

# Functional and Perfusion MR Imaging of the Brain

김재형, M.D.

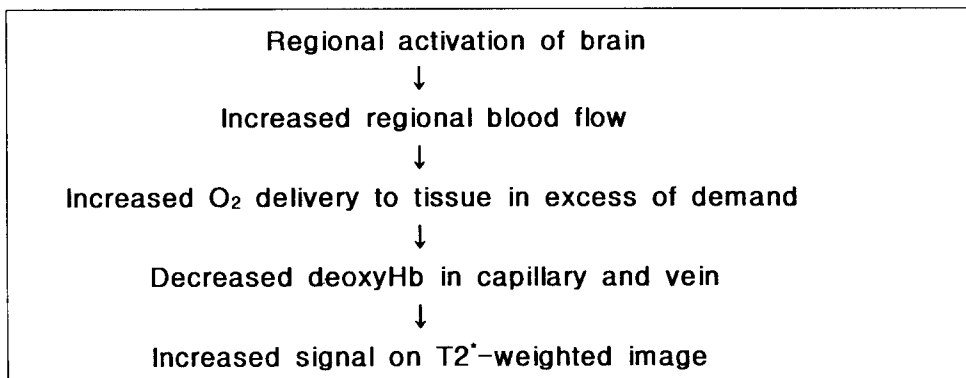
경상대학교 의과대학 진단방사선과

## I. Functional MR

### 1. 서론

뇌는 어떠한 기능을 수행하기 위하여 특정부위의 뇌 신경활동이 항진되면 이와 함께 그 부위의 국소적 뇌혈류 및 대사가 증가하는 것으로 알려져 있다. 이러한 생리적 변화를 이용하여 뇌에 국소적 신경 활성화 (activation)를 유도한 후 그 기능의 위치를 영상으로 표현하고자 하는 연구들이 진행되어 왔으며 1980년대에는 positron emission tomography (PET)가 이에 큰 역할을 담당하여 왔다. 1990년대에 들어서면서 MR의 기술적 발전과 함께 이러한 뇌기능을 MR 영상으로 표현하는 소위 functional MR (fMR)이 시도되고 있다.

fMR의 기법에도 여러 종류가 있으나 BOLD technique이 가장 기본적이며 널리 사용되는 기법이다. BOLD effect의 원리는 다음과 같다. 뇌의 활성화에 따른 국소적 혈류 증가는 곧 조직으로 공급되는 산소량의 증가를 의미하는 데에 이때 늘어난 산소 공급량은 활성화된 뇌조직이 필요로 하는 양 이상으로 증가하게 된다. 결국 필요 이상의 과도한 산소 공급으로 인하여 활성화된 뇌조직의 draining venous system 즉 모세혈관 및 정맥의 oxyhemoglobin 양을 증가시켜 상대적으로 deoxyhemoglobin의 농도를 감소시키게 된다. Deoxyhemoglobin은 주위 proton의  $T_2$  및  $T_2^*$  이완시간을 감소시키는 상자성 물질이므로 이의 감소는  $T_2$ -강조영상이나  $T_2^*$ -강조영상에서 신호강도의 증가를 초래하게 된다. 따라서 BOLD technique을 이용한 fMR에서는  $T_2^*$  효과를 민감하게 관찰하기 위하여 고자장 MR과 long-TE gradient-echo 기법이 필수적이다.



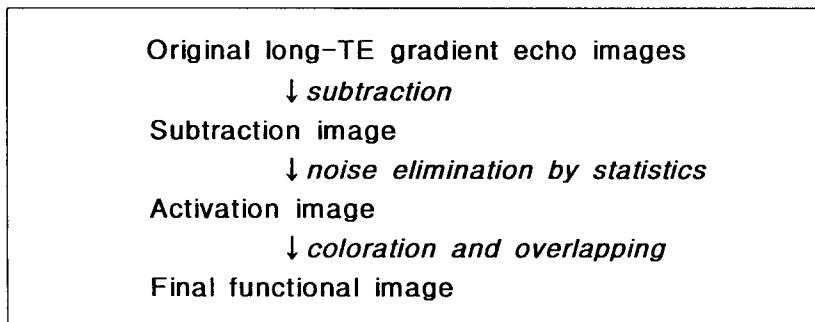
## 2. BOLD Technique을 이용한 Functional MR의 영상기법

### 1) Image acquisition

뇌에서 hand motion 중추의 fMR을 시행할 경우, 먼저 fMR을 시행하고자 하는 부위의 해부학적 영상을 T1-강조영상으로 얻는다. 이어서 long-TE gradient-echo 기법 (대개 TR 40-80 msec, TE 25-60 msec, flip angle 25°-40°로 함)으로 휴식상태 (손을 움직이지 않는 상태)와 활성화상태 (손을 움직이는 상태)를 번갈아 가며 각각의 상태에서 5-10개씩 총 20-40개의 영상을 연속적으로 얻는다. 감각 중추의 경우는 손바닥을 긁는 방법으로, 시각 중추의 경우는 깜박이는 불빛으로 시각을 자극시키면서 뇌의 활성화를 유도한다. 같은 원리로 보다 high level의 뇌기능 (예, 언어기능)도 적절한 방법으로 활성화를 유도하여 fMR을 시행할 수 있다 (Fig. 1).

### 2) Image post-processing

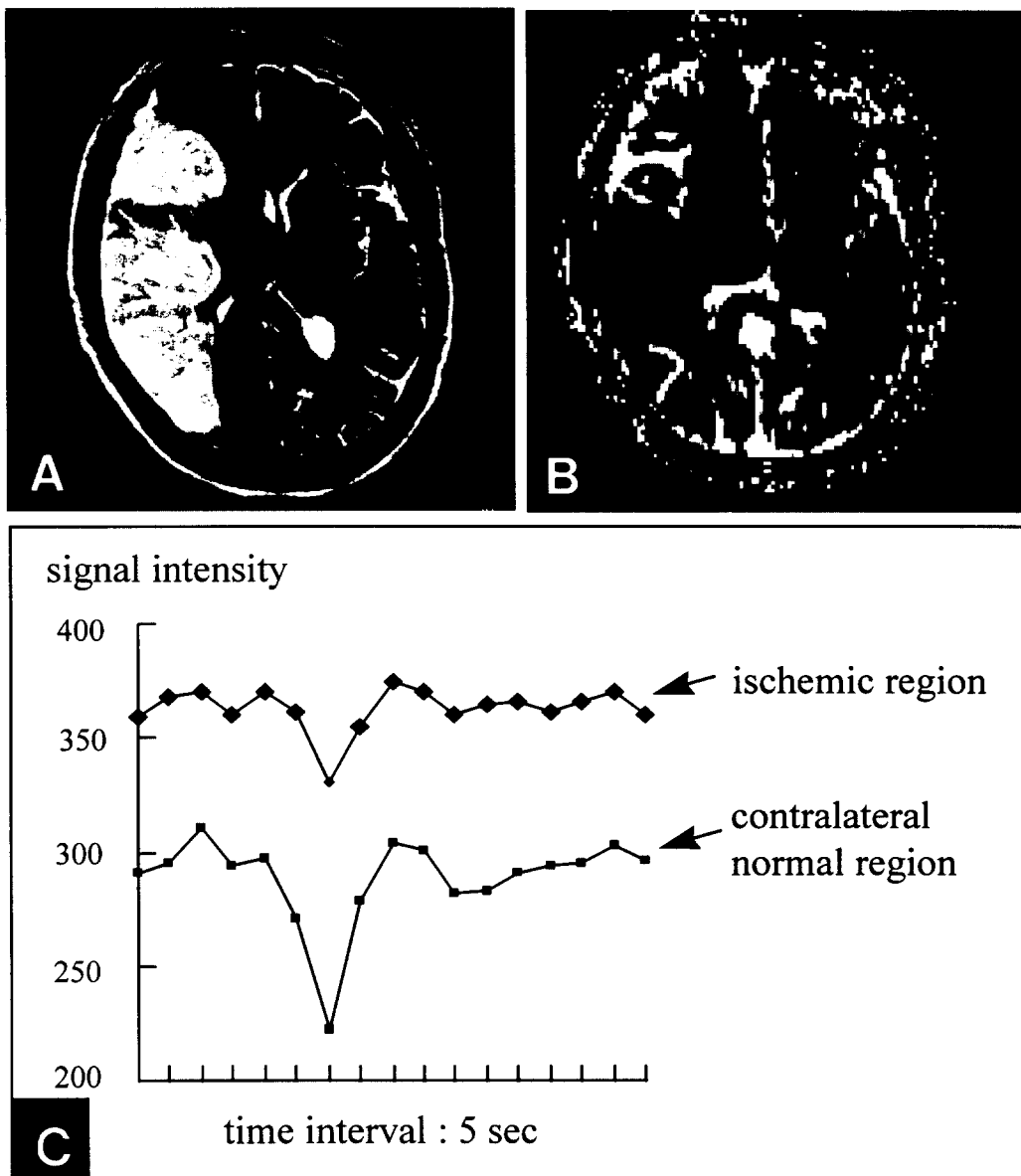
얻어진 MR 영상들을 다음과 같이 post-processing하여 최종적인 fMR을 얻는다.



즉 활성화상태 영상의 합 (sum)으로 부터 휴식상태 영상의 합을 감산한 후, 통계학적 방법으로 noise를 제거하고 이 영상을 같은 위치의 T1-강조영상에 중첩시킴으로써 최종적인 영상을 얻게 된다 (Fig. 1).

## 3. Functional MR의 임상 이용

아직까지 주로 research 목적으로 시행되고 있으며 임상적용은 초보단계에 있다. 국소적 뇌병변을 수술할 때 중요한 뇌기능의 위치를 사전에 파악함으로써 절제 범위를 결정하는 데에 도움을 줄 수 있으며 수술로 인한 기능의 손상을 예측할 수도 있다. 최근에는 측두엽 절제 전에 시행하는 Wada test를 fMR을 이용하여 시행한 보고도 나오고 있다. 또한 뇌경색 등에 의하여 손상된 뇌기능의 회복 과정을 밝히는 데에도 그 역할이 기대된다.



**Fig. 2.** 5-day-old-infarct in the right middle-cerebral-artery(MCA) territory.  
**A.** T2-weighted image shows area of increased signal intensity in the right MCA territory.  
**B.** Blood volume map image created from the time-concentration data on a pixel-by-pixel basis. Bright signal intensity on this image indicates good perfusion (ie. large blood volume) and dark signal intensity does poor perfusion (ie. small blood volume).  
**C.** Time-signal intensity curves of the ischemic and contralateral normal regions during the transit of contrast material show a remarkable reduction of signal intensity in the normal region, but in the ischemic region.

## II. Perfusion MR

### 1. 서론

MR의 기술적 발전과 함께 고속 영상기법의 등장으로 뇌조직의 혈역학적 상태를 알 수 있는 소위 perfusion (관류) 영상이 가능하게 되었다. Perfusion MR은 gadolinium과 같은 조영제를 사용하는 *first-pass technique*과 조영제 사용없이 magnetization transfer 기법이나 180° inversion pulse를 이용하는 *spin-tagging technique*이 있는 데에 여기서는 보다 기본적인 기법인 *first-pass technique*에 관하여 설명하고자 한다.

*First-pass technique*은 조영제에 의한 뇌조직의 T2 (또는 T2')-이완시간 단축을 그 원리로 하고 있다. 일반적으로 gadolinium과 같은 조영제는 조직의 T1- 및 T2-이완시간을 단축시켜 T1-강조영상에서는 신호를 증가시키고 T2-강조영상에서는 신호를 감소시킨다고 알려져 있다. T2'-이완시간의 단축은 조영제에 의한 국소 자장의 비균질성 (local magnetic field inhomogeneity)에 의한 것이므로 혈관내의 조영제의 농도가 높을수록 자장의 비균질성은 커져 조직의 신호는 더욱 감소하게 된다. 따라서 신호감소는 혈류량에 비례하여 나타나며 이러한 신호감소를 정성적, 정량적으로 분석하여 뇌혈류량을 평가할 수 있다.

### 2. Perfusion MR의 영상기법

정맥으로 급속 주입한 조영제 (성인에서 Gd 15-20 ml)가 뇌혈관을 처음 통과할 때 (즉 뇌혈관내 조영제의 농도가 가장 높을 때) 국소 자장의 비균질성이 가장 심하며 신호강도도 가장 크게 감소되므로 이 시기에 역동적 MR 영상을 얻는다. 따라서 perfusion 영상기법의 가장 기본적인 조건은 첫째 짧은 시간에 (보통 3 초 이내) 한 영상을 얻을 수 있어야 하며, 두 번째로 국소 자장의 비균질성에 민감한 long-TE gradient-echo기법을 사용하여야 한다. 대개 SPGR이나 FLASH기법을 TR 25-40 msec, TE 15-30 msec, flip angle 10°로 하여 시행하며 조영제가 뇌를 통과하기 전부터 통과한 후까지 (총 60-70초 동안) 동일한 영상단면에서 반복 스캔한다. 이러한 영상기법을 일반적으로 dynamic susceptibility-contrast imaging 또는 dynamic contrast-enhanced T2'-weighted imaging 등으로 부른다. 얻어진 일련의 영상으로부터 동일 부위의 시간에 따른 신호강도를 측정 한 후 아래의 공식에 의하여 relative cerebral blood volume (상대적 뇌혈류량)을 계산할 수 있다 (Fig. 2).

$$\text{상대적 뇌혈류량} = \int \Delta R_2' dt, \quad R_2' = [-\ln(S_t/S_0)]/TE$$

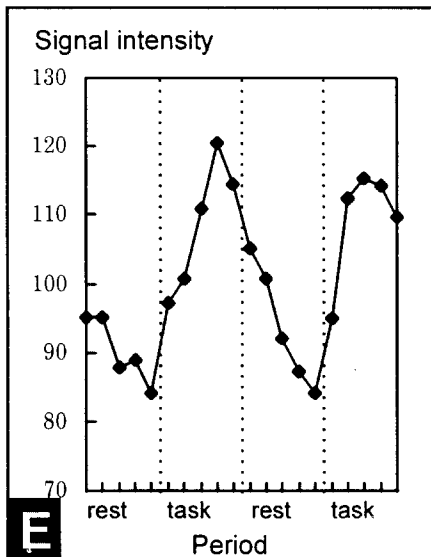
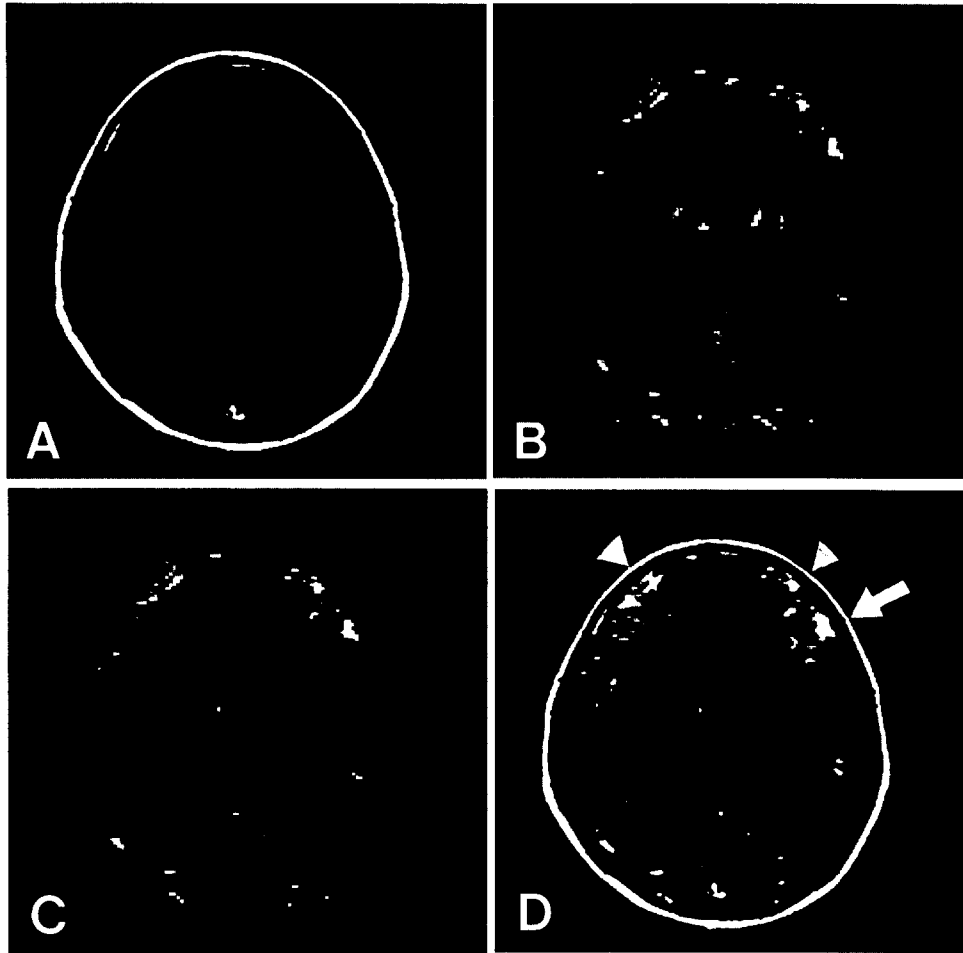
(R2' = relaxivity (= 1/T2'), St = signal intensity at time t,  
So = base line signal intensity, TE = echo time)

### 3. Perfusion MR의 임상 이용

Perfusion MR은 cerebral ischemia, brain tumor 등에 이용되고 있다

#### 1) Cerebral ischemia

Perfusion MR은 CT나 routine MR로 이상 소견을 발견할 수 없는 hyperacute ischemia의 진단에 유용하게 사용될 수 있다. 또 ischemia의 시기에 따른 혈역학적 변화를 평가하는 데에도 사용된다.



**Fig. 1.** Functional MR imaging of silent word generation.

**A.** Anatomic reference T1-weighted image.

**B.** Subtraction image obtained by subtracting the sum of rest images from the sum of task images.

**C.** Activation image obtained by eliminating the noise from the subtraction image by means of a statistical method (student *t* test in this study).

**D.** Final functional image obtained by overlapping C on A. Activation signal is noted in the left inferior frontal gyrus (arrow) and both middle frontal gyri (arrow heads).

**E.** Signal intensity of the left inferior frontal gyrus shows a cyclic change following the periodicity of activation task.

## 2) Brain tumor

Hypervascular tumor의 진단에 사용될 수 있다. 특히 glioma의 grading에 도움을 줄 수 있으며 이는 high grade일수록 일반적으로 혈류량이 증가하기 때문이다. 또 방사선 치료를 받은 악성 종양에서 routine MR로는 거의 불가능한 recurrence와 radiation necrosis의 감별에 이용될 수 있으며 recurrence에서는 혈류량이 증가하기 때문이다.

## 참고 문헌

1. Thompson RM, Jack CR, Butts K, et al. *Imaging of cerebral activation at 1.5 T: optimizing a technique for conventional hardware*. Radiology 1994;190:873-877
2. Jack CR, Thompson RM, Butts RK, et al. *Sensory motor cortex: correlation of presurgical mapping with functional MR imaging and invasive cortical mapping*. Radiology 1994;190:85-92
3. Yetkin FZ, Papke RA, Mark LP, et al. *Location of the sensorimotor cortex: functional and conventional MR compared*. Am J Neuroradiol. 1995, 16:2109-2113
4. Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KR, et al. *Sex difference in the functional organization of the brain for language*. Nature 1995, 373:607-609
5. Kucharczyk J, Vexler ZS, Roberts TP, et al. *Echo-planar perfusion-sensitive MR imaging of acute cerebral ischemia*. Radiology 1993;188: 711-717
6. Tzika AA, Massoth RJ, Ball WS, Majumdar SM, Dunn RS, Kirks DR. *Cerebral perfusion in children: detection with dynamic contrast-enhanced T2'-weighted MR images*. Radiology 1993;187:449-458
7. Maeda M, Itih S, Kimura H, et al. *Vascularity of meningiomas and neuromas: assessment with dynamic susceptibility-contrast MR imaging*. Am J Roentgenol 1994;163:181-186
8. Bruening R, Kwong KK, Vevea MJ, et al. *Echo-planar MR determination of relative cerebral blood volume in human brain tumors: T1 versus T2 weighting*. AJNR 1996, 17:831-840