

Fast MR Imaging in the Heart and Aorta

울산의대 방사선과학교실

임 태 환

심장과 대동맥의 MR imaging은 최근 고속 영상법들의 도입으로 새로운 전기를 맞고 있으며, 심장영상의 영상 시 기본적인 해부학적 정보를 얻는 데 있어서는 fast spin-echo 영상법을 이용한 호흡정지 심전도 동기화 ECG-(gated) T1- 혹은 T2-강조 영상이 각광을 받고 있으며, 또한 turbo-FLASH 영상법을 이용한 심근 관류영상(perfusion imaging)이 심근 허혈 및 경색의 진단 및 평가에 있어 많은 기대를 모으고 있다. 이외에도 MR imaging의 임상 도입 이후부터 꾸준히 연구 개발되어온 cine MR imaging도 그 영상 해상도가 좋아지고 심전도 동기화 기법이 안정적으로 발전됨에 따라 심장기능의 정량화 연구에 있어서는 "gold standard"로 인정받고 있다.

대동맥의 MR imaging에 있어서는 그동안 기본적으로 spin-echo 영상법이 주류를 이루어 왔으나, 최근에 도입된 3-D FISP (fast imaging with steady-state precession) 영상법은 탁월한 3 차원적 영상 데이터를 제공할 수 있을 뿐 아니라 그 영상 시간이 매우 짧기 때문에 복잡한 대동맥 질환의 진단에 있어서 최우선적으로 선택되는 영상법으로 인정되고 있다.

본 강좌에서는 심장 및 대동맥의 MR imaging에 있어서 최근 활발히 이용되고 있는 이상 몇 가지의 fast imaging techniques의 특징을 살펴보고 그 임상 이용에 관하여 언급하고자 한다.

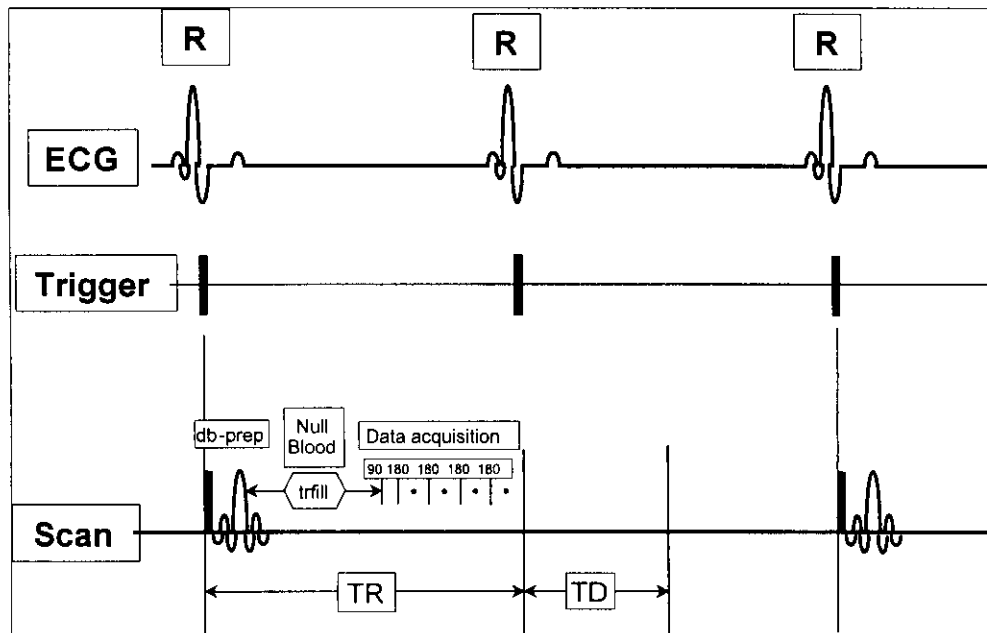


Figure 1. Pulse diagram of breath-hold ECG-gated turbo-spin-echo MR imaging. Pulse sequence is triggered at every other R wave (R). db-prep: dark blood preparation pulse composed of non-selective and selective 180° pulses, TR: repetition time, TD: time delay, trfill: TR filling

1. ECG-gated breath-hold spin-echo MR imaging

본 영상법은 기본적으로는 spin-echo imaging의 영상특성을 갖고 있으나 영상획득 시간이 매우 짧아서 약 10초 이내의 호흡정지 시간내에 심전도에 동기된 T1- 혹은 T2-강조 영상을 얻을 수 있고, 기존의 spin-echo 영상법에 비하여 motion artifact를 대폭으로 감소시킨 양질의 영상을 얻을 수 있다는 큰 장점을 가지고 있으므로 최근에는 심장영상에서 최우선적으로 시행하고 있는 영상법이다.

본 영상법을 이용하여 T2-강조 심장영상을 얻을 경우 그림 1에서 보는 바와 같이 pulse sequence는 TD (time delay)를 약 500 msec 정도로 주어서 매 격 (every other) R-wave에 동기화하게 유도하여 T2 강조에 충분한 TR값을 확보한다. 이때 한번의 data acquisition 때마다 k-space 상 33 phase encoding line을 채우게 되므로 한 slice image의 형성을 위해 필요한 165 phase encoding line을 완성하기 위해서는 5번의 acquisition pulse가 필요하게 된다. 따라서 한 slice의 image data를 얻는데 10번의 R-wave가 요구되는데, 여기에 phase correction을 위해 2번의 R-R 기간을 소요하므로 전체적으로는 한 slice의 image를 얻는데 12 heart beats, 즉 약 10초 정도의 시간이 필요하게 되는 것이다. T1-강조 영상은 T2-강조 영상과 기본적으로 동일한데, 다만, time delay를 0 msec로 하여 매 cardiac beat 마다 gating 시킴으로써 effective TR을 감소시키고 TE를 줄여줌으로써 T1 강조 효과를 얻게 되는 것이다.

2. First-pass perfusion MR imaging

심근 허혈 및 경색의 진단에 있어서 심근 관류상태를 정확히 평가하는 것이 매우 중요한데 이제까지는 thallium을 이용하는 핵의학적 심근관류 검사가 주로 이용되어 왔다. 그러나 최근 turbo-FLASH (fast low angle shot), EPI 등 매 심박동마다 영상을 얻을 수 있는 초고속 MR 영상법들이 개발됨에 따라 이를 이용한 심근관류의 평가가 가능해 졌다. MRI로 심근관류 영상을 얻을 때는 paramagnetic contrast agent (Gd-DTPA 등)를 일시에 (bolus) 정맥주사한 뒤 그 조영제의 심근 내로의 관류 (perfusion) 상태를 매 (every) R-wave에 동기된 turbo-FLASH 영상으로 관찰하게 된다.

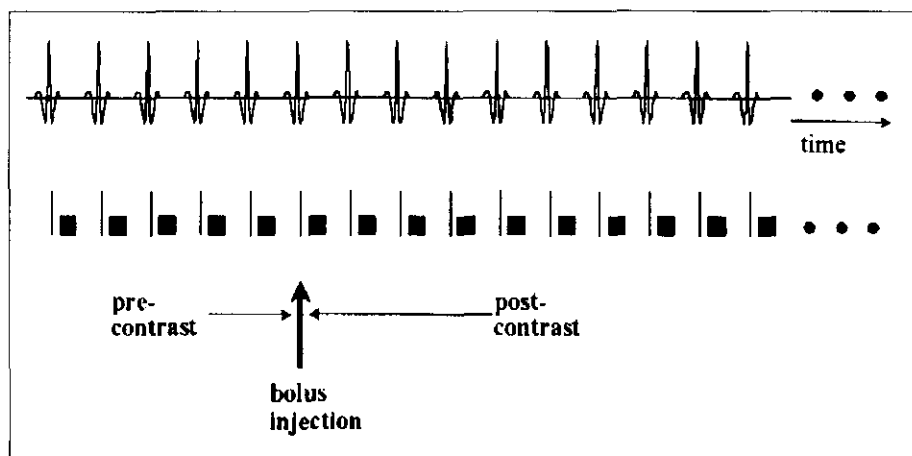


Figure 2. Pulse diagram of turboFLASH MR technique for myocardial perfusion imaging. Images are obtained consecutively at the same location on order to assess the change in SI before and after contrast injection.

그림 2에서 보이는 바와 같이 본 영상법은 매 cardiac beat 마다 영상을 얻게 되는 문자 그대로의 sub-second imaging technique으로서 심근의 관류상태를 time-intensity curve로 나타내 줄 수 있는 등 임상에서의 이용에 큰 기대를 걸게 하고 있으나, 아직은 영상의 질이 대단히 만족스럽지는 못하다는 문제점이 남아있다. 현재 서울중앙병원에서 사용중인 심근 관류영상을 위한 turbo-FLASH pulse sequence의 주요 parameter는 다음과 같다. TR: 3.3 msec, TE: 1.4 msec, Flip angle: 10° , Slice number: single, N_{freq}/N_{phase} : 128/80, Option: ECG gating, Acquisition time: subsecond.

3. Cardiac Cine MR Imaging

Cardiac cine MR imaging에는 일반적인 gradient echo technique이 사용되며, 동시에 여러 단면의 cine imaging을 얻을 수도 있고, 호흡정지 영상법으로 motion artifact를 줄이고자 할 때는 한 단면씩의 영상을 얻게 된다. 또한 grid pulse를 이용함으로써 myocardial tagging 영상을 얻기도 하는데, 이는 심근의 수축력을 보다 객관적으로 계량화하는데 사용된다.

현재 서울중앙병원에서 사용중인 non-breath-hold multislice cine MR imaging을 위한 parameter는 TR: 30 msec, TE: 4.8 msec, Flip angle: 30° , N_{freq}/N_{phase} : 256/132, Option: ECG gating, Acquisition time: 5 min 이며; breath-hold single slice cine MR imaging을 위한 parameter는 TR: 100 msec, TE: 4.8 msec, Flip angle: 20° , N_{freq}/N_{phase} : 256/126, Option: ECG gating, Acquisition time: 10 sec 이다.

4. 3D FISP Technique for MR Angiography of the Aorta

Aortic MRA를 위한 pulse sequence로는 기본적으로 3D FISP (fast imaging with steady-state precession)이 사용된다. 이 방법을 이용하는 경우 약 20초 내외의 시간내에 field-of-view 약 40 cm에 해당하는 영역의 대동맥조영 영상을 3차원적으로 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 얻어진 영상의 대조도와 공간분해능이 뛰어나기 때문에 aortic dissection, aortic aneurysm, aortic intramural hematoma, penetrating atherosclerotic ulcer of the aorta 등의 진단에 가장 널리 이용되고 있는 영상법이며, 경우에 따라서는 기존의 conventional spin-echo imaging을 생략하고도 짧은 시간내에 정확한 진단에 필요한 정보를 제공할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다.

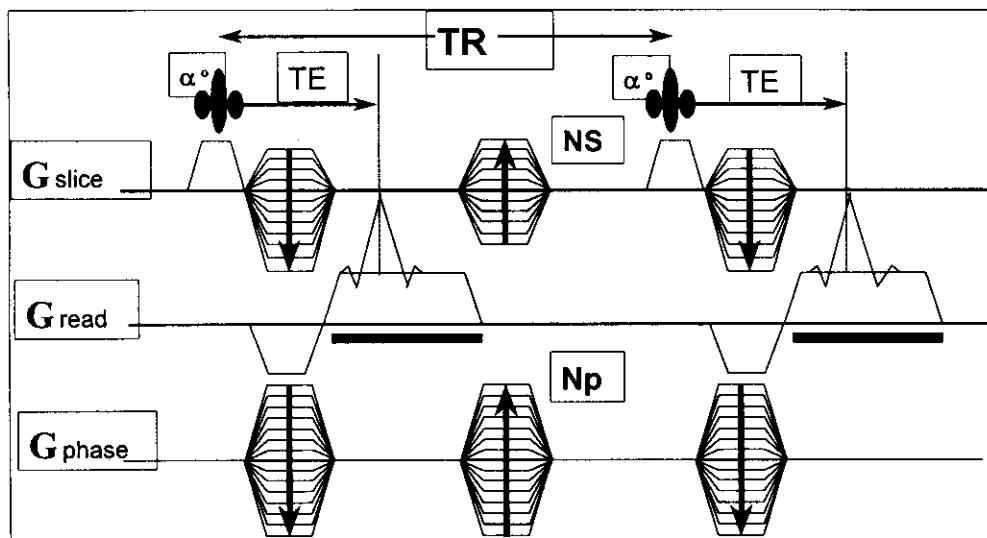


Figure 3. Pulse diagram of 3D FISP imaging for contrast enhanced MRA of the aorta. For 3D data acquisition, phase encoding is applied into the slice selection direction as well as into the phase encoding direction.

그림 3에서 보는 바와 같이 3D FISP 영상시에는 25° flip angle을 얻기 위한 RF pulse를 준 뒤 slice selection G(slice)방향과 phase encoding 방향 G phase으로 동시에 phase encoding gradient를 걸어주고 곧 이어서 read-out gradient를 걸어 data acquisition을 하게 된다. Data를 acquisition 한 후에는 slice selection 방향과 phase encoding 방향으로 다시 역 방향의 phase encoding gradient를 걸어줌으로써 앞에 걸려 있던 gradient의 영향을 상쇄시켜 주게 된다. 서울중앙병원에서 현재 사용중인 대동맥의 3D MRA를 위한 typical pulse sequence parameter는 다음과 같다. TR: 4.2 msec, TE: 1.7 msec, Slice thickness: 3 mm, Slab thickness: 96 mm, Number of partition: 32, $N_{\text{req}}/N_{\text{phase}}$: 256/125, Imaging orientation: Arch view (oblique sagittal).

SUGGESTED FURTHER READINGS

Breath-hold T2 weighted SE MR imaging

1. Fisher MR, McNamara MR, Higgins CB. Acute myocardial infarction: MR evaluation in 29 patients. *AJR* 1987;148:247-251.
2. Scholz TD, Martins FB, Skorton DJ. NMR relaxation time in acute myocardial infarction: relative influence of changes in tissue water and fat content. *Magn Reson Imaging* 1992;23:89-95.
3. Simeonetti OP, Laub G, Finn JP. Breath-hold T2-weighted imaging of the heart with turbo spin-echo. *Proceedings of the 2nd annual meeting of the Society of Magnetic Resonance*. San Francisco: Society of Magnetic Resonance 1994:1499.
4. Lim TH, Hong MK, Lee JS, et al. Novel application of breath-hold turbo spin-echo T2 MRI for detection of acute myocardial infarction. *JMRI* 1997;7:996-1001.

Myocardial perfusion MR imaging

1. Atkinson DJ, Burstein D, Edelman RR. First-pass cardiac perfusion: evaluation with ultrafast MR imaging. *Radiology* 1990;174:757-762.
2. van Ruggie FP, Borrel JJ, van der Wall EE, et al. Cardiac first-pass and myocardial perfusion in normal subjects assessed by subsecond Gd-DTPA enhanced MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1991;15(6):959-965.
3. Manning WJ, Atkinson DJ, Grossman W, Paulin S, Edelman RR. First-pass nuclear magnetic resonance imaging studies using gadolinium-DTPA in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1991;18:959-965.
4. Wilke N, Simm C, Zhang J, et al. Contrast-enhanced first pass myocardial perfusion imaging: correlation between myocardial blood flow in dogs at rest and during hyperemia. *Magn Reson Med* 1993;29:485-497.
5. Edelman RR, Li W. Contrast-enhanced echo-planar MR imaging of myocardial perfusion: preliminary study in humans. *Radiology* 1994;190:771-777.
6. Hartnell G, Cerel A, Kamalesh M, et al. Detection of myocardial ischemia: value of combined myocardial perfusion and cineangiographic MR imaging. *AJR* 1994;163:1061-1067.
7. Wilke N, Jerosch-Herold M, Stillman AE, et al. Concepts of myocardial perfusion imaging in magnetic resonance imaging. *Magn Reson Q* 1994;10:249-286.
8. Wilke N, Kroll K, Merkle H, et al. Regional myocardial blood volume and flow: first-pass MR imaging with polylysine-Gd-DTPA. *JMRI* 1995;5:227-237.

Cine MR imaging for assessment of myocardial wall motion and contractility

1. Lim TH, Auffermann W, Higgins CB. Cine MR imaging: current use in cardiac diagnosis. 대한 방사선의학회지 1988;24:584-593.
2. Auffermann W, Wagner S, Holt W, et al. Noninvasive determination of left ventricular output and wall stress in volume overload and in myocardial disease by cine magnetic resonance imaging. Am Heart J 1991;121:1750-1758.
3. Holman ER, Vliegen HW, van der Geest RJ, et al. Quantitative analysis of regional left ventricular function after myocardial infarction in the pig assessed with cine magnetic resonance imaging. Magn Res Med 1995;34:161-169.
4. McVeigh ER, Atalar E. Cardiac tagging with breath-hold cine MRI. Magn Res Med 1992;28:318-327.
5. Tang C, McVeigh ER, Zerhouni EA. Multi-shot EPI for improvement of myocardial tag contrast: comparison with segmented SPGR. Magn Res Med 1995;33:443-447.
6. ODell WG, Moore CC, Hunter WC, Zerhouni EA, McVeigh ER. Three-dimensional myocardial deformations: calculation with displacement field fitting to tagged MR images. Radiology 1995;195:829-835.

MRA of the Aorta using 3D FISP Technique

1. Prince MR. Gadolinium-enhanced MR angiography. Radiology 1994;191:155-164.
2. Prince MR, Narasimham DL, Stanley JC, et al. Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its major branches. Radiology 1995;197:785-792.
3. Shetty AN, Shirkhoda A, Bis KG, Alcantara A. Contrast-enhanced three-dimensional MR angiography in a single breath-hold: a novel technique. AJR 1995;165:1290-1292.
4. Earls JP, Rofsky NM, DeCorato DR, Krinsky GA, Weinreb JC. Breath-hold single-dose gadolinium-enhanced three dimensional MR angiography: usefulness of a timing examination and MR power injector. Radiology 1996;201:705-710.
5. Hany TF, McKinnon GC, Leun DA, Pfammatter T, Debatin JF. Optimization of contrast timing for breath-hold three-dimensional MR angiography. JMRI 1997;7:551-556.