

시각과 운동의 뇌기능 영상 : 자극에 따른 총활성화의 차이

정순철¹ · 송인찬² · 장기현³ · 유병기³ · 문치웅⁴ · 조장희⁵

목적 : 뇌기능 영상을 이용하여 자극에 따른 시각영역, 운동영역 및 소뇌에서의 총활성화의 차이를 연구하고자 하였다.

대상 및 방법 : 건강한 5명의 피실험자를 대상으로 EPI 기법을 이용하여 시각자극과 운동자극에 의한 피질활성화 검사를 시행하였다. 시각피질 활성화를 위해서는 LED 자극과 Checker-Board 자극을 각각 행하였고, 운동피질과 소뇌의 활성화를 위해서는 엄지손가락 운동과 네 손가락을 엄지 손가락과 순서대로 마주치게 하는 운동을 시행하였다. 각각의 자극은 60초의 휴식기, 120초의 자극기 및 운동기, 다시 60초의 휴식기로서 시행하였다. 데이터 처리는 cross-correlation 방법으로 통계처리 하였고, 적절한 문턱 값 이상을 가지는 화소를 활성화 화소로 정의하였다. 이 활성화 화소의 수와 신호변화율의 곱으로서 총활성화의 시간축 데이터를 완성하였다.

결과 : 시각피질에서의 총활성화는 Checker-Board 자극에 비해 LED 자극을 가했을 때 100% 이상 증가하였다. 엄지 손가락 운동에 비해 손가락 마주치기 운동을 시행했을 때 총활성화는 운동피질에서 100% 이상 증가하였고, 소뇌에서는 150% 이상 증가하였다.

결론 : 시각 및 운동자극의 변화에 따라 시각영역, 운동영역 및 소뇌에서의 총활성화가 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

서 론

Blood Oxygen Level Dependent (BOLD) 기법을 이용해서 Ogawa가 뇌에서의 생리적 변화를 측정할 이래 현재 뇌기능 영상에 대한 연구가 활발히 진행 중이다(1-12). 또한 시각, 청각, 운동 등의 기본적인 뇌기능 영상뿐만 아니라 언어 관련 기능, 기억 관련 기능 등에 대해서도 현재 활발한 연구가 진행 중이다(13-15). 시각피질과 운동피질의 연구는 자극강도가 크기 때문에 뇌기능 연구에 이용하기가 비교적 용이하다. 이에 저자들은 시각자극 시 시각피질에서 자극변화에 따른 총활성화의 관계를 규명하고자 하였다(1-5). 운동자극에 따라 일차운동 중추와 부운동 중추의 활성화에 대해서도 MRI로 알려진 바가 있으므로

(16,17). 이들 부위에서 역시 자극변화에 따른 총활성화의 차이를 규명하고자 하였다. 또한 소뇌는 그 자체가 근 활동을 주재하는 것은 아니지만 그 진행 과정을 통하여 운동에 관여하는 모든 근육의 긴장도 분포와 특히 그 시간 경과를 미리 정밀하게 조절함으로써 근 활동에 과부족이 없게 한다(18). 그러므로 대뇌피질의 운동영역에서 내려오는 수의 운동과 관련된 정보들이 소뇌에서 처리되고, 이러한 소뇌의 활성화에 대해서도 fMRI로 알려진 바가 있으므로(19,20). 이 부위에서 역시 자극변화에 따른 총활성화의 차이를 규명하고자 하였다.

대상 및 방법

정상적인 시력과 우측 손을 쓰는 자원자 5명(남자 2명, 여자 3

대한자기공명영상학회지 3:41-46(1999)

¹한국과학기술원 전기및전자공학과

²서울대학교 의학연구원 방사선의학연구소

³서울대학교 의과대학 방사선과학교실

⁴삼성 종합기술원 의료기기 연구팀

⁵캘리포니아 어바인대학 방사선과학과

접수 : 1998년 9월 18일, 채택 : 99년 1월 15일

통신저자 : 정순철 서울시 동대문구 청량리동 207-43

Tel. 82-2-958-3352 Fax. 82-2-965-4394

명, 연령 21-27세)을 대상으로 시각 및 운동의 뇌기능 영상을 획득하였다. MR 영상기기는 1.5T(Signa Horizon Echo Speed, GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin)이고 표준 두부코일을 사용하였다. 움직임 및 소음에 의한 영향을 감소시키기 위해 자원자의 머리는 벨트로 묶고, 귀마개를 사용하였다. 먼저 15개의 해부학적 횡단면 영상을 얻은 후 이 영상면과 일치하는 영상을 EPI 기법으로 얻어 뇌기능 영상을 획득하였다. EPI 기법의 실험 변수는 $TR/TE/\alpha = 3\text{sec}/60\text{msec}/90^\circ$, $FOV = 240\text{mm}$, 절편두께는 5mm(절편 개수는 15), 매트릭스 크기는 128×128 또는 64×64 로 정하였다. 시각자극은 적색 LED와 흑,백 바둑판 무늬의 Checker-Board를 사용하였다. LED 시각 자극기는 4개의 적색 LED를 양쪽에 박고 잠망경 형

식으로 실험대상자가 거울을 통해 직접 불빛을 볼 수 있도록 하였다. 실험대상자의 눈과 LED 불빛까지의 거리는 약 20cm 이었다. Checker-Board 자극은 PC에서 먼저 흑, 백의 바둑판 무늬의 영상을 만들고 이를 투영기와 두부코일 내부의 거울을 통해 실험대상자의 눈에 시각자극을 가하였다. LED와 Checker-Board 자극은 모두 깜빡 거림을 8Hz로 두었다.

운동자극은 먼저 엄지손가락만 1초에 1번씩 아래위로 구부리게 하는 엄지 손가락 운동을 행하였다 두 번째로, 엄지손가락이 인지에서 약지까지 순서대로 초당 1회 정도로 맞추게 하는 손가락 마주치기 운동을 행하였다. 엄지 손가락 및 손가락 마주치기 운동 모두 양측 손을 운동하도록 하였다. 시각자극, 운동자극 모두 60초의 휴식기와 120초의 자극 및 운동기, 다시 60초의 휴식

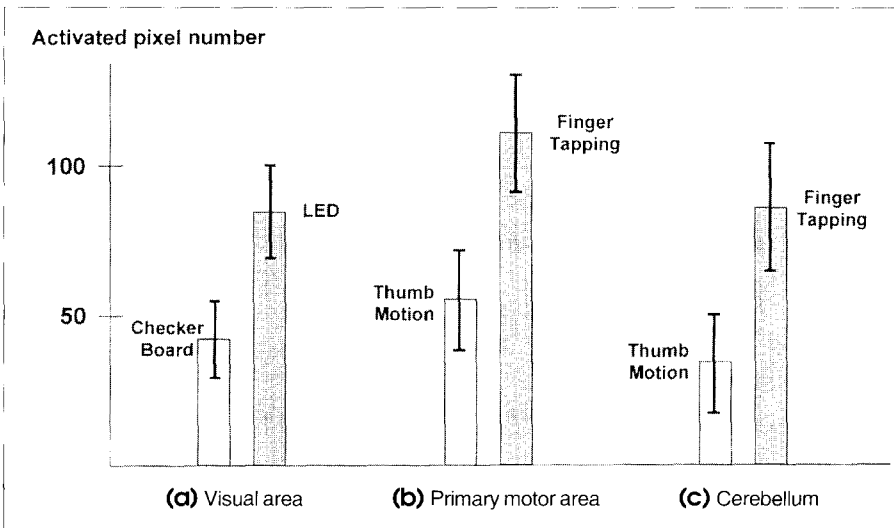


Fig. 1 (a) The differences of activated pixel number resulting from Checker-Board and LED stimulation at visual area. (b) The differences of activated pixel number resulting from Thumb motion and Finger tapping stimulation at primary motor area. (c) The differences of activated pixel number resulting from Thumb motion and Finger tapping stimulation at cerebellum.

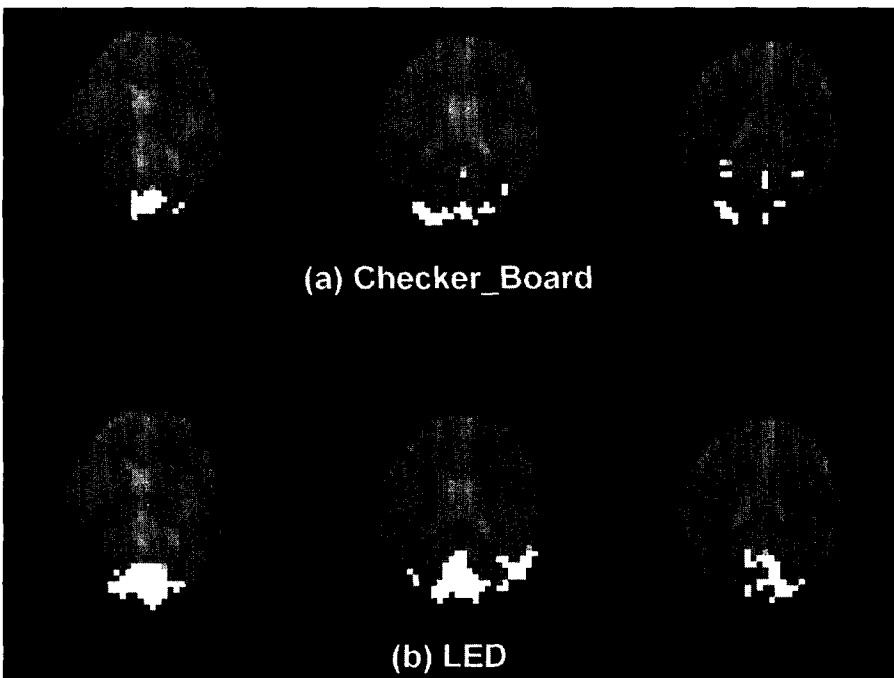


Fig. 2. The activation maps of the visual cortex resulting from Checker-Board (a) and LED (b) stimulation, respectively.

기를 두어 절편당 80개의 영상을 얻었다. 자료처리는 통계적인 방법이 cross-correlation을 이용하였다(21). 문턱값은 0.4로 두고, 이 이상의 값을 가지는 화소들만 의미 있는 신호로서 선택하였다. 이렇게 얻어진 화소의 수와 모든 화소의 평균 신호변화율의 곱으로서 총활성화를 구하였다. 즉, 총활성화 = 활성화된 화소의 개수 × 화소의 평균 신호변화율

결 과

Fig. 1은 시각자극과 운동자극에 의한 시각피질, 운동피질, 소뇌에서의 활성화된 화소의 개수를 나타낸다. 개인마다 차이는 있었지만 대상 인원 모두가 자극 강도가 클수록 활성화된 화소의 개수가 증가하는 경향을 보였다.

시각자극

대상인원 모두에서 LED자극과 Checker-Board 자극 사이에 총활성화의 큰 차이를 보였다(Fig. 1, 2, and 3). 5명의 대상 인원 중 한명에 대한 활성화 지도와 총활성화 시간축 데이터를 Fig. 2와 3에 나타내었다. LED자극과 Checker-Board 자극시에 화소들의 평균 신호율의 변화는 약 3-4%로 차이가 없었지만 활성화된 화소의 개수는 LED 자극시 2배정도 증가하였다. 그러므로 Fig. 3에서와 같이 총활성화는 LED 자극이 가해졌을 때 2배 증가 하였다.

LED는 직접 눈에 투사하는 방식을 사용 했지만, Checker-Board 자극은 간접적으로(PC에서 먼저 흑, 백의 바둑판 무늬의 영상을 만들고 이를 투영기와 두부코일 내부의 거울을 통해 실험대상자의 눈에 비춰 줌) 자극을 가했기 때문에 빛의 자극 강도 차이가 주요 변수로 작용 했다고 생각된다. 그러나 LED와

Checker-Board 자극의 차이는 눈이 느끼는 광원의 밝기 차이 뿐만 아니라, 자극 형태의 차이, 자극된 빛의 색깔의 차이 등이 있을 것이며 이들의 정량적인 상관 관계 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

운동자극

엄지 손가락 운동과 손가락 마주치기 운동을 했을 때 일차운동

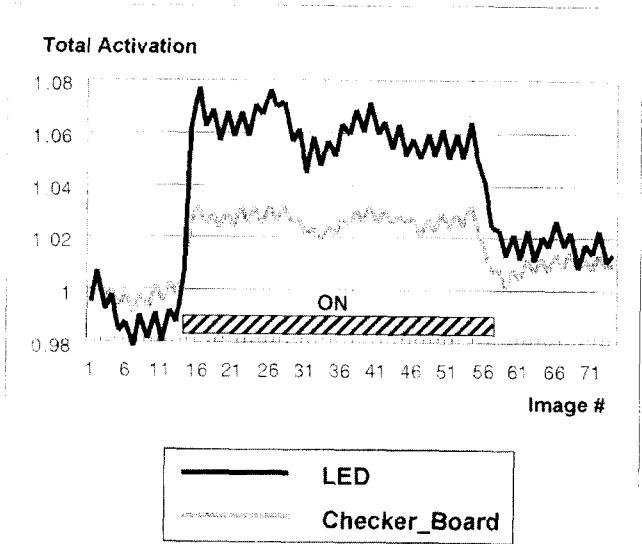


Fig. 3. Total activation-time course data of visual stimulation, which corresponds to Fig. 2. This time course data clearly demonstrate the influence of visual stimulation paradigm on visual cortex.

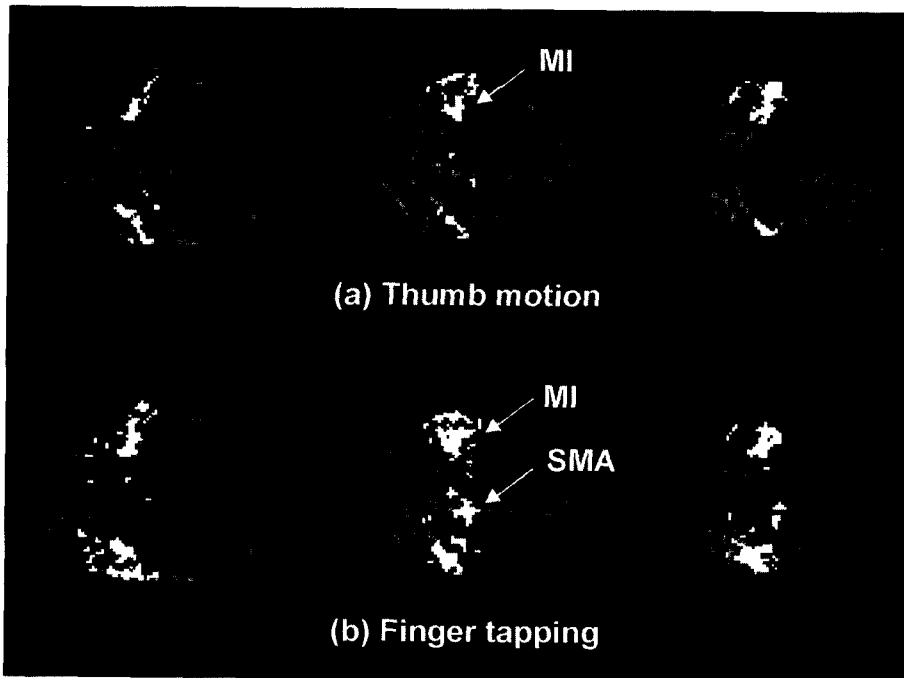


Fig. 4. The activation maps of the motor cortices (MI and SMA) resulting from Thumb motion (a) and Finger tapping (b) stimulation, respectively. MI: Primary motor cortex, SMA: Supplementary motor cortex.

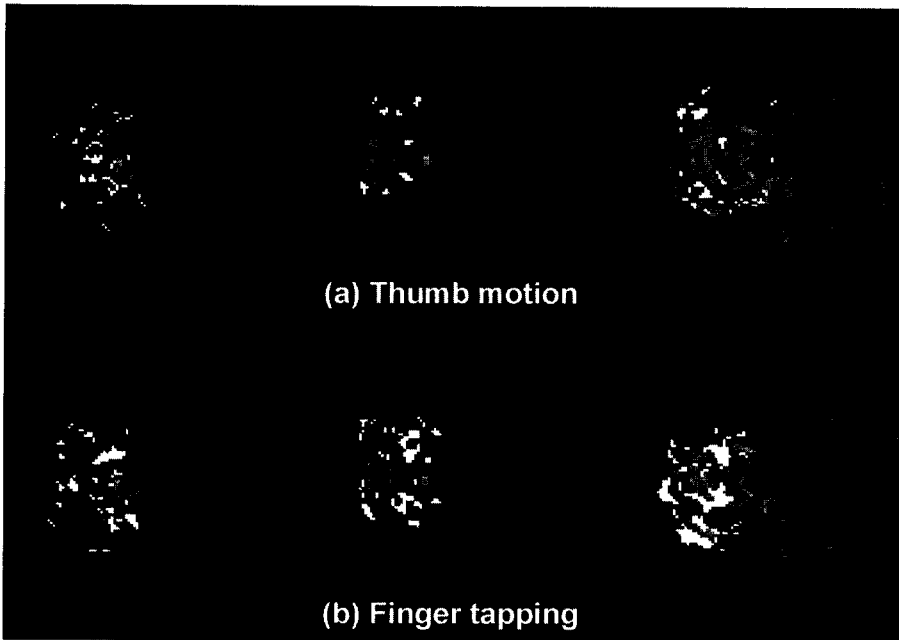


Fig. 5. The activation maps of the cerebellum resulting from Thumb motion (a) and Finger tapping (b) stimulation, respectively.

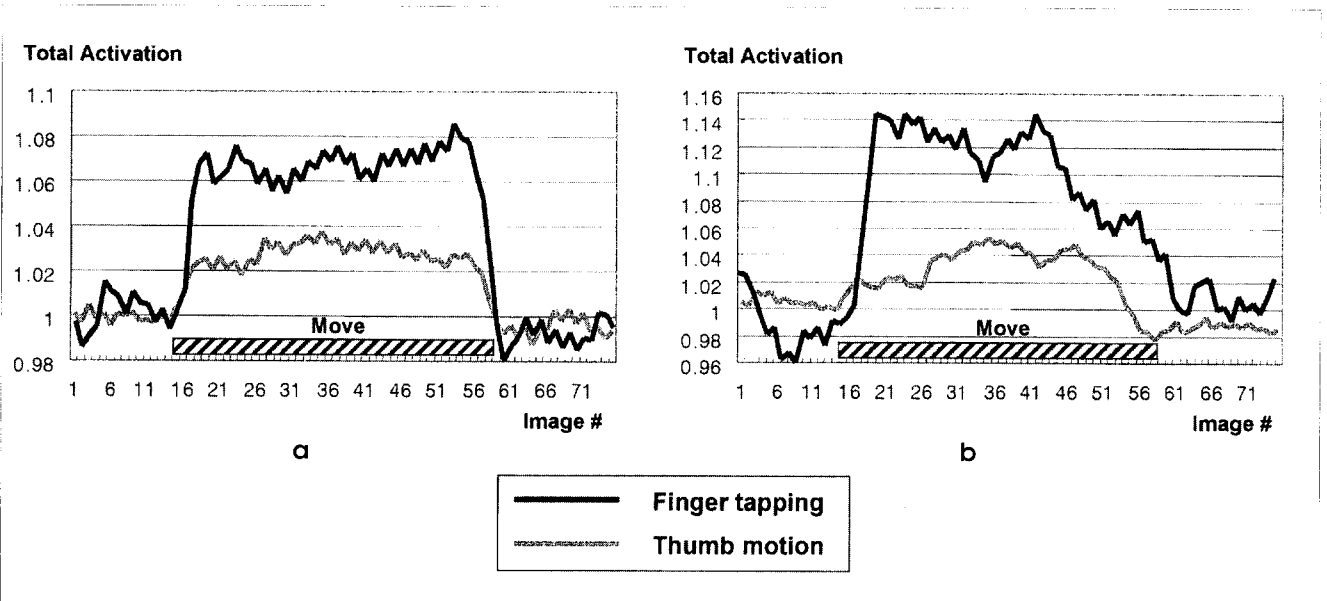


Fig. 6. Total activation-time course data of two motor stimuli, which correspond to Fig. 4 and 5. (a) Total activation-time course data of motor cortex by two different motor stimuli. (b) Total activation-time course data of cerebellum by two different motor stimuli.

중추, 부운동 중추, 및 소뇌에서 총활성화의 큰 차이를 보였다 (Fig. 1, 4, 5, and 6). Fig. 4와 Fig. 6의(a)에 보이듯이 일차 운동 중추에서는 손가락 마주치기 운동을 했을 때 엄지 손가락 운동에 비해 2배정도 총활성화가 증가하였다. 부운동 중추는 손가락 마주치기 운동을 행하였을 때는 활성화 되었지만 엄지 손가락 운동 만으로는 반응이 나타나지 않았다.(Fig. 4).

소뇌에서는 손가락 마주치기 운동을 했을 때, 엄지 손가락 운동에 비해 약 2.5배 정도의 총활성화가 증가하였다(Fig. 5 and

6(b)). 역시 두 운동의 평균 신호율의 변화는 약 3-4%로 차이가 없었지만 활성화된 화소의 개수가 큰 차이를 보였다.

고 찰

뇌는 부위별로 고유한 기능을 지니고 있으며 어떠한 기능을 수행하기 위하여 특정부위의 뇌 신경 활동이 일어나면 이와 함께 그 부위의 국소적 뇌 혈류 및 대사가 증가 한다. MR 영상은 이

용한 뇌의 기능적 영상 원리는 생리적으로 크게 BOLD 효과와 inflow 효과로 나눌 수 있다. BOLD 효과는 뇌 혈류 증가에 따른 산소 유입량의 증가는 활성화된 뇌조직이 실제로 필요로 하는 산소량을 증가하기 때문에 소모되지 않은 산소가 정맥으로 흘러나가서 Oxyhemoglobin 농도를 증가 시키고 상대적으로 Deoxyhemoglobin의 농도는 감소시킨다는 이론이다. 인체내의 혈액은 그 상태에 따라 서로 다른 자화율을 갖고 있고, 산소와 결합한 Oxyhemoglobin은 반자성 성질을, 산소를 잃은 Deoxyhemoglobin은 상자성 성질을 가지며, Deoxyhemoglobin은 상자성 물질이므로 이의 감소는 곧 자화율 효과(BOLD effect or susceptibility effect)를 감소시켜 신호의 증가를 가져온다. Inflow 효과는 활성화에 따른 국소적인 뇌 혈류의 증가에 따라 영상단면 내로 유입되는 불포화 양자(unsaturated proton)의 양도 함께 증가되며 이로 인하여 신호가 증가된다는 이론이다. 즉, 뇌 혈류의 증가와 함께 혈류가 느린 정맥계의 혈류 속도도 함께 증가하여 결국 영상단면으로 유입되는 정맥 내 불포화 양자의 양이 증가한다는 데에 근거를 두고있다. 이러한 BOLD 및 Inflow 효과는 사용하는 영상장치의 자장의 강도 및 영상기법의 종류에 따라 신호에 미치는 상대적 영향이 달라진다(7,8). 이러한 원리를 이용하여 시각피질과 운동 피질에서의 활성화에 대해서는 잘 알려져 있다.

저자는 시각 및 운동자극의 변화에 따른 총활성화의 차이에 대해 연구하였다. LED자극기와 Checker-Board 자극기를 단순히 비교한다는 것은 무리가 따르지만 Checker-Board 자극보다 LED자극이 시각영역의 활성화를 증대 시킨다는 것을 알 수 있었다. 즉, 단순히 시각피질의 활성화를 관찰하고자 할 때는 LED자극이 좀 더 유용함을 알 수 있었다. 그러나, Checker-Board 자극은 단순시각 활성화의 관찰뿐만 아니라, 자극형태를 여러 가지로 변화 시킬 수 있는 가능성이 많기 때문에 다양한 실험을 시행할 수 있고, 또한 정밀한 시각인식의 과정을 관찰하는데 유용할 것이다. 그러므로 두 자극기의 차이에 대한 정량적인 상관 관계 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

운동자극시의 일차운동 중추, 부운동 중추 및 소뇌에서의 활성화에 대해서도 연구가 많이 되어있다. 저자들의 결과에서 알 수 있듯이 복잡한 운동일수록 일차운동 중추 및 소뇌에서의 활성화가 증대됨을 관찰할 수 있었다. 또한 단순한 운동일 경우 부운동 중추에서의 반응은 거의 관찰할 수 없었다.

결론적으로, 시각영역, 운동영역 및 소뇌에 대한 뇌기능 영상을 얻을 때 자극원의 크기가 클수록 활성화 정도도 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Ogawa S, Tank DW, Menon R, et al. Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging. Proc Natl Acad Sci USA 1992;89: 5951-5955
2. Kwong KK, Belliveau JW, Chesler DA, et al. Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary

3. Blamire AM, Ogawa S, Ugurbil K, et al. Dynamic mapping of the human visual cortex by high-speed magnetic resonance imaging. Proc Natl Acad Sci USA 1992;89:11069-11073
4. Kim SG, Ashe J, Hendrich K, et al. Functional magnetic resonance imaging of motor cortex: Hemispheric asymmetry and handedness. Science 1993;261:615-617
5. Turner R, Jezzard P, Wen H, et al. Functional mapping of the human visual cortex at 4 and 1.5 Tesla using deoxygenation contrast EPI. Magn Reson Med 1993;29: 277-279
6. Cho ZH, Ro YM, Lim TH. NMR venography using the susceptibility effect produced by deoxyhemoglobin. Magn Reson Med 1992;28:25-38
7. Cho ZH, Ro YM, Chung SC. Susceptibility Effect - Enhanced Functional MR Imaging Using Tailored RF Gradient Echo(TR-FGE) Sequence. Int. J. of Imaging Systems and Technology 1995;6:164-170
8. Cho ZH, Chung SC, Shin SW, Moon CH. Quantitative Analysis Susceptibility Effects in TRFGE and CGE Sequences for fMRI. Proc., International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 4th Scientific Meeting, New York, 1996;1830
9. Cho ZH, Chung SC, Lim DW, Wong EK. Effects of the Acoustic Noise of the Gradient Systems on fMRI: a study on Auditory, Motor and Visual Cortices. Mag. Res. Med 1998;39:331-336
10. Cho ZH, Chung SC, Wong EK. Effects of the acoustic noise of MR gradient systems on motor and visual cortices. Proc., International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 6th Scientific Meeting, Sidney, 1998;513
11. Hinke RM, Hu X, Stillman AE, et al. Functional magnetic resonance imaging of Broca's area during internal speech. Neuroreport 1993;4:675-678
12. Buonocore MH, Wessinger CM, Kussmaul CL, Mangun GR, Jones A and Gazzaniga MS. fMRI of auditory cortex using pulsed tones. Proc., International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 4th Scientific Meeting, New York, 1996;1840
13. Yetkin O, Yetkin FZ, Haughton VM, Cox RW. Use of functional MR to map language in multilingual volunteers. Am J Neuroradiol 1996;17:473-477
14. Toshinori K, Peter E, Yoshihiro T, et al. Cerebral Multiphasic Sustained Responses(CMSR) in memory processing: Detection of Hippocampal long-term sustained response using fMRI at 4 Tesla. Proc., International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 5th Scientific Meeting. Vancouver, 1997;12
15. Richter W, Georgopoulos AP, Ugurbil K, Kim SG. Detection of brain activity during mental rotation in a single trial by FMRI. Proc., International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 5th Scientific Meeting. Vancouver, 1997;357
16. Kim SG, Ashe J, Hendrich K, et al. Functional magnetic resonance imaging of motor cortex: hemispheric asymmetry and handedness. Science 1993;261:615-617
17. Yetkin FZ, Papke A, Mark LP, et al. Location of the sensorimotor cortex: functional and conventional MR compared. Am J Neuroradiol 1995;16:2109-2113
18. 김기환, 성호경. 생리학. 제6판. 의학문화사 1997;481-498

19. Kim SG, Ugurbil K, Strick PL. Activation of a cerebellar output nucleus during cognitive processing. *Science* 1994;265:949-951
20. Mattay VS, Frank JA, Santha AKS, et al. Whole-brain functional mapping with isotropic MR imaging. *Radiology* 1996;201:399-404
21. Bandettini P, Jesmanowicz A, Wong EC, Hyde JS. Processing strategies for time-course data sets in functional MRI of the human brain. *Magn Reson Med* 1993;30:161-173

J. Korean Soc. Magn. Reson. Med. 3:41-46(1999)

fMRI of Visual and Motor Stimuli : Difference of Total Activation Depends on Stimulation Paradigm

S.C. Chung¹, I.C. Song², K.H. Chang³, B.K. Yu³, C.W. Mun⁴, Z.H. Cho⁵

¹Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

²Institute of Radiation Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea

³Dept. of Diagnostic Radiology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

⁴Medical Electronics Team, Samsung Advanced Institute of Technology

⁵Dept. of Radiological Sciences, University of California, Irvine, California

Purpose : To investigate the difference of total activation in visual area, motor area, and cerebellum according to the stimulation paradigm.

Materials and Methods : Functional MR imaging was performed in 5 healthy volunteers with visual and motor activity using EPI technique. LED and Checker-Board stimulation were performed for visual activity. Thumb motion and Finger tapping were performed for motor and cerebellum activity. Stimulus timing was 60sec. off, 120sec. on, 60sec. off. Data processing was carried out by using the cross-correlation method for each pixel. Each pixel was then selected and assumed activated if the correlation coefficient was equal or larger than a threshold value. Time course data was obtained by calculating the total activation which was defined as the number of activated pixels x averaged pixel intensity.

Results : In the case of visual activity with LED stimulation, we found increased total activity of more than 100% compared with Checker-Board stimulation. In the case of motor area and cerebellum with Finger tapping stimulation, we found increased total activity of more than 100% and 150%, respectively compared with Thumb motion stimulation.

Conclusion : We found the difference of total activation in visual area, motor area and cerebellum according to the stimulation paradigm.

Index words : Brain, function; Brain, MR; stimulation paradigm

Address reprint requests to : Soon Cheol Chung, Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Seoul, Korea. #207-43 Cheongryangni, Dongdaemun, Dept. of Electrical Engineering, KAIST, Seoul, Korea. Tel. 82-02-958-3352 Fax. 82-02-965-4394