

## 복합수지운동에서 소뇌의 양측성 기여에 관한 기능적 자기공명영상 연구<sup>1</sup>

정은철 · 윤은경 · 이영래 · 김유경<sup>2</sup> · 박기덕<sup>3</sup>

**목 적** : EPI를 이용한 기능적 자기공명영상(fMRI)으로 일측 복합수지 운동 시 소뇌피질의 활성화 신호를 포착하고 운동수행에 있어 소뇌 피질의 양측성 관여를 알아보고자 하였다.

**대상 및 방법** : 7명의 오른손잡이 자원자를 대상(남:여 = 3:4, 평균 연령 30.3세)으로 1.5T 초전도자기공명영상장치를 이용하여 EPI 기능적 자기공명영상(TR/TE/Flip angle : 0.96 msec / TE 64 msec / 90°, FOV 22 cm, 128 × 128 matrix, 10 slices, 10 mm thickness)을 얻었다. 오른손 손가락을 서로 마주치게 하는 운동을 하게 하고, 10개 절편을 한절편당 15번의 EPI를 촬영하여 활성화와 휴지기를 3차례 반복 하여 360초 동안 총 900개의 영상을 얻었다(10 slices × 15 EPI × 6 cycles = 900 images). 이 paradigm을 1회 시행하였다. 촬영한 영상은 200MHz Dual Pentium PC에서 분석하였으며 T-test( $p < 0.005 \sim p < 0.0005$ )와 시간경과에 따른 평균 신호강도 상승률(percent change of signal intensity : PCSI)을 계산하였다. 활성화 위치를 확정하기 위하여 스펀에코 T1강조 관상영상을 중첩하고 색조 처리하여 최종영상을 얻었다.

**결 과** : 대상자 모두에서 반대측(좌측) 대뇌의 일차 운동피질에서 신호강도의 증가(PCSI =  $3.12 \pm 0.96$ )가 있었으며 동측(우측) 소뇌피질에서도 의미있는 신호강도의 증가(PCSI =  $3.09\% \pm 1.14$ )를 볼 수 있었다. 대측의 보조적 운동피질인 내측 전두엽 피질에서도 신호강도의 증가(PCSI =  $2.91\% \pm 0.82$ )가 있었다. 모든 자원자에서 대측(좌측) 소뇌의 상부피질에서 신호강도의 증가(PCSI =  $2.50\% \pm 0.69$ )를 볼 수 있었으며 좌-우측 소뇌피질에서 신호강도상승의 의미있는 차이는 없어, 수지운동시 소뇌피질의 활성화는 양측성으로 일어나는 것을 알 수 있었다. 모든 데이터는 시간경과에 따른 신호강도의 변화가 활성화-휴지기의 paradigm과 일치하였다.

**결 론** : EPI를 이용한 fMRI로 일측의 복합수지운동을 시행하여 좌우측 소뇌피질에서 의미있는 신호강도의 상승을 관찰하였다. 이것은 소뇌가 운동수행에 있어서 양측성으로 관여하며 일측 사지운동시 소뇌가 양측성으로 활성화된다는 임상적 소견을 뒷받침하는 증거라고 할 수 있다.

운동기능에 관여하고 조절하는 기관들로는 뇌의 운동피질과 피질하 회백질, 그리고 피질-척수로, 피질-연수로 등의 하행 운동로 및 소뇌와 기저핵이 있다. 이와 함께 감각기관과 소뇌의 계속적인 되먹이기가 운동기관의 지속적인 작용에 매우 중요하다. 소뇌는 운동수행에 있어 두 가지 중요한 기여를 한다. 미세하고 잘 훈련된 움직임을 크고 돌발적인 움직임과 적절하게 조화시키는 작용을 하며, 다른 하나는 근육의 긴장성과 평형을 유지하는 역할을 한다. 일반적으로 소뇌는 한쪽 사지의 운동조절

에 관여하여 소뇌의 편측 손상이 있을 때는 같은 쪽 사지의 운동기능장애를 초래하는 것으로 알려져 있다(1). 그러나 임상적으로 소뇌에 병변이 있을 때는 대뇌 운동피질의 병변과 비교하여 회복이 더 빠르고 마비가 일측성으로 뚜렷이 나타나지 않는 경우도 있다(2, 3). 근래에 소뇌가 운동수행시 양측성으로 관여한다는 연구들이 보고되었으나(3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) 국내에는 MR을 이용한 운동의 기능적영상에 대한 연구가 대부분 대뇌의 운동피질의 활성화에 집중되어 있으며 소뇌피질에 대한 연구는 그리 많지 않은 실정이다(10, 11, 12). 이에 저자들은 오른손 손가락의 복합 운동 수행 시 대뇌피질의 활성화와 함께 소뇌피질의 활성화를 관찰하고 소뇌피질의 활성화 신호의 편향성을

<sup>1</sup>성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 방사선과

<sup>2</sup>이화여자대학교 의과대학 방사선학교실

<sup>3</sup>이화여자대학교 의과대학 신경과학교실

이 논문은 1998년 9월 7일 접수하여 1998년 10월 27일에 채택되었음.

알아 보기 위하여 이 연구를 수행하였다.

## 대상 및 방법

7명의 오른손잡이 자원자(남:여 = 3:4, 평균 연령 30.3세)가 실험에 참여하였다. 오른손잡이의 판정은 Edinburg Inventory를 변형하여 판정하였다. 실험 수행시 대상자는 다른 생각을 하지 않고 오직 손가락만 움직이도록 하고 끝날 때까지 가능한 한 평정상태가 유지되도록 주시시켰다. 1.5 T 초전도자기공명영상장치를 이용하여 EPI 기능적 자기공명영상(TR/TE/Flip angle : 0.96 msec/TE 64msec/90°, FOV 22 cm, 128 × 128 matrix, 10slices, 10mm thickness)을 얻었다. MR촬영시 움직임을 최소화하기 위하여 head coil안쪽을 스펀지 패드로 채운 후 머리를 단단히 고정하였다. MR기기에서 발생하는 규칙적인 기계음(초당 2회)에 맞추어 오른손 손가락을 임의의 순서로 서로 마주치게 하는 운동을 하게 하여 활성화와 휴지기를 3차례 반복하였다. 실험연구에 수직으로 관상면을 설정하고 소뇌 전체가 포함 되도록 10개 절편을 스캔하였으며 한 절편 당 15번의 EPI를 촬영하여 360초 동안 총 900개의 영상을 얻었다(10slices × 15 EPI × 6cycles = 900images). 활성화 위치를 확정하기 위하여 스펀에코 T1강조 관상영상을 중첩하고 P-value 등급별로 색조 처리하여 최종영상을 얻었다. 결과분석은 활성화 신호강도상승이 휴지기에 비하여 평균 1%이상 상승하였을 때를 기준으로 하였다. 촬영한 영상은 200mHz Dual Pentium PC에서 분석하였으며, 대뇌의 운동피질, 보조 운동피질과 소뇌피질의 활성화 신호 발생여부를 측정하고 휴지기-활성기에 따른 활성화 신호의 주기적 변화 그리고 T-test( $p < 0.005 \sim p < 0.0005$ )와 시간경과에 따른 평균 신호강도 상승률(percent change of signal intensity: PCSI)을 계산하였다. Noise제거의 수준은 먼저 p값을 0.001로 하여 얻은 활성화신호를 T1강조영상에 중첩하여 활성화 신호를 충분히 인지할 수 없으면 p값을 0.005로 하고 noise가 심하면 0.0005로 내리는 등의

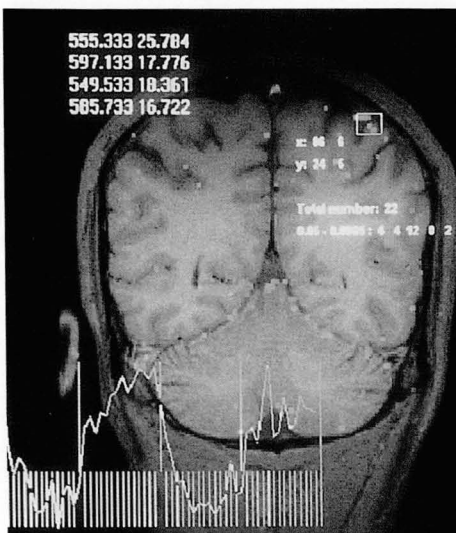
방법으로 하여 p값의 범위를 정하였다. 활성화신호가 나타난 영역을 포함하도록 마우스로 정사각형의 관심영역을 그린 후 소프트웨어적으로 처리하여 이 측정치를 마이크로소프트 오피스엑셀로 분석하여 활성화-휴지기의 시간경과에 따른 신호강도의 그래프를 작성하였다.

## 결 과

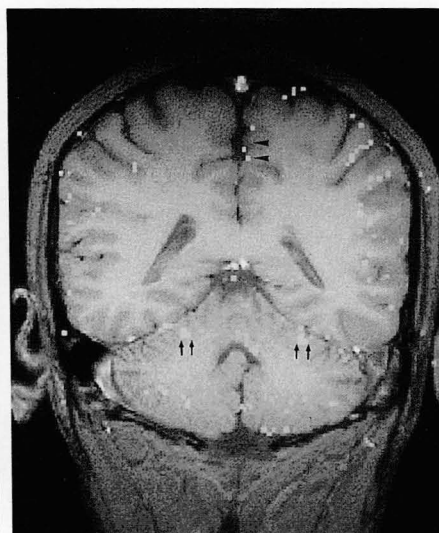
PC용 소프트웨어를 이용하여 7명의 정상자원자 모두에서 좌측 운동피질과 보조운동피질, 그리고 소뇌의 상부피질에서 양측성으로 활성화신호의 지도화가 가능하였다. 7명모두에서 대측(좌측) 대뇌의 일차 운동피질(Fig. 1)과 보조적 운동피질(Fig. 2)에서 활성화 신호를 포착하였으며 신호강도의 증가는 각각 3.12%(PCSI =  $3.12\% \pm 0.96$ )와 2.91%(PCSI =  $2.91\% \pm 0.82$ )였다(Table 1). 동측(우측) 소뇌피질의 신호강도는 3.09%(PCSI =  $3.09\% \pm 1.14$ )였고 좌측 소뇌의 상부피질에서는 2.5%(PCSI =  $2.50\% \pm 0.69$ )의 신호강도의 증가를 볼 수 있었다(Fig. 2). 소뇌에서의 활성화 신호는 상부 피질의 내측에서 외측으로 분포하고 있었으며 내외측의 신호강도의 차이는 볼 수 없었다. 치상 핵이나 소뇌 중심부에서 활성화 신호가 나타나는 증거는 본 연구에서 발견할 수 없었다. 좌-우측 소뇌피질에서 신호강도상승의 의미있는 차이는 없어, 손가락을 움직일 때 일어나는 소뇌피질의 활성화는 양측성으로 일어나는 것을 알 수 있었다. 모든 데이터는 시간경과에 따른 신호강도의 변화가 활성화-휴지기의 paradigm과 일치하였다(Fig. 3).

## 고 찰

EPI의 BOLD기법을 이용한 뇌의 기능적 지도화(functional mapping)가 신경과학의 여러 분야에서 활발하게 이루어지고 있는 데, 이러한 fMRI를 통한 활성화 영상은 특정 자극에 대한 특정 뇌 피질의 활성화때문이며 이는 지금까지 알려진



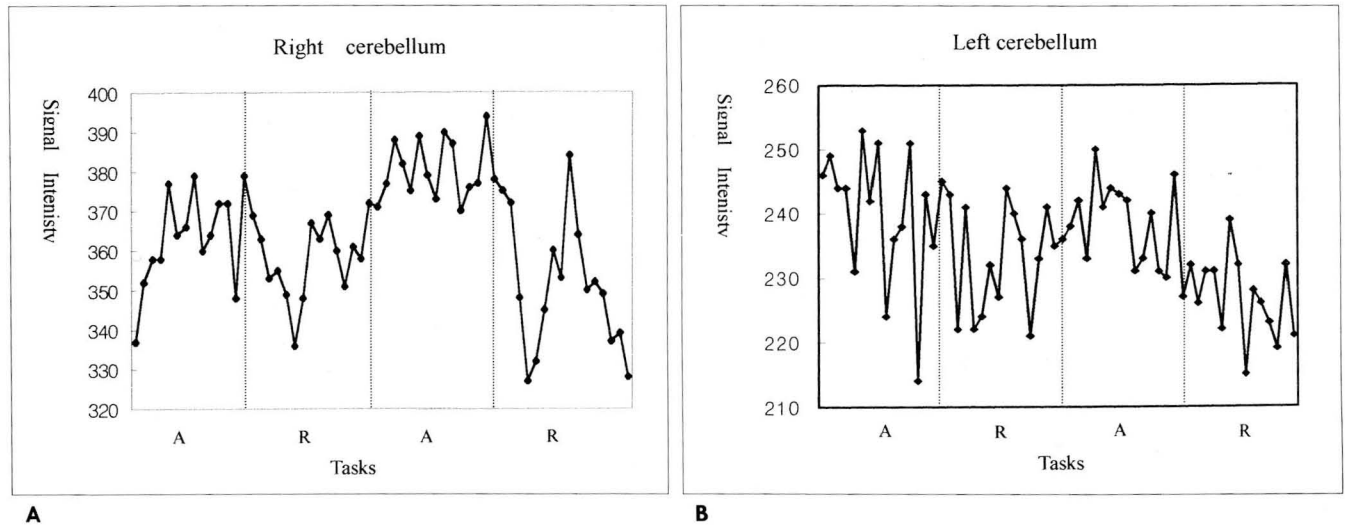
1



2

**Fig. 1.** Functional imaging of the motor cortex activated by right finger movement. Activation signals are noted in the left parietal (motor) cortex (rectangle). Overlapped image of time-series diagram shows cyclic change of signal intensity according to the periodicity of the task.

**Fig. 2.** Functional imaging of the cerebellum and supplementary motor cortex activated by right finger movement. Activation signals are seen in the ipsilateral and contralateral cerebellar cortex (arrows). Signals are also mapped in the mesial frontal (supplementary motor, arrow heads) cortex.



**Fig. 3.** Signal intensity changes during activation and resting phase of right hand movement. Cyclic changes of signal intensity in the both cerebellum follow the periodicity of the motor task. A : activation, R : resting state

**Table 1.** Summary of Cerebral and Cerebellar Cortical Activation in 7 Normal Subjects

Number of Subjects	Percent Changes of Signal Intensity (%)			
	Cerebrum		Cerebellum	
	MC*	SMA†	Right	Left
1	2.32 ± 0.84	3.36 ± 1.35	2.93 ± 1.56	3.32 ± 0.14
2	2.84 ± 0.98	2.95 ± 0.58	3.35 ± 0.94	1.22 ± 0.63
3	3.27 ± 2.56	3.27 ± 1.25	4.28 ± 1.77	2.14 ± 0.63
4	2.95 ± 0.83	1.98 ± 0.82	2.21 ± 0.51	2.35 ± 0.84
5	3.37 ± 1.23	3.59 ± 0.63	3.64 ± 1.28	2.18 ± 0.59
6	4.46 ± 0.72	2.74 ± 0.51	3.24 ± 1.28	1.92 ± 0.67
7	2.65 ± 0.95	2.91 ± 0.82	1.95 ± 0.68	2.61 ± 0.72
Average ± SD	3.12 ± 0.96	2.91 ± 0.82	3.09 ± 1.14	2.50 ± 0.69

MC\* : Left motor cortex

SMA† : Left supplementary motor cortex

고유영역과 잘 일치함이 알려져 있다(13-17). 국내에서도 운동-감각기능이나 언어기능에 대한 fMRI가 활발히 이루어지고 있다(9, 10, 11). 지금까지 운동기능의 fMRI연구는 대뇌피질에 국한되어 왔으나 근래에 소뇌의 활성화에 대한 연구가 많이 보고되고 있다(4, 18, 19).

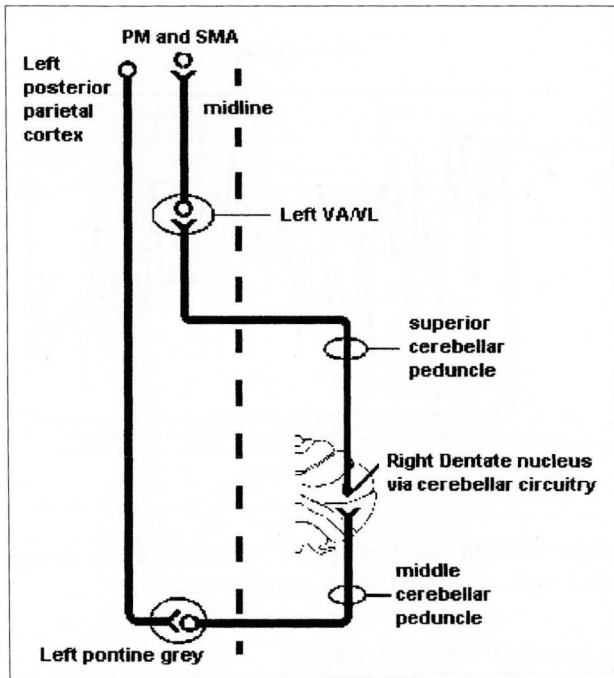
운동수행시 소뇌를 통한 전달경로는 척수와 뇌간의 상행운동로와 반대측 피질-뇌교-소뇌 섬유로를 상호연결하여 반대측 척핵과 시상의 복측핵을 거쳐 뇌피질과 연결된다(Fig. 5). 따라서 어느 한쪽의 운동을 수행하면 반대측 대뇌피질의 신호가 대뇌-뇌교-소뇌로(cerebro-pontocerebellar tract)를 통해 동측 소뇌피질에 전달되어 다시 반대측 피질로 연결되는 경로를 취하는 것이다. 이러한 해부학적 운동전달경로를 고려한다면 소뇌의 한쪽에 손상이 생기면 동측의 운동기능이 저하되나 실제로 임상적으로 소뇌의 병변은 운동기능의 저하가 심하지 않으며 대뇌 운동피질의 병변과 비교하여 회복이 훨씬 빠르고 어느정도 기간이 지나면 운동장애가 일측성으로 뚜렷이 나타나지

않는 경우가 있다(1, 2). 따라서 소뇌의 운동기능은 양쪽 소뇌 피질에 골고루 펼쳐져 있다는 것을 유추할 수 있다.

운동수행시 소뇌의 작용은 일측성인가 아니면 양측성인가? 이에 대해 본 연구의 결과를 논하기 전에 다른 연구자들의 몇 가지 연구방법과 상반된 결과에 대해 살펴 볼 필요가 있다.

수의운동을 관찰하는 소뇌의 역할에 대한 연구는 일반적으로 소뇌의 병변이나 직접적인 전기자극을 통해 이루어진다. 소뇌에 생긴 병변을 가지고 분석하는 것은 그 병변이 차지한 소뇌조직의 파괴와 다른 부위의 재구조화에 의해 완전한 결과라고 볼 수 없으며 자극에 의한 연구는 생리적인 활성화가 아니라는 점에서 내재적 한계를 가지고 있다(4). 따라서 이러한 고전적 접근으로는 소뇌의 작용에 대한 필요하고도 충분한 연구가 수행될 수 없다는 것은 자명하다. 뇌의 활성화 신호의 지도화에는 MRI와 PET가 가장 생리적이며 실제와 근접한 결과를 보여줄 수 있는 방법이다(4, 6, 20, 21).

Mattay등(19)은 EPI MR을 이용하여 우측 손가락 운동시



**Fig. 4.** Diagram of cerebro-ponto-cerebellar fiber of motor function. Pontine grey neurons relay the information of the posterior parietal cortex to the contralateral cerebellum via pontocerebellar fibers which are known as mossy fiber. The Purkinje cell message to the dentate and to VA/VL of thalamus is then relayed to the premotor and supplementary motor area. (adapted from ref. 26)

PM : Premotor area

SMA : Supplementary motor cortex

VA/VL : Ventral anterior and ventral lateral nuclei of the thalamus

우측 소뇌피질에서 활성화신호를 포착하여 운동수행시 동측 소뇌가 간여하는 것이라고 주장한 바가 있다. 이는 과거부터 알려져 있던 운동기능의 해부학적 경로와 일치하는 것이라고 볼 수 있다. 그러나 최근에는 이에 반대되는 연구도 적지 않다. De Zeeuw(5) 등은 쥐를 이용한 전기자극 실험에서 한쪽 상행운동 신경섬유를 자극하여 양쪽 Purkinje cell이 동시에 활성화 되는 것을 발견하였고 Beaubato등(8)은 훈련된 원숭이에서 목표를 가진 운동을 수행시켜 치상핵이 양측성으로 작용하는 것을 신경생리학적으로 증명하였다. 또한 PET를 이용한 운동과 지각에 대한 활성화 연구에서는 손가락을 움직일 때는 소뇌의 전엽 피질의 시상면을 따라 양측성으로 분명한 활성화 신호가 생기며, 빠른 안구 운동시에는 소뇌 중부(vermis) 뒤쪽에 혈류가 증가한다고 보고하였다(6, 22).

Grodd(23)는 양 쪽 발가락과 손가락을 움직일 때 소뇌 활성화에 대한 연구에서 소뇌피질에 양측성으로 활성화 신호를 포착했는데 좌우의 차이는 없었으며 발가락 보다는 손가락 운동에서 더 강한 신호를, 발가락 운동시에는 소뇌의 하부에서 손가락은 소뇌의 상부에서 활성화된 신호를 지도화 하는 데 성공하였다.

Ellerman(4) 등도 4T의 고자장 MR을 이용한 연구에서 운

동수행시 2.34~13.54%의 활성화신호가 소뇌의 양쪽 피질에서 발생함을 관찰한 바 있다. 특히 이 연구에서는 우측 보다는 좌측 손가락 운동시 양측성으로 소뇌의 활성화 신호가 더 강하게 나타났다고 하였으며, 부시상면을 따라 나타난 신호는 이끼신경섬유(mossy fiber)와 상행신경섬유(climbing fiber)를 따라 나타나는 활성화 신호이며, 소뇌이랑(folia)을 따라 내측에서 외측으로 나타난 신호는 Purkinje cell 회로와 평행하게 이끼신경섬유(mossy fiber)에서 과립신경세포(granule cell)로 진행되는 신경전달물질(neural substance) 때문일 것이라고 분석하였다. 이러한 소뇌의 양측성 기여는 동측의 대뇌로부터 전달되어 온 자극신호가 대뇌-뇌교-소뇌로(cerebro-ponto-cerebellar projection)를 통해 반대쪽 소뇌에 전달될 뿐 아니라 이 과정에서 치상핵에서 유발된 자극이 소뇌전체에 골고루 퍼져 나가는 소위 치상핵-원심반사(dentato-fugal reflex)때문이다(9, Fig 4). 한 쪽 심부소뇌 핵의 손상을 입은 경우는 양쪽 핵의 손상을 입은 경우에 비해 회복이 더 빠르고 완전한 데 이는 건강한 반대측 소뇌핵을 통한 운동기능 조절때문이라고 생각된다(3). 또한 양측 후하소뇌동맥 지배영역의 소뇌경색시에도 대뇌의 경색에 비하여 운동기능이 비교적 신속히 회복되는 것을 볼 때 운동기능에 있어서 소뇌의 양측성 기여를 추측해 볼 수 있다(24).

본 연구에서 좌측 운동피질과 보조운동피질에서의 활성화 신호(운동피질 : PCSI =  $3.12\% \pm 0.96$ , 보조운동피질 : PCSI =  $2.91\% \pm 0.82$ )를 찾을 수 있었으며(Fig. 2) 이는 손가락 운동의 paradigm이 제대로 수행되었음을 보여주는 증거이다. 소뇌에서는 상부 피질에서 내외측을 따라 의미있는 활성화 신호(우측 PCSI =  $3.09\% \pm 1.14$ , 좌측 PCSI =  $2.50\% \pm 0.69$ )를 포착하였으나 좌측 손가락 운동은 수행하지 않아서 좌-우 운동의 차이가 있는 지는 알 수가 없었다. 또한 관상면만을 촬영했기 때문에 부시상면을 따라 전후로 길게 나타나는 활성화 신호가 있는지 여부는 알 수가 없었다. 본 연구는 7명의 자원자를 대상으로 단 한차례 한 쪽 손가락 운동에 대해서만 fMRI를 수행하였기에 전술한 타 연구와 엄밀한 비교는 곤란하다. 이는 연구자들이 사용한 하드웨어와 소프트웨어가 가지고 있는 문제점 때문이라고 할 수 있다. fMRI를 연구하는 가장 좋은 방법은 많은 대상자들을 여러 번 실험을 수행하여 변수(interstudy and intrastudy variations)를 최소화하고, workstation을 갖추어 활성화와 영상을 리얼타임으로 MR기기에서 workstation으로 전송하고 workstation 전용의 소프트웨어를 사용하여 신속히 다양한 방법으로 분석하는 것이라고 할 수 있다(25). 그러나 연구자들은 workstation을 갖추지 못하여, 자원자들의 MR 데이터를 이더넷(Ethernet)으로 PC로 전송하여 정해진 P-value에 따라 잡음(noise)과 불필요한 움직임을 제거하고, 데이터들을 활성화와 휴지기로 구분하여 처리한 후 T1영상에 중첩시켜 영상을 획득하였다. 이렇게 얻어진 영상에서 마우스로 활성화 신호를 하나하나 선택하여 시간경과에 따른 신호강도변화를 측정하여 타당성을 검토하여 잡음(noise)과 불필요한 움직임의 제거가 불충분할 경우 많은 신호들을 하나씩 모두 측정했다. 마우

스로 관심영역을 그리는 과정에서 신호를 벗어나면 신호강도의 변화가 타당성이 없는 것으로 나타나는 경우가 있어 분석에 많은 시간과 노력이 소요되었다.

오른 손 뿐만 아니라 왼손의 손가락 운동도 시행하였더라면 양측 소뇌피질의 활성화 정도의 차이를 밝힐 수 있었을 것이며 또한 소뇌 병변을 가진 증례를 대상으로 하여 연구 결과를 보완하는 것은 본 연구자들이 해야 할 시급한 과제로 생각된다. 또한 운동수행시 소뇌와 보조운동 피질, 그리고 운동피질을 동시에 포함하는 기울어진 관상면 기증적 자기공명영상을 촬영하여 보조운동피질, 대뇌 운동피질, 그리고 소뇌피질의 순서로 활성화 신호가 나타나는 것을 입증할 수 있다면 운동에 관여하는 경로의 순차적 신호전달에 대한 해부학적 지식을 확증할 수 있을 것이다.

결론적으로 본 연구자들은 EPI를 이용한 fMRI로 일측의 복합수지운동을 시행하여 좌우측 소뇌피질에서 의미있는 신호강도의 상승을 관찰하였다. 이것은 소뇌가 운동수행에 있어서 양측성으로 관여하며 일측 사지운동 시 소뇌가 양측성으로 활성화된다는 실험적, 임상적 소견을 뒷받침하는 증거라고 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- Diener HC, Dichgans J. Pathophysiology of cerebellar ataxia. *Mov Disord* 1992;7:95-109
- Heimburger RF. The role of the cerebellar nuclei in spasticity. *Confin Neurol* 1970;32:105-113
- Amrani K, Dykes RW, Lamarre Y. Bilateral contributions to motor recovery in the monkey following lesions of the deep cerebellar nuclei. *Brain Res* 1996;740:275-284
- Ellerman JM, Flament D., Kim SG, et al. Spatial patterns of functional activation of the cerebellum investigated using high field (4T) MRI. *NMR in Biomed* 1994;7:63-68
- De Zeeuw CL, Lang EJ, Sugihara I, et al. Morphological correlates of bilateral synchrony in the rat cerebellar cortex. *J Neurosci* 1996;15:3412-3426
- Fox PT, Raichle ME, Thach WT. Functional mapping of the human cerebellum with positron emission tomography. *Proc Natl Acad Sci USA* 1985;82:7462-7466
- Robertson LT, Grimm RJ. Responses of primate dentate neurons to different trajectories of the limb. *Exp Brain Res* 1975;23:447-462
- Beaubato D, Trouche E. Participation of the cerebellar dentate nucleus in the control of a goal-directed movement in monkeys. Effects of reversible or permanent dentate lesions on the duration and accuracy of a pointing response. *Brain Res* 1975;23:447-462
- Evarts EV. Pyramidal tract neuron activity associated with a conditioned hand movement in the monkey. *J Neurophysiol* 1968;29:1011-1027
- Kim JH, Shin T, Kim JS, Chung SH. MR imaging of cerebral activation performed with a gradient echo technique at 1.5T: source of activation signals. *AJR* 1996;167:1277-1281
- Lee HK, Kim JS, Hwang YM, et al. Location of primary motor cortex function in cerebral migration disorders. *대한방사선의학회지* 1998;38:769-773
- 김재형, 신태민, 김재수 등. 1.5-Tesla 자기공명영상장치를 이용한 사람 대뇌피질 활성화의 기능적 영상에 관한 연구. *대한방사선의학회지* 1996;35:633-643
- Rao SM, Binder JR, Badettini, et al. Functional magnetic resonance imaging of complex human movements. *Neurology* 1993;43:2311-2318
- Rao SM, Binder JR, Hammeke TI, et al. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. *Neurology* 1995;45:919-924
- Tyszka JM, Grafton ST, Chew W, Wood RP, Colletti PM. Parceling of mesial frontal motor areas during ideation and movement using functional magnetic resonance imaging at 1.5 tesla. *Ann Neurol* 1994;35:746-749
- Jack CR, Thomson RM, Butts RK, et al. Sensory motor cortex: correlation of presurgical mapping with functional MR imaging and invasive cortical mapping. *Radiology* 1994;190:83-92
- Duyn JH, Moonen CTW, van Yperen GH, de Boer RW, Luyten PR. Inflow versus deoxyhemoglobin effects in BOLD functional MRI using gradient echoes at 1.5 T. *NMR in Biomed* 1994;7:83-88
- Desmond JE, Gabrieli JD, Ginier BL, Glover GH. Lobular patterns of cerebellar activation in verbal working-memory and finger-tapping tasks as revealed by functional MRI. *J Neurosci* 1997;17:9675-9685
- Mattay VS, Frank JA, Santha AKS, et al. Whole-brain functional mapping with isotropic MR imaging. *Radiology* 1996;201:399-404
- Srenson EJ, Wijdicks EF, Thielen KR, Cheng TM. Acute bilateral infarcts of the posterior inferior cerebellar artery. *J Neuroimaging* 1997;7:2509-251
- Decety J, Sjolholm H, Ryding E, Stenberg G, Ingvar DH. The cerebellum participates in mental activity: tomographic measurements of regional cerebral blood flow. *Brain Res* 1990;535:313-317
- Petit L, Orssaud C, Tzourio N, et al. PET study of voluntary saccadic eye movements in humans: basal ganglia-thalamocortical system and cingulate cortex involvement *J Neurophysiol* 1993;60:1009-1017
- Grodd W. *Cerebral and cerebellar cortical activation during hand, foot and finger movement using EPI fMRI*. Department of Neuro-radiology Tuebingen University Medical Center. Personal communication. 1996
- Parenti R, Cicirata F, Panto MR, Serapide MF. The projections of the lateral reticular nucleus to the deep cerebellar nuclei. An experimental analysis in the rat. *Eur J Neurosci* 1996;8:2157-2167
- Thomson RM, Jack Jr. CR, Butts RK, et al. Imaging of cerebral activation at 1.5T: optimizing a technique for conventional hardware. *Radiology* 1994;190:873-877
- Functional examples of cerebellar pathways. Global anatomy home page (<http://www.anatomy.wisc.edu/cere/text/P6/lat.htm>). Department of Anatomy, University of Wisconsin.

## Bilateral Contributions of the Cerebellum to the Complex Motor Tasks on EPI fMRI<sup>1</sup>

Eun Chul Chung, M.D., Eun-Kyung Youn, M.D., Young Rae Lee, M.D.,  
Yoo-Kyung Kim, M.D.<sup>2</sup>, Kee-Duk Park, M.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Kangbuk Samsung Hospital, Sung Kyun Kwan University, College of Medicine

<sup>2</sup>Department of Radiology, Ewha Womans University, College of Medicine

<sup>3</sup>Department of Neurology, Ewha Womans University, College of Medicine

**Purpose:** To demonstrate activation signals within the cerebellar cortex and to determine the side of the cerebellar cortex eliciting activation signals in response to complex motor tasks, as seen on EPI fMRI

**Materials and Methods:** Seven right-handed subjects (M:F=3:4; mean age, 30.3 years) underwent repetitive finger apposition with the dominant right hand. Using a 1.5 T MRI scanner, EPI fMR images were obtained. MR parameters used for EPI fMRI were TR/TE/Flip angle: 0.96 msec/64 msec/90°, FOV 22 cm, 128 × 128 matrix, 10 slices, 10 mm thickness while those for SE T1 weighted localized images were TR/TE: 450/16, FOV 23 cm, 256 × 256 matrix. The paradigm was three sets of alternate resting and moving fingers for six cycles, resulting in times of 360 seconds (10 slices × 15 EPI × 6 cycles = 900 images). Image processing involved the use of a 200MHz Dual Pentium PC with homemade software. T-testing ( $p < 0.005 \sim p < 0.0005$ ) and time series analysis were performed, and to verify the locations of activated regions, resulting images were analyzed in a color-coded overlay to reference T1-weighted spin echo coronal images. percentage change in signal intensity (PCSI) was calculated from the processed data.

**Results:** All normal subjects showed significant activation signals in both the contralateral (left) primary motor cortex (PCSI =  $3.12\% \pm 0.96$ ) and ipsilateral (right) cerebellar cortex (PCSI =  $3.09\% \pm 1.14$ ). Signal activation was detected in the contralateral supplemental motor area ( $2.91\% \pm 0.82$ ), and motor activation in the anterior upper half of the contralateral cerebellum (PCSI =  $2.50\% \pm 0.69$ ). The difference in activation signals between both sides of the cerebellar cortex was not statistically significant. All data were matched with time-series analysis.

**Conclusion:** Bilateral cerebellar activation is associated with unilateral complex finger movements, as seen on fMRI. This result may support the recent neurological observation that the cerebellum may exert bilateral effects on motor performance.

**Index words:** Brain, MR  
Brain, function

Address reprint requests to: Eun Chul Chung, M.D., Department of Radiology, Kangbuk Samsung Hospital, Sung Kyun Kwan University, College of Medicine, # 108 Pyung-Dong, Chongno-Ku, 110-102 Seoul, Korea  
Tel. 82-2-739-3211, Fax. 82-2-732-2254