

## 뇌기능영상을 이용한 감성지수 측정 가능성에 관한 연구

정순철, 민병찬, 김철중, 김상균  
한국표준과학연구원 인간공학연구실

### Studies on Possibility of Emotional State's Measurement using functional Magnetic Resonance Imaging

S.C. Chung, B.C. Min, C.J. Kim, S.G. Kim  
Ergonomics Lab., Korea Research Institute of Standards and Science

#### 요 약

외부의 자극에 따른 인간 감성 변화의 실체를 파악하고자 심리학, 생리학, 의공학 등의 분야에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 본 논문은 fMRI의 기본 원리와 지금까지 저자들의 fMRI 연구 내용을 중심으로 감성 변화의 측정에 이용 또는 응용 가능성이 있는 실험 결과들에 대해서 서술 하고자 한다. 먼저 자극강도에 따른 해당피질에서의 활성화 영역의 분석을 통해 외부 자극과 반응 영역간의 정량적인 측정이 가능하다는 것을 보였다. 둘째로 시간축 신호의 해석을 통해 감성 변화의 추이를 관찰 할 수 있다는 것을 보였다. 마지막으로 간섭요인(소음)이 뇌기능에 미치는 영향에 대한 분석을 통해 감성의 변화가 임의의 뇌기능 수행에 미치는 영향을 유추해 보았다.

#### 서 론

감성의 변화는 인간의 자율신경계, 내분비계, 그리고 근골격계의 변화를 가져오고 이는 생리적 변화를 수반하게 된다 (1). 지금까지 이러한 생리적 변화를 EEG, ECG, EMG, GSR 등의 생리 신호들로 측정하여 인간 감성을 평가 하고자 하는 연구들이 진행되고 있지만 현재까지 객관적인 연구 결과를 내지 못하고 있다. 이에 본 저자는 현재 뇌기능 연구에서 핵심적으로 사용되는 functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) 기법을 이용하여 생리 변화를 직접 제어하는 뇌에서 생리 변화 신호를 측정하고 이를 통해 감성 평가의 가능성에 대해 연구해 보고자 한다.

현재 MRI를 이용한 뇌기능 영상법

(functional Magnetic Resonance Imaging)은 인간의 오감인 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각을 담당하는 각 대뇌피질의 지도화(mapping)를 가능하게 하고 있다 (2-6). 또한 각 자극량에 따른 활성화 정도를 정량적으로 측정 할 수 있고 (7), 시간축 데이터 분석으로 자극 시점과 반응 시점간의 관계도 규명 중에 있다 (8). MRI를 이용한 뇌 연구의 핵심은 인지 기능(cognitive function)의 기초적인 연구에 있으며 가장 기초적인 감각인 오감에 의한 기초 동작의 반응뿐만 아니라 언어 관련 기능, 기억 관련 기능 등에 대해서도 현재 활발한 연구가 진행중이다. 근래에는 대뇌 피질에서의 반응뿐만 아니라 기본적인 생리 활동인 호흡, 심장박동, 혈압 등을 관장하는 Brain Stem (뇌간) 영역, 대뇌 피질과 피질 하부 중추간의 연락 기관인 Thalamus (시상) 영역, 체온 및 감정을 제어하는 hypothalamus (시상하부) 영역, 감정과 그에 관련 행동을 제어하는 Hippocampus (해마)와 Amygdala (편도체) 영역을 포함하는 Limbic system (변연계) 영역에서도 자극에 따른 활성화의 측정이 가능하게 되었다 (9-11). 또한 fMRI를 이용한 기본적인 감성 측정이라고 할 수 있는 쾌, 불쾌한 후각 자극에 따른 관련 대뇌 영역에서의 활성화 차이에 대해서도 현재 연구가 진행중이다 (9). 그러므로 fMRI 기법을 이용한다면 감성과 직,간접적으로 관련이 있는 시상하부, 변연계, 뇌간 및 대뇌피질에서 직접적인 외부자극에 따른 활성화를 관찰 할 수 있고 이를 감성측정의 지표로 사용 할 수 있을 것이다. 그러나 현재 fMRI기법은 아직까지 많은 제약을 가지고

있다. 공간, 시간 분해능의 한계 (1mm, 100msec), 영상을 받을 때 발생하는 소음문제 (100db이상), 밀폐된 공간에서 피실험자가 항상 누워 있어야 하는 제약 등이다 (6,12). 그러나 현재 고 자장을 이용하여 시간, 공간 분해능 극복을 위한 연구, 무소음 MRI 기법 연구, Open Type MRI 연구 등이 진행되고 있으므로 앞서 제시한 문제점들도 곧 극복되리라 사료된다 (6,12).

### fMRI의 기본 원리

뇌는 부위별로 고유한 기능을 지니고 있으며 어떠한 기능을 수행하기 위하여 특정부위의 뇌신경 활동이 일어나면 이와 함께 그 부위의 국소적 뇌 혈류 및 대사가 증가한다. MRI를 이용한 뇌 기능 영상은 이러한 생리적 변화를 표현하는 것으로써 1992년 Ogawa가 뇌에서의 생리적 변화를 측정할 수 있는 현재 뇌기능 영상에 대한 연구가 활발히 진행중이다 (2). MR 영상을 이용한 뇌의 기능적 영상 원리는 생리적으로 크게 BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) 효과와 혈류 효과 (Inflow effect)로 나눌 수 있다. BOLD효과는 뇌혈류 증가에 따른 산소 유입량의 증가는 활성화된 뇌조직이 실제로 필요로 하는 산소량을 능가하기 때문에 소모되지 않은 산소가 정맥으로 흘러 나가서 Oxyhemoglobin 농도를 증가시키고 상대적으로 Deoxyhemoglobin의 농도는 감소시킨다는 이론이다. 인체내의 혈액은 그 상태에 따라 서로 다른 자화율을 갖고 있다는 1936년 L. Pauling 박사가 제창한 이론 - 산소와 결합한 Oxyhemoglobin은 반자성 성질을, 산소를 잃은 Deoxyhemoglobin은 상자성 성질을 가지며 Deoxyhemoglobin은 상자성 성질을 띤다. - 에 따라 Deoxyhemoglobin의 감소는 곧 자화율 효과(susceptibility effect or BOLD effect)를 감소시켜 신호의 증가를 가져온다. 혈류 효과는 활성화에 따른 국소적인 뇌혈류의 증가에 따라 영상단면 내로 유입되는 불포화 양자 (unsaturated proton)의 양도 함께 증가되며 이로 인하여 신호가 증가된다는 이론으로 뇌 혈류의 증가와 함께 혈류가 느린 정맥계의 혈류 속도도 함께 증가하여 결국 영상단면으로 유입되는 정맥내 불포화 양자의 양이 증가한다는 데에 근거를 두고 있다. fMRI의 기본 이론은 위에 설

명한 것과 같이 2가지 효과 (BOLD 및 혈류 효과)를 기초로 하는 것으로, 예를 들어 시각을 자극하는 광선을 간헐적으로 자극한 후 MRI 영상을 연속적으로 얻어 영상을 voxel 단위로 신호 변화를 분석 처리하면 시각 피질 영역에서 뇌 기능의 활성화를 관찰 할 수 있다. 이는 뇌 기능이 자극에 의해 국부적인 혈액 순환 증가와 크기는 교감신경 계통을 통해 심장에서 새로운 피가 공급 (Inflow 효과) 되고 이로 인하여 Oxyhemoglobin이 증가하는 것으로 이는 혈액 (모세혈관, 정맥) 내에 Deoxyhemoglobin이 감소되는 결과 (BOLD 효과)를 가져와서 MR 신호가 증가하는 것이다.

### 실험 방법 및 결과

#### 1. 자극 변화에 따른 활성화의 차이

본 실험은 시각자극 및 운동자극시에 시각피질과 운동 피질에서 자극변화에 따른 총활성화의 관계를 규명하고자 하였다. 또한 소녀는 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. 그러므로 대뇌 피질의 운동영역에서 내려오는 수의 운동과 관련된 정보들이 소녀에서 처리되고, 이러한 소녀의 활성화에 대해서도 fMRI로 알려진 바가 있으므로, 이 부위에서 역시 자극변화에 따른 총활성화의 차이를 규명하고자 하였다.

정상적인 시력과 우측 손을 쓰는 자원자 5명을 대상으로 시각 및 운동 뇌기능 영상을 획득하였다. MR 영상기기는 1.5T (Signa Horizon Echo Speed, GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin) 이고 표준 head coil 을 사용하였다. 먼저 15개의 해부학적 횡단면 영상을 얻은 후 이 영상면과 일치하는 영상을 Echo Planar Imaging (EPI) 기법으로 얻어 뇌기능 영상을 획득하였다. EPI 펄스의 실험 변수는 TR/TE/ $\alpha$ =3sec/60msec/90°, FOV=240mm, 절편두께는 5mm (절편 개수는 15), 매트릭스 크기는 128 128 또는 64 64로 정하였다. 시각자극은 적색 LED와 Checker-Board를 사용하였다. LED 시각자극기는 4개의 적색 LED를 양쪽에 박고 잠망경 형식으로 실험대상자가 거울을 통해 직

접 불빛을 볼 수 있도록 하였다. Checker-Board 자극은 PC에서 먼저 Checker-Board 영상을 만들고 이를 Projector와 Head 코일 내부의 거울을 통해 실험대상자의 눈에 시각자극을 가하였다. LED와 Checker-Board 자극은 모두 깜빡 거림을 8Hz로 두었다. 운동자극은 먼저 엄지손가락만 1초에 1번씩 아래위로 구부리게 하는 Thumb motion을 행하였다 두 번째로, 엄지손가락이 인지에서 약지까지 순서대로 초당 1회 정도로 맞추게 하는 Finger tapping을 행하였다. Thumb motion 및 Finger Tapping 모두 양측 손을 운동하도록 하였다. 시각자극, 운동자극 모두 60초의 휴식기와 120초의 자극 및 운동기, 다시 60초의 휴식기를 두어 절편당 80개의 영상을 얻었다. 자료처리는 통계적인 방법이 cross-correlation을 이용하였다.

표 1은 시각자극과 운동자극에 의한 시각 피질, 운동피질, 소뇌에서의 활성화된 화소의 개수를 나타낸다. 개인마다 차이는 있었지만 대상 인원 모두가 자극 강도가 클수록 활성화된 화소의 개수가 증가하는 경향을 보였다. 이 실험은 시각 및 운동자극의 변화에 따른 활성화의 차이에 대한 것이다. LED 자극과 Checker-Board 자극시에 화소들의 평균 신호율의 변화는 약 3-4%로 차이가 없었지만 활성화된 화소의 개수는 LED 자극시 1배정도 증가하였다. LED와 Checker-Board 자극의 큰 차이는 눈이 느끼는 광원의 밝기 차이로, LED는 직접 눈에 투사하는 방식을 사용 했지만, Checker-Board 자극은 간접적으로 (PC에서 먼저 Checker-Board 영상을 만들고 이를 Projector와 Head 코일 내부의 거울을 통해 실험대상자의 눈에 비춰 줌) 자극을 가했기 때문에 자극 강도가 LED에 비해 작았다고 생각된다. Thumb motion과 Finger Tapping 자극을 가했을 때 일차운동 중추, 부운동 중추, 및 소뇌에서 총활성화의 큰 차이를 보였다. 표 1에서 보였듯이 복잡한 운동일수록 일차운동 중추 및 소뇌에서의 활성화가 증대됨을 관찰할 수 있었다. 또한 단순한 운동일 경우 부운동 중추에서의 반응은 거의 관찰할 수 없었다.

표 1

위치	자극	활성화 화소개수
시각피질		41±12
	LED	87±16
운동피질	Thumb Motion	55±17
	Finger Tapping	113±24
소뇌	Thumb Motion	35±18
	Finger Tapping	89±18

이와 같이 뇌기능 영상을 이용 한다면 외부 자극량 또는 강도에 따른 해당 피질에서 반응의 차이를 규명 할 수 있다. 그러므로 시각 및 운동을 포함한 여러 감성 유발 자극량 또는 강도에 따른 해당 피질 및 피질 하부 중추에서 활성화 영역의 차이를 정량적으로 측정 할 수 있을 것이다.

## 2. 시간축 신호변화의 분석

근래에 뇌기능 영상의 시간축 신호 변화 (Time course data)의 해석에 있어서 Initial deep, Post negative 현상, Slope 등을 해석하거나 분석하는 것에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있다 (8). 이러한 시간축 신호의 변화는 자극이 가해진 순간 해당 피질에서 순간적인 Oxyhemoglobin의 감소로 인하여 신호 감소 현상이 나타나고 (Initial deep), 자극이 가해진 후

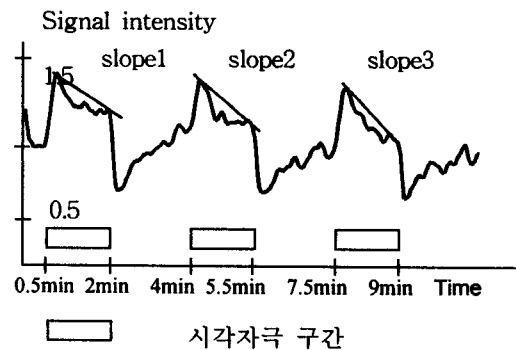
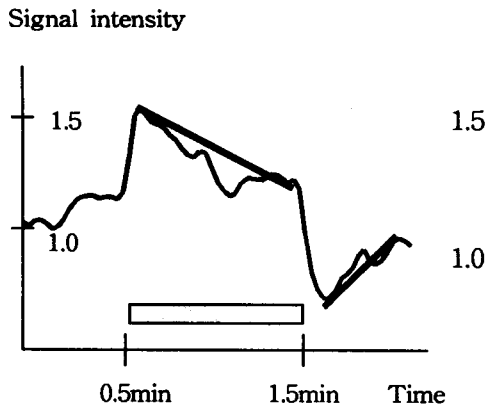
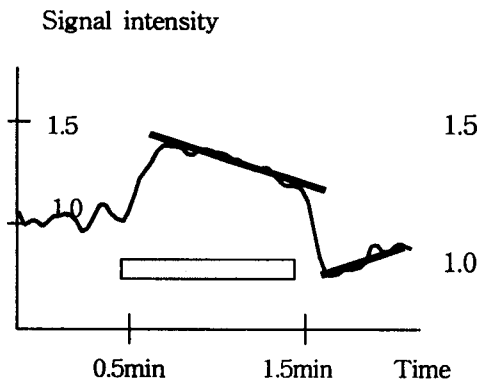


그림1. 반복 시각자극에 따른 신호의 Slope 변화.



(a) Fast Adaptation



(b) Slow Adaptation

□ 시각자극 구간

그림2. 개인차에 따른 신호의 Slope 변화.

일정시간이 지나면 새로운 Oxyhemoglobin의 공급으로 신호가 증가하다가 포화 상태에 도달한 후 다시 일정한 Slope로 감소하고, 자극이 끝나는 순간 기준선 이하로 신호가 떨어진 후 (Post-negative) 일정시간 동안 일정한 Slope로 신호가 증가한 뒤에 다시 기준선으로 회복하는 시간 경과에 따른 신호 유형을 분석 하는 것이다. 이러한 Initial deep, Post negative 현상, Slope의 변화는 자극 강도, 자극시간, 개인차에 따라 달라질 수 있으므로 인간 감성의 변화에 따른 시간축 신호 변화의 측정도 가능 할 것이다. 특히 신호의 Slope는 자극에 대한 적응도를 나타내는 변수가 될 수 있다.

그림1은 피실험자에게 반복된 시각 자극을 가했을 때 나타나는 시간축 신호이다. 그림에서와 같이 동일한 자극이 반복 될수록 신호의 Slope 역시 급격해지고 이는 자극에 대한 적응도의 결과이다. 그림2는 동일한 자극에 대해 개인차에 따른 신호의 Slope 차이를 나타낸다. Slope가 급격한 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 자극의 적응도가 높다고 할 수 있다. 또한 자극 동안에 Slope가 급격한 사람은 자극이 끝나고 기준선으로 돌아오는 Slope 역시 급격 하다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 뇌기능 영상의 시간축 신호를 분석 한다면 자극 시점과 반응 시점간의 관계, 자극에 따른 적응도 등을 관찰 할 수 있을 것이다. 이는 감성 자극, 즉, 쾌, 불쾌한 자극에 의한 시상하부, 변연계, 뇌간 및 대뇌 피질에서 활성화 영역의 차이뿐만 아니라 각 영역에서의 시간 경과에 따른 신호 분석을 가능하게 할 것이다.

3. 간섭자극(소음)이 주자극에 미치는 영향

경사 자계 펄스에 의한 MR 소음은 환자의 촬영뿐만 아니라 뇌기능 영상과 같은 신경 과학 영상에도 문제점 중의 하나이다. 특히 뇌기능 영상에서 소음은 피질과 혈관의 산소량의 변화로부터 생기는 작은 신호의 변화에 영향을 미치는 심각한 잡음 중의 하나이다 (6,13). 본 실험에서는 청각, 운동, 및 시각 피질에서 간섭 자극(소음)이 뇌기능 영상에 미치는 영향을 알아 보고자 하였다. 이 연구는 소음이 운동과 시각 피질의 뇌기능 영상에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 해석에 목표를 두었을 뿐만 아니라 앞으로 뇌기능 연구 또는 인지 연구에 있어서 외부 간섭 자극이 주자극에 어떠한 영향을 미칠 수 있는가에 대해 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다.

실험은 5명의 정상인을 대상으로 시각과 운동 피질에 대한 소음의 영향을 분석 하고자 하였다. 시각 자극은 8Hz의 깜빡거림을 가지고 있는 LED를 이용 하였고, 운동 자극은 엄지손가락이 인지에서 약지까지 순서대로 초당 1회 정도로 맞추게 하는 Finger tapping을 행하였다. 소음의 영향을 분석하기 위하여 시각, 운동실험 각각 2set씩 수행되었다. 각 실험에 있어서 소음을 차단한 경우를 "without (W/O) acoustic noise" 라고

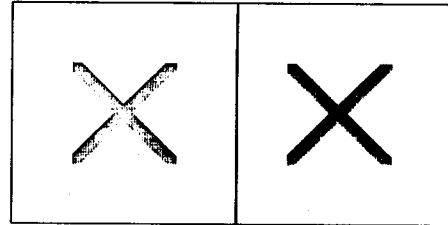
명명 하였고, MRI영상을 얻을 때 발생하는 경사자계 소음을 녹음하여 인위적으로 들려 준 경우를 with (W) acoustic noise라고 명명 하였다. 실험의 순서는 아래와 같이 동일한 피실험자에 대해 이루어 졌다.

- ① 시각실험 (W/O) acoustic noise
- ② 시각실험 (W) acoustic noise
- ③ 운동실험 (W/O) acoustic noise
- ④ 운동실험 (W) acoustic noise

그림3은 소음이 있는 경우와 없는 경우, 시각실험과 운동 실험을 했을 때 각 피질에서의 활성화 지도이다. 시각 실험의 경우는 외부 간섭 인자인 소음이 주어 졌을 때 활성화 화소의 개수가 100% 감소 했지만, 운동 실험의 경우 반대로 소음이 있을 때 활성화 화소의 개수가 30% 증가 하였다. 시각 자극인 경우는 외부 간섭 요소인 소음이 시각적 정보를 인지 하는데 있어서 방해 요소로 작용을 하여 활성화를 감소 시켰지만, 운동 자극은 일정한 운동을 수행 하기 위해서는 간섭요인이 있을 때 보다 더 집중을 해야 하기 때문에 활성화가 증가 하였다.

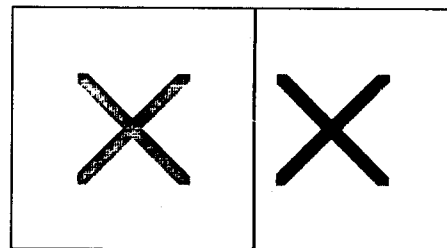
그림4는 여러 종류의 음향이 수의 운동 (Finger tapping)에 미치는 영향이 어떻게 다른가를 정성적으로 나타내고 있다. 그림4의 (a)는 소음이 없을 경우, (b)는 피실험자가 좋아하는 부드러운 음악 (팝송)을 들려 주면서, (c)는 피실험자가 싫어하는 시끄러운 음악 (헤비메탈)을 들려 주면서, (d)는 녹음된 MRI 소음을 들려 주면서 수의 운동을 행하게 했을 때 운동 피질에서의 활성화 지도이다. 그림4의 (a)와 (d)의 활성화 영역 차이는 그림3의 (b)의 결과와 일치한다. 재미있는 것은 그림4의 (b)와 (c)의 차이인데, 이는 음악이라도 피실험자가 어떻게 느끼느냐에 따라 불쾌한 소음이 될 수 있다는 것을 보여 준다 (6,13). 그러므로 쾌, 불쾌의 감성유발 자극에 따른 해당영역의 뇌기능 활성화 차이 뿐만 아니라, 이러한 감성의 변화가 임의의 다른 뇌기능 수행에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구도 가능하게 할 것이다.

W/O Acoustic Noise      W Acoustic Noise



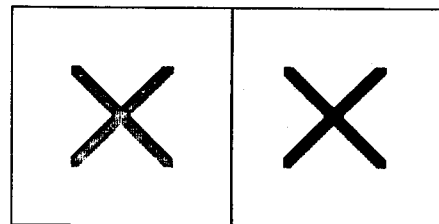
(a) 시각 실험

W/O Acoustic Noise      W Acoustic Noise

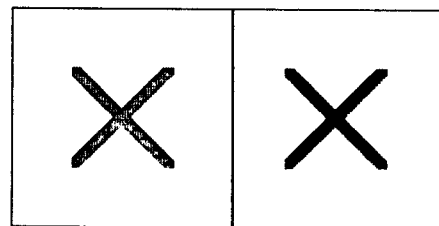


(b) 운동 실험

그림3. 소음이 있는 경우 (W)와 없는 경우 (W/O), 시각실험 (a)과 운동 실험 (b)을 했을 때 각 피질에서의 활성화 지도.



(a) W/O Sound      (b) Music (Soft Pop Song)



(c) Music (Loud)      (d) Pre-Scan Sound

그림4. 여러 종류의 소리를 들려 주면서 수의 운동 (Finger tapping)을 했을 때 운동 피질에서의 활성화지도.

현재 저자들은 소음 뿐만 아니라 여러 가지 간섭 자극이 주자극에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구도 활발히 진행 중에 있다.

#### 결론 및 토의

단편적이거나 fMRI를 이용한 여러 생리 측정 결과를 본 논문에서 소개 하였다. fMRI 역시 여러 제약 조건을 가지고 있지만 다른 측정 장비에 비해 또한 많은 장점을 가지고 있다. 인간의 감정을 제어하는 시상하부와 변연계에서 외부 감각 자극에 따른 국부별 활동도와 신호 변화율을 측정함으로써 감성 변화의 기본 모체가 되는 감정의 변화를 측정 할 수 있을 것이다.

지금까지 사용되어온 ECG, GSR, EMG 등의 여러 생리 신호는 감성의 발원지인 뇌에서 발생하는 생리적인 변화를 직접 나타내는 것이 아니고, 뇌에서 발생하는 감성의 변화가 신체에 유발하는 요소, 즉, 심장박동, 호흡, 피부전기 활동도의 변화를 나타내는 것이다. 이는 자극과 반응과의 관계만을 간접적으로 규명 할 뿐, 근본적인 뇌에서의 감성 메커니즘을 알지 못한다는 단점이 있다. 뇌파분석 (EEG)에 의한 감성측정 역시 낮은 공간 분해능과 낮은 S/R 등의 한계를 가지고 있다. 그러므로 여러 생리 측정 장비 (EEG, ECG, EMG, GSR)와 fMRI 기법의 장 단점을 적절히 종합적으로 이용한다면 감성 측정의 좋은 지표가 될 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

1. 김철중 et al, 한국표준과학연구원, 1998.
2. S.Ogawa et al, PNAS, USA89, 5951-5955, 1992.
3. P.A.Bandettini et al, MRM, 25, 390-397, 1992.
4. S.G.Kim et al, Science, 261, 615-617, 1993.
5. R.Turner et al, 12th SMRM, 1411, 1993.
6. Z.H.Cho, S.C.Chung et al, MRM, 39, 331-336, 1998.
7. 정순철 et al, 대한의용생체공학회, 추계학술대회, 제20권, 제2호, 289-290, 1998.
8. E.Yacoub et al, 6th ISMRM, 1998.
9. D.M.Yousem et al, 5th ISMRM, 454, 1997.
10. D.A.Yurgelun et al, 5th ISMRM, 719, 1997.
11. T.Kato et al, 6th ISMRM, 1998.
12. Z.H.Cho, S.C.Chung et al, MRI, 15, 815-822, 1997.
13. 정순철 et al, 대한자기공명의과학회지, 2권, 1호, 50-57, 1998.

정순철, 포스터, 1.감성측정및평가; 2.기타,  
042-868-5456, 042-868-5455,  
scchung@kriss.re.kr