

T1, T2강조영상, FLAIR영상의 임상 적용

김 재 형

T1, T2강조영상, FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) 영상기법은 뇌 MRI의 가장 기본적인 영상기법들이다. T1강조영상은 짧은 TR과 짧은 TE를 이용한 스핀에코 기법으로서 조직의 T1이완시간의 차이를 신호 차이로 반영하는 기법이다. 짧은 TR을 사용하면 조직 간에 종축 자기화의 회복 정도가 크게 차이나게 되며 이를 신호에 반영하는 것이다. T2강조영상은 긴 TR과 긴 TE를 이용한 스핀에코 기법으로서 조직의 T2이완시간의 차이를 신호 차이로 반영하는 기법이다. 긴 TE를 사용하면 조직 간에 횡축 자기화의 붕괴가 크게 차이나게 되며 이를 신호에 반영하는 것이다. FLAIR는 180도 반전펄스를 먼저 가하는 반전회복 (inversion recovery) 기법의 일종으로서 뇌척수액의 신호를 억제하기 위하여 2500 msec 정도의 반전시간을 적용한다.

서 론

T1, T2강조영상, FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) 영상기법은 뇌 MRI의 가장 기본적인 영상기법들이다. T1강조영상은 해부학적 정보를 얻는 데에 유용하며, T2강조영상과 FLAIR영상은 병변을 발견하는 데에 유용하다. 임상에서 각종 병소의 발견과 진단에 있어서 이들 영상기법의 역할은 너무도 필수적이다. 그러나 이들의 진단적 역할에 대해 다루는 것은 너무 광범위하여 여기서는 이 영상기법들의 기본적인 원리를 팬텀과 뇌의 영상을 통해 설명하고자 한다.

본 론

1. T1 및 T2강조영상

1) T1 및 T2 이완

90도 고주파 펄스를 맞은 직후 proton은 종축 자기화는 0%, 횡축 자기화는 100%인 상태가 된다. 이후 시간이 지남에 따라 종축 자기화를 다시 회복하는 T1 이완과 횡축 자기화가 붕괴되

는 T2 이완 현상이 각각 일어난다. 조직에 따라 차이가 있으나 대개 T2 이완이 T1 이완보다 5-10배 정도 빠른 속도로 일어난다. T1이완시간은 종축 자기화의 63%를 회복하는 데까지 걸리는 시간이며, 지방조직은 약 250 msec, 뇌조직은 500~1000 msec, 뇌척수액은 4000~5000 msec이다. 반면 T2이완시간은 100%의 횡축 자기화가 37%까지 붕괴되는 데 걸리는 시간이며, 지방조직은 약 60 msec, 뇌조직은 80~100 msec, 뇌척수액은 2200 msec이다.

2) TR과 T1강조영상

실제 MRI를 시행할 때, 90도 고주파 펄스를 통상 수백 번 반복하여 가해야 하므로 펄스 사이의 시간 간격 (반복시간, TR)은 MRI 신호에 큰 영향을 미친다. 즉 TR이 길면 T1이완시간이 긴 조직이든 짧은 조직이든 모두 종축 자기화를 충분히 회복한 상태에서 다음번 90도 펄스를 맞게 되며, 매 90도 펄스마다 강한 신호 (즉, 횡축자기화)를 생성할 수 있다. 그러나 TR이 짧은 경우, T1이완시간이 짧은 지방조직은 종축 자기화를 충분히 회복할 수 있으나 다른 조직들은 충분히 회복하지 못한 상태에서 다음번 90도 펄스를 맞기 때문에 종축 자기화가 회복되지 못

대한자기공명영상학회지 13:9-14(2009)

¹서울대학교 의과대학 영상의학교실, 분당서울대학교병원 영상의학과

접 수 : 2009년 4월 28일, 수정 : 2009년 5월 15일, 채택 : 2009년 5월 30일

통신저자 : 김재형, (463-707) 경기도 성남시 분당구 구미동 300, 분당서울대학교병원 영상의학과

Tel. (031)787-7602 Fax. (031)787-4011 E-mail: jaehkim@snu.ac.kr

김재형

한 만큼 횡축자기화가 생성되지 못해 결국 MRI 신호가 감소한다. 따라서 TR을 짧게 하면 조직 간의 T1이완시간 차이를 대조도로 반영한 영상을 만들 수 있으며 이것이 T1강조영상이다.

즉 T1강조영상은 짧은 TR과 짧은 TE를 사용하며, 짧은 TR로 조직 간의 T1 대조도를 증강시키고, 짧은 TE로는 T2 대조도는 억제시키는 기법이다. 실제로 TE를 짧게 고정된 상태에서 다양한 TR을 적용한 팬텀과 뇌의 영상을 살펴보자 (그림 1). TR이 길어질수록 조직의 T1 대조도가 약해지는 것을 알 수 있다.

3) TE와 T2강조영상

90도 고주파 펄스에 의해 만들어진 횡축 자기화는 시간에 따

라 붕괴되는데, 적당한 시점에 180도 고주파 펄스를 가하면 붕괴되고 있는 횡축자기화의 vector를 180도 반대방향으로 바꾸어 줌으로서 횡축 자기화를 다시 재초점화 (refocusing) 할 수 있다. 90도 펄스부터 신호발생 사이의 시간 간격을 예코시간 (TE)이라 하며 이를 조절하면 조직 간의 T2이완시간 차이를 대조도로 반영한 영상, 즉 T2강조영상을 얻을 수 있다. TE를 짧게 하여 조직의 횡축 자기화 붕괴 (즉 T2이완)가 별로 일어나지 않았을 때 180도 펄스를 가하면 조직 간의 T2 대조도가 낮은 영상을 얻게 된다. 반면 TE를 길게 하여 조직 간의 T2이완이 충분히 차이 나는 시점에서 180도 펄스를 가하면 T2 대조도가 높은 T2강조영상을 얻게 된다.

즉 T2강조영상은 긴 TR과 긴 TE를 사용하여 긴 TR로 조직

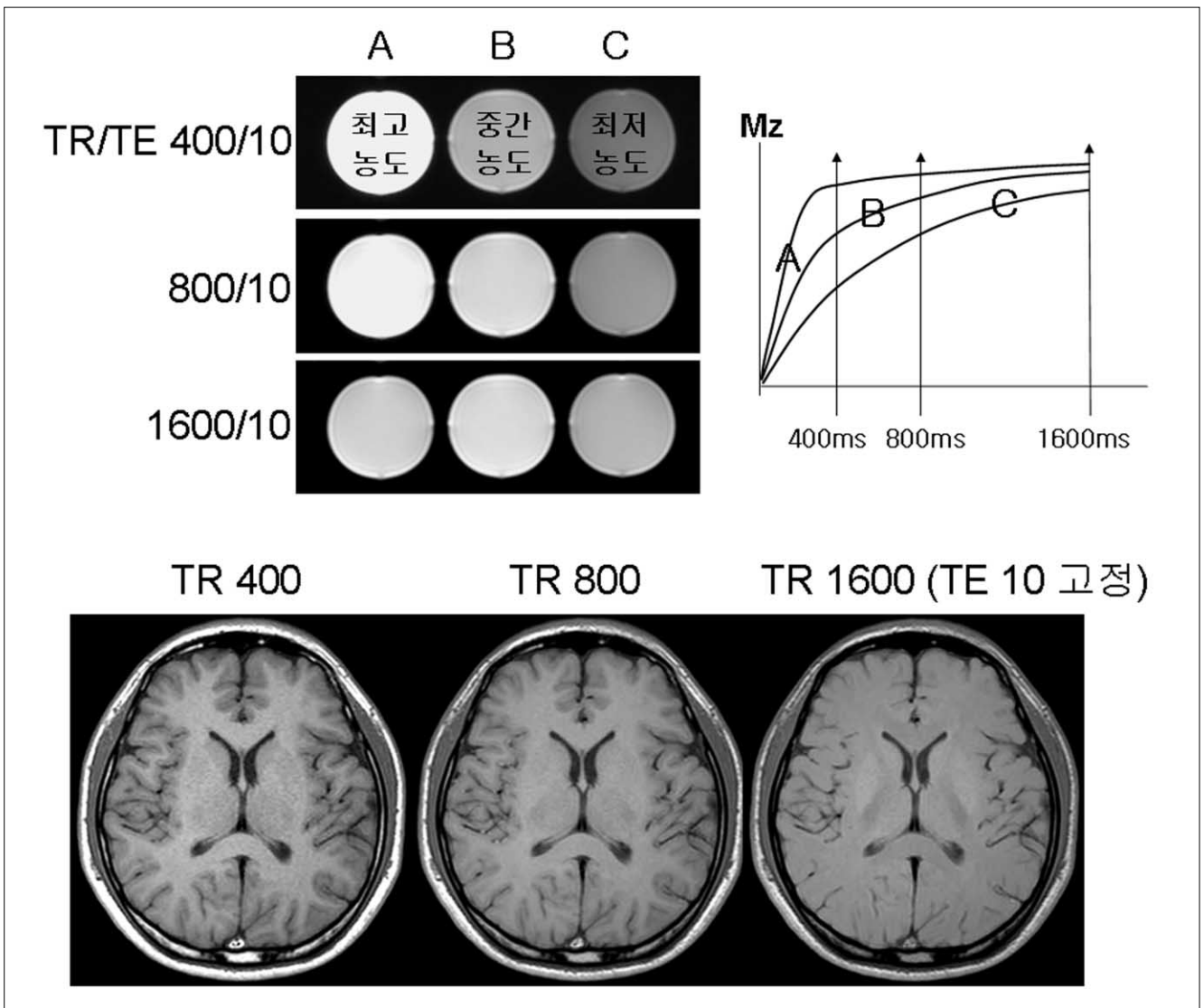


그림 1. 다양한 TR에 따른 T1 대조도.

A, B, C는 증류수에 MR 조영제를 섞어 만든 팬텀이다. T1 이완은 농도가 가장 높은 A가 가장 빠르고, B는 중간이며, C가 가장 느리다. 팬텀 간의 대조도가 TR 400 ms에서 가장 우수하며 TR이 길어질수록 나빠짐을 알 수 있다 (TE는 10 ms로 고정하였다). 동일한 TR/TE로 촬영한 뇌의 영상에서도 TR 400 ms에서 대조도가 가장 우수하다.

간의 T1 대조도는 억제시키고, 긴 TE로는 T2 대조도를 증강시키는 기법이다. TR을 길게 고정한 상태에서 여러 가지 TE를 적용한 팬텀과 뇌의 영상을 살펴보자 (그림 2). 팬텀에서 TE가 길어질수록 T2 대조도가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 그림에서는 제시하지 않았지만 TE가 150 msec 이상으로 너무 증가하면 뇌척수액만 고신호로 남고, 백질과 회질은 모두 저신호로 보며 백질-회질 간의 대조도는 오히려 나빠진다. 이는 백질과 회질의 횡축자기화 붕괴가 너무 진행되어 180도 펄스에 의해 재초침화될 수 있는 횡축자기화가 거의 남지 않은 상태가 되기 때문이다.

4) 양자밀도영상

긴 TR에 짧은 TE를 사용하는 스핀에코기법을 양자밀도영상 (proton density 영상)이라 하며, 종축 자기화가 충분히 회복되고, 횡축 자기화의 붕괴는 별로 일어나지 않은 시점에서 신호를 얻는 기법이다 (그림 3). 따라서 조직의 T1 및 T2 대조도는 낮으나 전체적인 signal-to-noise ratio는 좋은 영상이 된다. 반면 짧은 TR에 긴 TE를 사용하면 어떻게 될까? 대조도와 signal-to-noise ratio가 모두 나쁜 영상이 만들어진다 (그림 3).

2. FLAIR (fluid attenuated inversion recovery)

FLAIR 기법은 반전회복 (inversion recovery) 기법의 일

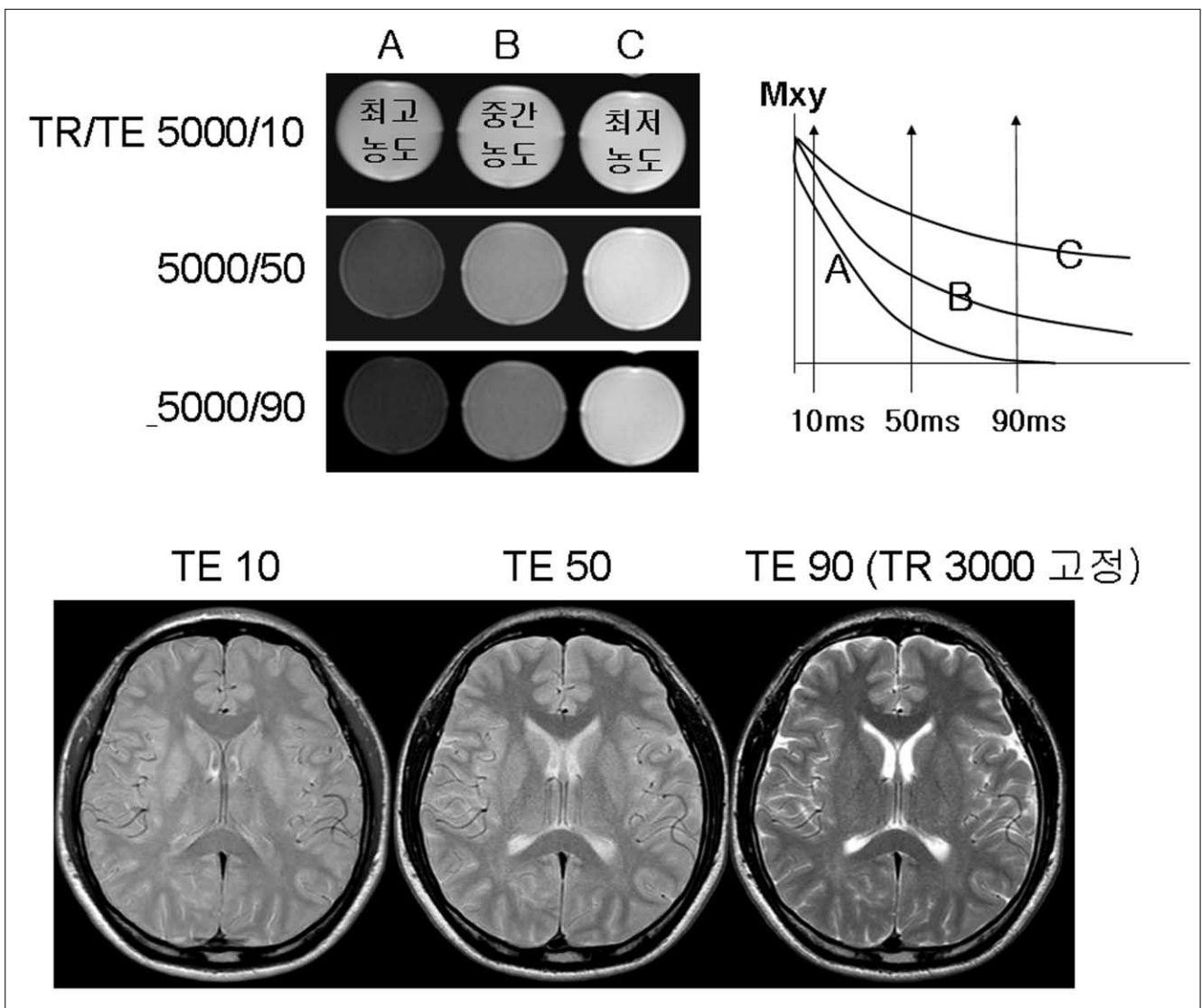


그림 2. 다양한 TE에 따른 T2 대조도.

A, B, C는 증류수에 MR 조영제를 섞어 만든 팬텀이다. T2 이완은 농도가 가장 높은 A가 가장 빠르고, B는 중간이며, C가 가장 느리다. 팬텀 간의 대조도가 TE 10 ms에서는 좋지 않으나, TE가 길어질수록 대조도가 좋아짐을 알 수 있다 (TR은 3000 ms로 고정하였다). 동일한 TR/TE로 촬영한 뇌의 영상에서도 TE가 길수록 우수한 대조도를 보임을 알 수 있다.

김재형

중으로서 뇌척수액의 신호를 억제시키는 기법이다. 긴 TR과 긴 TE를 이용하므로 뇌척수액의 신호가 검게 억제된다는 점을 제외하면 백질-회질 대조도는 T2강조영상과 비슷하다. 스핀에코 영상의 펄스 배열은 90도 펄스부터 시작하나, 반전회복기법은 90도 펄스 앞에 180도 반전 펄스를 먼저 가한다 (그림 4). 180도 반전 펄스 직후에 조직의 net 자기화는 종축의 (-) 쪽으로 완전히 뒤집혀진 상태가 되며, 이후 각 조직의 특성에 따라 T1 이완 현상이 일어나 (+) 종축 방향으로의 자기화가 생기기 시작한다. 이 과정에서 종축의 net 자기화가 제로가 되는 시점이 생기는데, 180도 펄스부터 이때까지의 시간을 반전시간 (TI, inversion time)이라고 한다. 지방은 150 ms, 백질은 300~400 ms, 회질은 600~700 ms, 뇌척수액은 2000~2500 ms의 반전시간을 갖는다.

따라서 90도 펄스는 180도 반전펄스 후 신호를 억제하고자

하는 조직의 반전시간 만큼 기다렸다가 가하게 된다. 즉 150ms 후에 90도 펄스를 가하면 지방 신호가 억제되는 STIR (short TI inversion recovery) 기법이 되고, 2000~2500 ms 후에 90도 펄스를 가하면 뇌척수액의 신호가 억제되는 FLAIR 영상이 된다. TR과 TE를 고정한 상태에서 여러 가지 반전시간의 180도 펄스를 사용한 팬텀과 뇌의 영상을 살펴보자 (그림 5). 이를 통해 반전시간을 조절하면 원하는 조직의 신호를 억제할 수 있음을 알 수 있다.

결론

T1강조영상은 짧은 TR과 짧은 TE를 이용한다. 짧은 TR로 조직의 T1이완 차이를 극대화시키고, 짧은 TE로는 조직의 T2이완 차이를 억제시킨다. 반면 T2강조영상은 긴 TR과 긴 TE

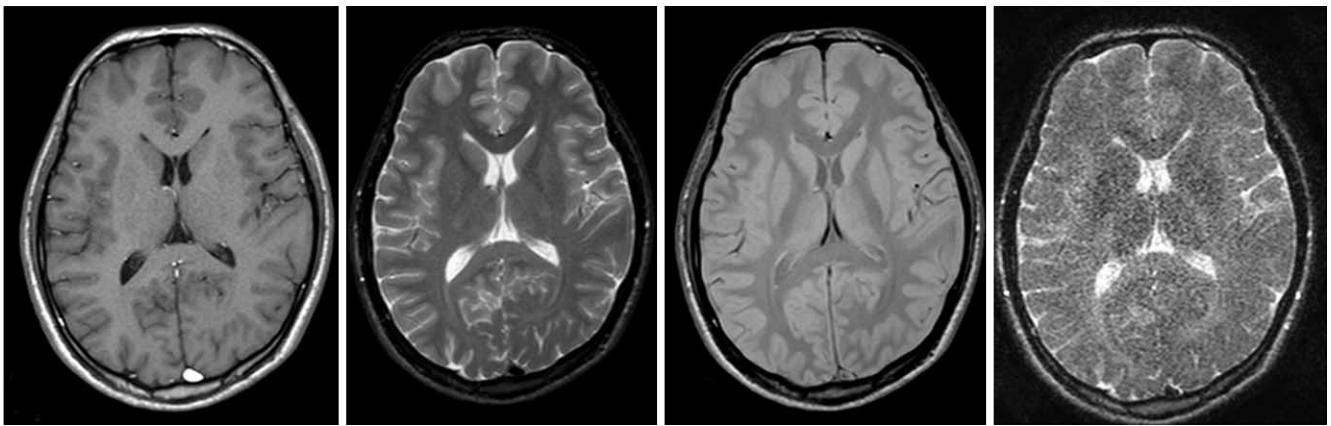


그림 3. 여러 가지 스핀에코 영상기법.
 a. T1강조영상 (TR/TE: 500/10)
 b. T2강조영상 (TR/TE: 3000/90)
 c. 양자밀도영상 (TR/TE: 3000/10)
 d. 짧은 TR, 긴 TE의 영상 (TR/TE: 500/150)

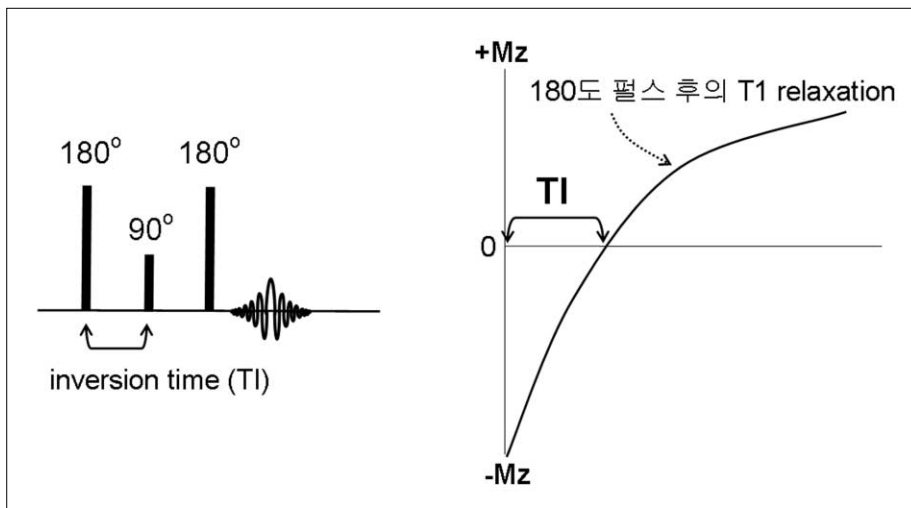


그림 4. 반전회복기법의 펄스열 및 180도 반전펄스 후의 T1 이완

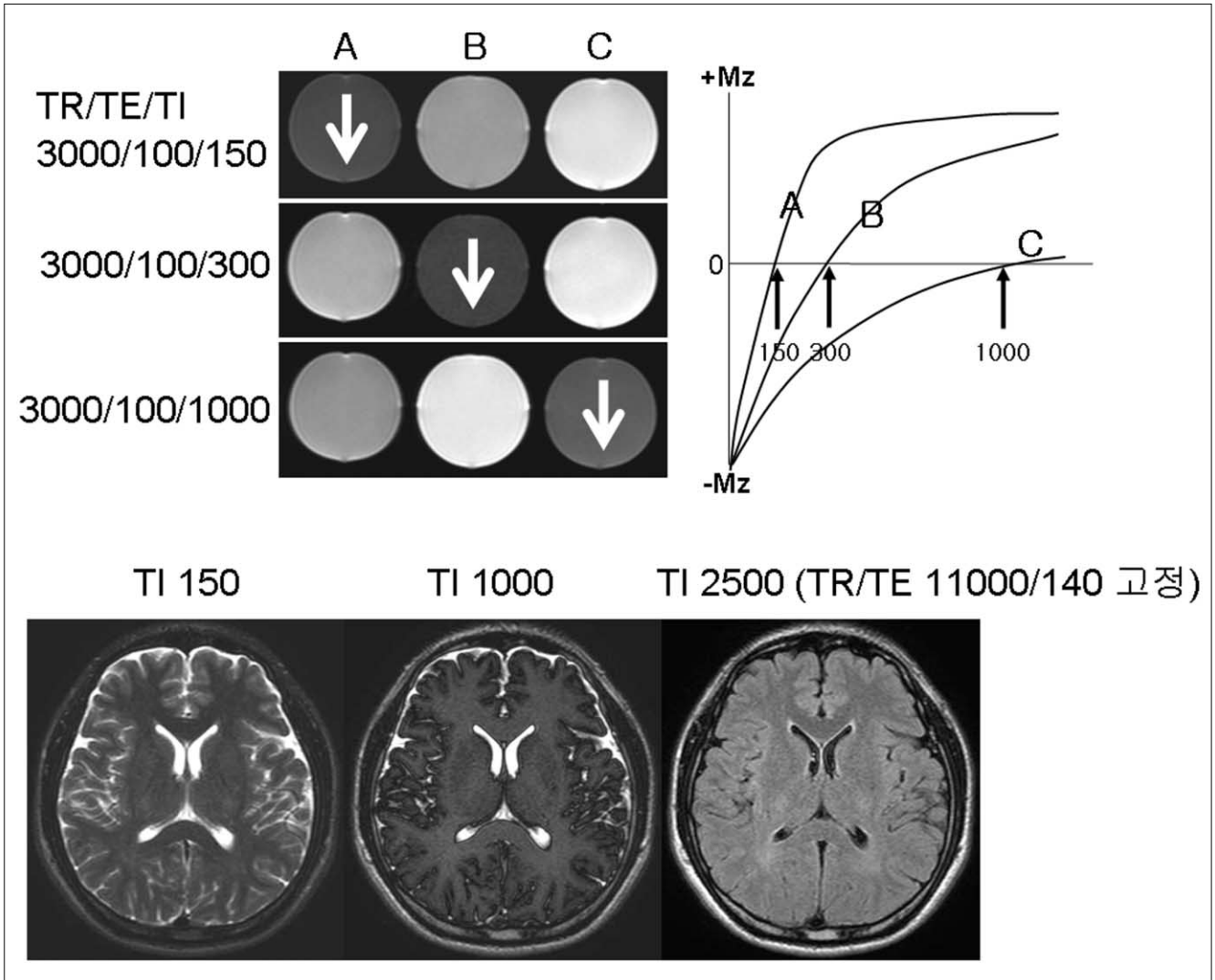


그림 5. 다양한 TI(반전시간)에 따른 조직 억제.
 A, B, C는 증류수에 MR 조영제를 섞어 만든 팬텀이다. 180도 펄스 후 T1 이완은 농도가 가장 높은 A가 가장 빠르고, B는 중간이며, C가 가장 느리다. 따라서 반전시간은 A가 가장 짧고, C가 가장 길게 된다. 팬텀 영상을 통해 반전시간을 조절하면 원하는 팬텀의 신호를 억제할 수 있음을 알 수 있다. 뇌 영상에서 TI 150 ms에서는 지방 신호가, TI 1000 ms에서는 회질 신호가, TI 2500 ms에서는 뇌척수액의 신호가 억제됨을 알 수 있다.

를 이용한다. 긴 TR로 조직의 T1이완 차이를 억제시키고, 긴 TE로는 조직의 T2이완 차이를 증강시킨다. FLAIR는 180도 반전펄스를 가한 후 일어나는 T1이완 과정에서 중축자기화가 제로가 되는 시점, 즉 반전시간이 조직마다 다른 점을 이용한다. FLAIR는 뇌척수액의 신호를 억제시키는 기법이므로 약 2500 msec의 반전시간을 적용한다.

감사의 글

팬텀 영상 촬영을 도와 준 분당서울대학교병원 MRI실의 홍성우 선생님께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 자기공명영상학, 대한자기공명의과학회, 일조각, 2008
2. Elster AD, Burdette JH. Questions and answers in magnetic resonance imaging, 2nd ed. St. Louis: Mosby, 2001
3. Stark DD, Bradely WG, Magnetic resonance imaging, 2nd ed. St. Louis: Mosby-Year Book, 1992
4. Westbrook C, Roth CK, Talbot J. MRI in practice, 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005
5. Hajnal JV, Bryant DJ, Kasuboski L, et al. Use of fluid attenuated inversion recovery (FLAIR) pulse sequences in MRI of the brain. J Comput Assist Tomogr. 1992;16:841-844

T1-, T2-weighted, and FLAIR Imaging: Clinical Application

Jae Hyoung Kim

¹Department of Radiology, Seoul National University Bundang Hospital

T1-, and T2-weighted imagings and FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) imaging are fundamental imaging methods in the brain. T1-weighted imaging is a spin-echo sequence with short TR and short TE and produces the tissue contrast by different T1 relaxation times. In other words, short TR maximizes the difference of the longitudinal magnetization recovery between the tissues. T2-weighted imaging is a spin-echo sequence with long TR and long TE and produces the tissue contrast by different T2 relaxation times. Long TE maximizes the difference of the transverse magnetization decay between the tissues. FLAIR is an inversion recovery sequence using 180 degree inversion pulse. 2500 msec of inversion time is applied to suppress the CSF signal.

Index words : Spin-echo image
FLAIR image

Address reprint requests to : Jae Hyoung Kim, M.D., Department of Radiology, Seoul National University Bundang Hospital
300 Gumi-dong, Bundang-gu, Seongnam-si 463-707, Korea
Tel. 82-31-787-7602 Fax. 82-31-787-4011 E-mail: jaehkim@snu.ac.kr