

Fast MRI in the Musculoskeletal System

경희의대 방사선과학교실

류 경 남

자기공명영상의 뛰어난 대조도와 다면 영상은 근골격계의 영상에 적합하며 coil, gradient hardware 및 pulse sequences의 많은 발전은 영상의 질과 진단율을 향상시키고 지방억제 기법이 많이 적용되어 골수 이상의 평가에 많은 도움이 되고 있다. 또한 fast T2 강조 spin-echo (SE) 영상의 이용으로 환자의 움직임에 의한 영향을 감소시켜 T2 강조영상의 질을 향상시켰으며 빠른 속도의 영상기법은 관절의 움직임을 영상화할 수 있어 관절사이의 이상을 진단할 수도 있다. Gradient의 강도와 속도의 향상은 작은 영상범위가 가능한 신호대잡음비 (signal-to-noise ratios)를 제공하는 coil의 발달과 함께 고해상도의 영상을 가능하게 한다.

새로운 pulse sequences는 영상대조도 (image contrast)의 추가 조작을 가능하게 하는 mobile proton과 restricted proton 사이에 자화전이 (magnetization transfer)를 할 수 있게 해준다. 기본적인 자기공명영상에서 magic-angle 현상의 이해는 tendonitis와 tendon rupture의 평가에 있어 tendon orientation의 중요성을 강조해 주는 것이다. 그러나 이러한 새로이 발달된 기법은 임상적으로 경험의 필요하며 또한 여러 pitfalls에 대한 이해를 필요로 한다.

Fast Spin-Echo

빠른 T2 강조영상을 위한 노력은 많이 이용되고 있는 fast SE sequence를 포함한 다양한 기술적 향상을 가져왔다. 과거에 T2 강조영상의 변형으로 T2*강조, partial flip angle, gradient echo 영상을 사용하였으나 감수성인공음영 (susceptibility artifacts)과 제한된 연부조직의 대조도 등의 단점이 있었다. Fast SE 영상은 고식적인 SE 영상에 비해 시간을 단축시키는 장점이 있다. 그러나 fast SE에서의 조직의 대조도는 고식적인 SE 보다 좋지 않을 수 있어 tendon 내의 대조도 분해능의 감소를 초래할 수 있다. 이와 함께 bursa 주위에 지방이 있을 때 지방에 의한 고신호강도가 남아 있어 subacromial-subdeltoid bursa에 있는 액체와 혼동될 수도 있다. 이러한 경우에는 fast SE와 함께 지방억제기법을 추가하면 도움이 된다.

Fast SE는 짧은 시간에 고식적인 SE 영상과 유사한 영상을 얻을 수 있기 때문에 이러한 시간적인 여유로 환자처리를 빨리 할 수 있거나 영상의 행렬수 (matrix number)의 증가로 공간분해능을 향상시키거나, 또는 신호평균 (signal averaging)의 수의 증가로 신호대잡음비를 향상시킬 수 있다.

SE-T2 강조영상에서 골수나 피하조직의 병적소견의 발견은 고신호강도의 수분과 비교적 저신호강도의 지방사이의 대조도에 의존하는데 fast SE-T2 강조영상에서는 지방과 물이 거의 동일한 신호강도를 보이므로 골수와 피하조직의 평가시 fast SE와 함께 지방억제기법이 시행되어야 한다.

Fast SE 양성자밀도 영상에서는 blurring이 echo train lengths (ETLs)을 증가시키면서 더 현저해지기 때문에 고해상도의 영상을 위해서는 짧은 ETLs가 사용되어야 한다. 이러한 blurring은 T2 강조영상에서는 덜 나타난다.

Phase-encoding 방향의 잡음도 fast SE 영상에서 크다. 그러나 신호대잡음비의 감소는 전체 영상의 질에 주목할 만한 영향을 미치지 않는데 이는 transmit-receive coils이 매우 높은 신호대잡음비치를 가지기 때문이다.

고식적인 dual-echo sequences와 달리 dual-echo fast SE sequences는 두 배의 시간이 필요한데 이는 short TE 영상을 위해 echo train의 처음 절반을 사용하고 long TE 영상을 위해 후반의 절반을 사용하기 때문이다. 또 다른 단점은 ETLs가 증가할수록 얻을 수 있는 절편의 수가 감소한다는 점이다.

Fat-Suppression Techniques

가장 흔히 사용되는 방법은 주파수선택 전포화방법 (frequency-selective presaturation)이다. 그러나 국소적인 자장불균일이 ankle, craniocervical junction이나 공기 또는 금속주위에서 생길 수 있다. 이러한 소견은 fast SE T2 강조영상에서 골수내에 외상, 감염 또는 종양과 유사한 증가된 신호강도를 보일 수 있다. 또한 반대로 지방억제의 실패 뿐만 아니라 부종이나 수분이 고인 부위를 가릴 수 있는 water peak의 포화를 초래하기도 한다.

위상대조방법 (phase-contrast methods)은 화학적변위 현상 (chemical shift phenomenon)에 기초한 것으로 SE 영상에서 지방과 수분사이의 위상차이를 이용한다. 이 방법은 시간이 더 걸리고 환자의 움직임에 민감하나 더 균일한 지방억제를 제공할 수 있다. 화학적변위 기법을 이용한 영상은 STIR (Short Tau Inversion Recovery)와 비교해 gadolinium의 사용에 적합하다.

STIR 영상에서 지방은 화학적변위 현상보다는 빠른 T1 회복에 따라 억제되므로 영역의 불균질성에 훨씬 영향을 덜 받는다. STIR는 echo를 얻기 위해 gradient 역전 대신에 180° 고주파펄스를 사용하기 때문에 해면골 (cancellous bone)에서 현저한 T2* 효과에 의해 영향받지 않으며 골수나 근육의 미미한 변화를 알 수 있는 가장 민감한 sequence이다. 이것은 강력한 지방억제에 의한 것 뿐만 아니라 부종이나 수분과 같은 물질의 slow T1 recovery와 slow T2 decay가 관여한다. 골수병변의 진단에 있어 STIR의 민감도 증가는 영상시간의 증가, 낮은 공간분해능 (poor spatial resolution), 절편 수 감소에 의한 영상범위의 감소 및 Gd-DTPA의 적용이 안되는 단점을 초래한다 (Gd-DTPA는 T1 relaxation을 단축시킨다). 높은 공간분해능은 미만성 골수 변화를 진단시 중요하지는 않으나 골절선 등을 보는 데는 미흡할 수 있다. 자장균일성에 심한 영향을 받지 않는 고관절과 같은 부위에서는 지방포화와 함께 얻은 fast SE가 높은 공간분해능과 함께 골수 및 연부조직 부종에 민감한 영상을 얻을 수 있다.

Gradient-Echo Imaging

GE sequences는 수분과 같은 long T2 relaxation의 물질이 밝게 보이는 영상을 빨리 얻을 수 있는 방법이다. 이는 순수 T2 강조보다는 T2* 강조이기 때문에 자장불균일에 민감하다. 해면골과 골수의 자장 감수성의 차이에 의해 이들 조직 사이에 국소적인 자장불균일성이 발생하며 자장선이 일그러지고 신호의 소실이 생기기도 한다. GE sequences는 골수의 부종이나 종양에 의한 침윤에 민감하지 않기 때문에 골수의 이상이 의심될 때에는 STIR나 SE sequence를 이용해야 한

다. 그러나 예외가 있는데 해면골의 파괴를 동반하는 골수질환이다. 이러한 병변은 감수성 인공 음영을 감소시켜 국소적인 골파괴 병변을 잘 보이게 해준다. 감수성 인공음영의 변화는 골다공증 환자에서 해면골의 손실을 정량화하는데 사용될 수 있다.

GE imaging의 또 다른 문제점은 대부분의 sequence에서 연부조직의 대조도가 부족하다는 점이며 TE가 짧기 때문에 tendonitis나 tendon rupture와 유사하게 보일 수 있는 magic-angle 현상을 피할 수 없다는 점이다. 다양한 spoiled sequences와 dual echo techniques을 이용하면 이러한 단점을 보상하는데 사용될 수 있다.

References

1. Jaramillo D, Laor T, Mulkern RV. Comparison between fast spin-echo and conventional spin-echo imaging of normal and abnormal musculoskeletal structures in children and young adults. *Invest Radiol* 1994;29:803-811
2. Vahlensieck M, Lang P, Seelos K, Yang-Ho Sze D, Grampp S, Reiser M. Musculoskeletal MR imaging:turbo(fast) spin-echo versus conventional spin-echo and gradient-echo imaging at 0.5 tesla. *Skeletal Radiol* 1994;23:607-610
3. Arndt WF, Truax AL, Barnett FM, Simmons GE, Brown DC. MR diagnosis of bone contusions of the knee:comparison of coronal T2-weighted fast spin-echo with fat saturation and fast spin-echo STIR images with conventional STIR images. *AJR* 1996;166:119-124
4. Tuite MJ, De Smet AA, Norris MA, Orwin JF. Anteroinferior tears of the glenoid labrum:fat-suppressed fast spin-echo T2 versus gradient-recalled echo MR images. *Skeletal Radiol* 1997;26:293-297
5. Carrino JA, McCauley TR, Katz LD, Smith RC, Lange RC. Rotator cuff: evaluation with fast spin-echo versus conventional spin-echo MR imaging. *Radiology* 1997;202:533-539