향후 기능적 영상의 분석 방법에 있어 기타 연구 결과와 비교할 때 통계적 방법의 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

뇌 혈류 변화를 이용한 BOLD 기법으로 피질 혈류 변화를 영상화할 때 피질 병변이 있으면 주변의 부종, 혈류 변화, luxury perfusion 등에 의한 피질 활성화도 변화가 나타날 수 있다. 또한 혈류 역동을 변화시키는 약제 사용이나 재활 치료 여부 등이 대뇌 피질 재구성에 영향을 미칠 수 있다.<sup>30)</sup> 본 연구에서는 뇌 병변 부위가 대뇌 피질을 직접적으로 침범하지 않는 피질 하 뇌졸중 환자만을 대상으로 기능적 뇌 자기공명영상을 이용하여 대뇌 피질 활성화도를 조사하였으므로, 대뇌 피질 신경망의 재구성에 대한 보다 정확한 정보를 얻을 수 있었다고 생각된다. 그러나 대상 환자의 부족으로 뇌졸중의 유형, 손상 부위, 회복 시간 및 경과에 따른 피질의 재구성 양상은 고찰할 수 없었고, 뇌 혈류 활성화에 영향을 미칠

수 있는 약제 사용, 재활 운동 치료의 영향 등은 고려되지 않았다. 그러므로 향후 다수의 환자를 대상으로 뇌가소성과 신경망의 재구성에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 요인들을 고려한 연구가 필요하다.

## 결 론

뇌졸중의 기왕력이 없고 피질의 기능 및 혈류 변화에 영향을 미치는 병변이 없는 피질하 뇌졸중 환자 12명을 대상으로 기능적 뇌 자기공명영상을 실시하였다. 환측 손 운동 시 기능적 뇌 자기공명영상 소견에서 동측의 일차 운동 및 감각 뇌피질, 보조 운동 영역, 전전두엽의 활성화와 반대측 일차 운동 및 감각 뇌피질의 의미 있는 활성화 증가는 피질하 뇌졸중 환자의 손 운동 기능 회복과 연관된 대뇌 피질의 재구성으로 생각된다. 이는 뇌졸중 환자의 뇌 가소성에 의한 기능 회복과 포괄적 재활 치료에 있어 운동 학습의 신경과학적 근거를 제시하고, 향후 뇌졸중 환자의 재활 치료법의 과학적인 효용성 입증과 새로운 재활 치료법의 개발에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 김연희: 재활의학 분야에서 Functional MRI의 활용. 대한재활의학회지 2000; 24: 349-362
- 2) Bach-y-Rita P: Brain plasticity. In: Goodgold J, editor. Rehabilitation medicine, St. Louis: The CV Mosby Company, 1988, pp113-118
- 3) Binder JR, Swamon SJ, Hammeke TA, Morris GL, Mueller WM, Fisher M, Bendadis S, Forst JA, Rao SM, Hmghton VM: Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test. Neurology 1996; 46: 978-984
- 4) Cao Y, D'Olhaberriague L, Vikingstad EM, Levine SR, Welch KM: Pilot study of functional MRI to assess cerebral activation of motor function after poststroke hemiparesis. Stroke 1998; 29: 112-122
- 5) Chollet F, Di Piero V, Wise RJ, Brooks DJ, Dolan RJ, Frackowiak RS: The functional anatomy of motor recovery after stroke in humans: a study with positron emission tomography. Ann Neurol 1991; 29: 63-71
- 6) Cicinelli P, Traversa R, Rossini PM: Post-stroke reorganization of brain output to the hand: a 2~4 month follow up with focal magnetic transcranial

- stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997; 105: 438-450
- 7) Colebatch JG, Deiber MP, Passingham RE, Friston KJ, Frackowiak RS: Regional cerebral blood flow during voluntary arm and hand movements in human subjects. *J Neurophysiol* 1991; 65(6): 1392-1401
  - 8) Cramer SC, Nelles G, Benson RR, Kaplan JD, Parker RA, Kwong KK, Kennedy DN, Finklestein SP, Rosen BR: A functional MRI study of subjects recovered from hemiparetic stroke. *Stroke* 1997; 28: 2518-2527
  - 9) Demonet IF, Chollet F, Manmsay S, Cardebat D, Nespoulons JL, Wise R, Rascol A, Frackowiak R: The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain* 1992; 115: 1753-1768
  - 10) Deiber MP, Passingham RE, Colebatch JG, Friston KJ, Nixon PD, Frackowiak RS: Cortical areas and the selection of movement: a study with positron emission tomography. *Exp Brain Res* 1991; 84: 393-402
  - 11) Doyon J, Song AW, Lalonde F, Karni A, Adams MM, Ungerleider LG: Plastic change within the cerebellum associated with motor sequence learning: A fMRI study. *Neuroimage* 1999; 9(4): S506
  - 12) Frackowiak R: Functional imaging of recovery from stroke: A review of personal experience. *Cerebrovasc Dis* 1999; 9(Suppl 5): 23-28
  - 13) Frith CD, Friston K, Liddle PF, Frackowiak RS: Willed action and the prefrontal cortex in man; a study with PET. *Proc R Soc Lond[Biol]* 1991; 244: 241-246
  - 14) Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM: Principles of neural science, 4th ed, New York: The McGraw-Hill Companies Inc, 2000, pp960-969, pp1227-1246
  - 15) Kaplan MS: Plasticity after brain lesion: contemporary concepts. *Arch Phy Med Rehabil* 1988; 69: 984-991
  - 16) Kim S-G, Ashe J, Hendrich K, Ellermann JM, Merkle H, Ugerbil K, Georgopoulos AP: Functional magnetic resonance imaging of motor cortex: hemispheric asymmetry and handedness. *Science* 1993; 261: 615-617
  - 17) Kleinschmidt A, Nitschke MF, Frahm J: Somatotopy in the human motor cortex hand area: A high-resolution functional MRI study. *Eur J Neurosci* 1997; 9(10): 2178-2186
  - 18) LaBar KS, Gitelman DR, Parrish TB, Mesulam MM: Neuroanatomical overlap of working memory and special attention networks: A functional MRI comparison with subjects. *Neuroimage* 1999; 10: 695-704
  - 19) Le Biham D, Jezzard P, Haxoy J, Sadato N, Rueckert L, Mattay V: Functional magnetic resonance imaging of the brain. *Ann Int Med* 1995; 122(4): 276-303
  - 20) Marshall RS, Perera GM, Lazar RM, Krakauer JW, Constantine RC, DeLaPaz RL: Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction. *Stroke* 2000; 31(3): 656-661
  - 21) Ogawa S, Menon RS, Tank DW, Merkle H, Ellermann JM, Ugurgill K: Functional brain mapping by blood oxygenation level -dependent contrast magnetic resonance imaging. A comparison of signal characteristics with a biophysical model. *Biophys J* 1993; 64: 803-808
  - 22) Posner MI, Peterson SE: The attention system of the human brain. *Ann Rev Neurosci* 1990; 13: 25-42
  - 23) Rao SM, Binder JR, Bandettini PA, Hammeke TA, Tetkin FZ, Jesmanowicz A, Lisk LM, Morris GL, Mueller WM, Estkowski LD, Wong EC, Haughton VM, Hyde JS: Functional magnetic resonance imaging of complex human movements. *Neurology* 1993; 43: 2311-2318
  - 24) Remy P, Zilbovicius M, Leroy-Willig A, Syrota A, Samson Y: Movement- and task-related activations of motor cortical areas: a positron emission tomographic study. *Ann Neurol* 1994; 36: 19-26
  - 25) Rossini PM, Caltagirone C, Castriota-Scanderbeg A, Cicinelli P, Del Gratta C, Demartin M, Pizzella V, Traversa R, Romani GL: Hand motor cortical area recognition in stroke: A study with fMRI, MEG, and TSC maps. *Neuroreport* 1998; 22: 2141-2146
  - 26) Rossini PM, Tecchio F, Pizzella V, Lupoi D, Cassetta E, Pasqualetti P, Romani GL, Orlacchio A: On the reorganization of sensory hand area after monohemispheric lesion: A functional (MEG)/anatomical (MRI) intergrative study. *Brain Res* 1998; 782: 153-166
  - 27) Seitz RJ, Hoflich P, Binkofski F, Tellmann L, Herzog H, Freund HJ: Role of the premotor cortex in recovery from middle cerebral artery infarction. *Arch Neurol* 1998; 55(8): 1081-1088
  - 28) Shibasaki H, Sadato N, Lyshkow J, Yonekura Y, Honda M, Nagamine T, Suwazono S, Matgata Y, Ide-da A, Miyazaki M, Fukuyama H, Asat R, Konishi J: Both primary motor cortex and supplementary motor area play an important role in complex finger movement. *Brain* 1993; 116: 1387-1398.
  - 29) Weiller C, Chollet F, Friston KJ, Wise RJ, Frackowiak RS: Functional reorganization of the brain in reorganization of the brain in recovery from striatocapsular infarction in man. *Ann Neurol* 1992; 31: 463-472
  - 30) Weiller C, Ramsay SC, Wise RJ, Friston KJ, Fracko-



- wiak RS: Individual patterns of functional reorganization in the human cerebral cortex after capsular infarction. *Ann Neurol* 1993; 33: 181-189
- 31) Whalen PJ, Rauch SL, Etcoff NL, McInerney SC, Lee MB, Jenike MA: Masked presentation of emotional facial expression modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J Neurosci* 1998; 18(1): 411-418
-