

Fast MRI in the Liver

울산의대 방사선과학교실

이 문 규

1. 서론

(1) Liver MR Imaging의 Early Experience

초기의 MR 영상은 다음의 요인들로 인하여 꽤 실망적인 결과를 보였다. 즉, poor tissue contrast, physiologic motion에 따른 artifact에 의한 심한 image degradation, 그리고 long scan time 등이 그 이유들이다 (1).

이후 지난 10년 동안 이 분야의 MR 영상은 괄목할 만한 발전이 있었는데 우선, scanner hardware에서는 high performance gradient coil 및 body coil design (esp., phased array multicoil)의 향상이 그것이고 software 분야에서는 fast imaging techniques, motion artifact suppression, 더 강한 T1 및 T2-weighting sequence등에서 진전이 있었다. 이런 여러 영상 기술의 발전에 힘입어 肝의 국소병변 (focal liver lesion)의 발견 (lesion detection) 및 국소병변의 정확한 특성화 (lesion characterization)에 강력한 진단력을 발휘하고 있으며 아울러, MR angiography (2,3)나 MR cholangiopancreatography (4,5) 등과 같은 비침습적인 검사도 가능하게 되었다.

이러한 hard- 및 software의 발전으로 인한 fast MR imaging의 진전에 따라 자기공명 조영제를 사용하는 dynamic scanning이 가능하게 되어 lesion detection 및 characterization에 一助를 더하게 되었다. 문헌에 보고된 contrast-enhanced MR imaging은 gadolinium chelates를 이용한 것이 대부분이지만, 현재 활발하게 진행되는 몇 가지 tissue-specific 조영제도 liver MR imaging의 진단력을 더욱 높여 줄 것으로 사료된다.

(2) Fast MR Liver Imaging

1980년대 중반에 임상적으로 적용되기 시작한 초기 MR imaging은 basic researchers나 임상 의가 사용할 수 있는 아주 긴요한 무기였지만 검사경비가 비싸고, time-consuming 하는 장비였고, 특히 지난 1990년 중반 이전까지는 영상 처리속도도 빠르지 못하였다. 더구나, 이 기술이 개발된 1950년부터 20여년간은 fast-moving function보다는 주로 움직이는 않는 biologic structure에 대한 연구가 진행되었다. 그러나 high-performance data acquisition 기술개발 덕택으로 T2 영상기법의 영상획득 시간이 과거의 수분 대에서 20초 미만이 소요될 정도로 가속화 되게 되었다 (6, 7).

High performance gradient coil은 rapid switching, high amplitude gradients 및 short rise time을 제공할 수 있어서 fast scanning technique들을 증대시켰으며 따라서 shorter TEs, faster gradient-recalled echo (GRE) 및 faster turbo / fast spin-echo (TSE / FSE) 기법의 사용이 가능하게 되었다.

MR imaging은 주로 증상이 있는 환자군에서 시행되며 병변의 발견과 일단 발견된 병변이 양성인지 악성인지에 대한 구별에 주안점을 두고 있다. 그러나, patient through-put, 검사 비용을 염두에 둔 cost-benefit effect를 감안할 때 같은 검사시간내에 더 많은 환자를 처리해야 한다는 점에서 fast MR 기법의 요구는 더욱 필요하게 되었다.

2. Fast MR Liver Imaging 펄스 기법

(1) 기존의 Spin-Echo Sequences:

기존에 사용되어 왔던 dual-echo spin-echo 기법은 contrast-to-noise ratio가 우수하여 병변 발견에는 좋은 장점이 있으며 (8), 이 기법을 이용하여 T1 영상, Proton density영상 및 T2영상들을 얻게 된다. 그러나 검사 시간이 8분 내지 10여분간 소요된다는 큰 단점으로 인하여 설혹 약간 낮은 contrast-to-noise ratio의 penalty를 감수하고라도 hybrid RARE {TSE / FSE 및 half-Fourier RARE (HASTE / SSFSE) } 기법으로 대체하는 추세이다.

(2) TSE / FSE Sequences:

FSE 기법은 한번의 90도 펄스 후에 여러 번의 (8번 이상) refocusing pulse를 반복하는 phase-encoding steps를 거치므로 영상획득 시간의 단축효과를 주게 되었다 (3-5분). 또한, contrast-to-noise ratio가 conventional spin-echo 기법에 비하여 크게 떨어지지 않아서 비슷한 영상의 질을 나타내게 되었으며 (9), 더구나 근자에 보고되는 많은 논문은 오히려 FSE의 contrast-to-noise ratio가 conventional spin-echo보다 낮다고 발표되고 있다.

그러나 이 기법은 fat signal이 강하게 나오는 단점과 이 피하지방에 의한 motion artifact가 문제이므로 fat saturation등과 같은 fat suppression technique을 추가로 필요하게 된다. 이외에도 motion artifact를 줄여 영상의 질을 높이기 위하여 respiratory-ordered phase encoding (respiratory compensation) (10)이나 respiratory-triggered phase-reordering algorithm (11) 등이나 肝内の 작은 혈류에 의한 artifact를 줄이기 위하여 gradient moment nulling (flow compensation) (12,13) 등과 같은 부수적인 인공물 억제방법들을 사용한다. 그러나, 이런 간내의 혈류에 의한 artifact의 억제는 high-field strength에서는 더 어려우며 더구나 요즘과 같이 1.5 T 영상기기가 점점 보편화되고 있는 현실에서는 이 motion artifact를 줄이는 것이 쉽지 않다는 점에서 기술개발 상의 어려움이 따른다.

이런 FSE 기법은 이론적으로 혹은 경험적으로 lesion-liver contrast가 떨어지는 단점이 있는데 이는 아마도 echo train length와 관련이 있는 것으로 생각된다. 간내의 작은 크기의 국소병변이 발견될 때 양성 혹은 악성에 대한 감별에서 이 점은 문제가 될 수 있겠다.

참고로, MR 영상에서 발생하는 motion artifact를 줄이는 방법으로써 다음과 같은 것이 있다.

Respiratory-ordered phase encoding

Cardiac gating

Presaturation and gradient moment nulling (flow compensation)

Fat-suppression techniques (14, 15): subcutaneous 및 intraabdominal fat에서 발생하는 bright signal을 약화시키고 동시에 subcutaneous fat으로 인하여 발생하는 motion artifact를 감소시킨다.

(3) GRE Sequences:

Fast MR 기법의 개발로 인하여 영상획득 시간이 감소하게 되어 일회의 호흡중지로 전체 간에 대한 영상을 얻을 수 있게끔 되었고, 아울러 motion artifact의 영향도 감소하게 되었다. 임상적으로 많이 사용하는 GRE 방식들은 다음과 같다.

(가) Spoiled GRASS (GE) or FLASH (Siemens):

(나) Fast multiplanar Spoiled GRASS (FMPSPGR; GE) or Turbo FLASH (Siemens):

위의 두 영상방법들은 gadopentetate dimeglumine 주입 후 dynamic MR 영상을 얻는 데 사용되며 한번의 호흡중지로서 전체 간 부위를 검사하고 또한 반복 검사를 가능하게 하였다. 이러한, dynamic MR 영상의 덕택으로 한번의 조영제의 주입으로 여러 vascular phase에서 국소병변의 perfusion characteristics을 분석하고 진단할 수 있게 되었다.

(다) Chemical shift imaging (or in-phase / out-of-phase imaging)

Water proton과 lipid proton은 서로 다른 frequency로 세차운동을 하는 데 검사에 적용된 TE 값에 따라 lipid proton이 in-phase나 out-of-phase에 놓이게 된다. 따라서 이 영상기법은 병변내의 lipid content를 확인하는 데 유용하다. 이 방법은 lipid proton signal이 실제로 negative signal로 나타나고, field inhomogeneity에 민감하지 않아서 fat saturation 방법보다 fat suppression에 더 효과적이다 (16).

(4) Newly Developed Fast Liver MR Pulse Sequences

(가) Half-Fourier RARE Sequence: HASTE or single-shot FSE

A high-speed single-shot fast spin-echo 기법으로서 phase encoding 방향으로 k-space data의 과반수 이상을 얻어 heavily T2 영상을 제공함으로써 기존의 fast spin-echo 기법이 일회 호흡정지로서 전체 간의 영상을 얻을 수 없었던 단점을 보완할 수 있다 (17). 이 기법은 echo time만으로 보면 종래의 fast spin-echo에 비하여 더 T2 강조 효과를 내지는 못하나 128개 정도의 긴 echo train length로 인하여 long T2를 갖는 조직의 신호를 강하게 나타낸다. 따라서, water-rich lesion에 대해 아주 강한 signal intensity를 나타내어 간낭종이나 간혈관종의 진단에 우수하다 (9, 18, 19). 이 기법은 contrast-to-noise ratio가 높고 실제로 motion artifact가 거의 없다는 장점이 있다.

(나) Echo-planar Imaging:

HASTE 기법과 마찬가지로 종래의 비호흡정지 fast spin-echo에 비하여 더 신속한 영상기법의 하나로 출현되었다. Echo-planar imaging 역시 HASTE 와 유사하게 lesions conspicuity (high CNR)가 높고 motion artifact가 적으며 extrahepatic structure가 비교적 잘 나타난다는 장점이 있다 (20). 그러나 초기의 선풍적인 기대 - 즉 모든 영상기법이 이 기법으로 대체될 수 있을 것이라는 예상이나 ultrafast MR이라고 명칭하였던 것 만큼의 신속한 영상획득 시간에 대한 기대는 아직 요원하지만 뇌신경계나 간의 영상에서 functional MR이나 diffusion-weighted MR에 대한 정보를 알 수 있어서 앞으로의 귀추가 계속 주목된다.

(다) 기타

Diffusion-weighted Imaging

Respiratory-triggered Fast Spin-echo Sequence

3. Fast MR Liver Imaging과 Dynamic Spiral CT와의 비교

Dynamic MR이나 CT는 간종양의 hemodynamics를 분석하고 이들 종양간의 감별진단을 하는데 이용된다. 80년 초반에 MR 영상이 임상적으로 적용된 이후 1990년 초반까지 (Spiral CT 도입 전)의 dynamic CT와 MR 영상의 비교 논문은 단연 MR 영상이 병변의 발견에서 우수하였다 (21).

그러나, 이후 faster CT technique이 개발되어 간의 동맥기와 정맥기를 한 검사시간 동안에 동시에 볼 수 있는 dynamic spiral (helical) CT 가 이용되면서 이들 MR 및 CT 두 검사간의 진단력에 대하여 다시 비교 연구가 진행되고 있다. 현재까지는 일부에서 dynamic spiral CT에 대한 우수성을 보고하고 있지만 (22), 대체로 MR 영상 - 특히 조영제의 주입 후에 시행하는 dynamic MR -에 관한 성적들이 우수하다고 보고되고 있다 (23-25). 또한, 지금까지 병변 발견율에 있어서 가장 좋은 검사로 알려져 왔던 CT during arterial portography (CTAP)와의 비교 논문에 따르면 두 검사 간의 진단력에 아직 논란이 있고, 더구나 superparamagnetic iron oxide (SPIO) 등과 같은 liver specific contrast agent에 대한 우수한 성적도 보고되고 있는 실정이다 (25-27).

4. 국소병변의 진단에 있어서의 현황 및 예상

간의 MR imaging에 관해서 굉장히 많은 펄스 기법들이 개발되고 이들의 진단력에 관한 성적들이 많이 보고되고 있다. 따라서, 이를 실제로 적용하기 위한 최적의 영상 protocol들을 결정하는 데 있어서의 문제점으로는 우선, 지속적으로 새로운 영상기법들이 보고되고 있다는 점과, 보고한 병원마다 비교 연구에 사용된 기법들이 서로 다르다는 것이다. 따라서, 아직 세계적으로 합의된 더 나은 protocol을 제시하기에는 많은 어려움이 있다.

더구나, 이러한 새 영상기법 이외에 다양하게 연구-개발되고 있는 MR 조영제를 이용한 진단력에 대한 비교 연구 역시 준비하며, 또한 기존의 CT보다 진단력이 향상된 fast spiral CT와 MR 영상과의 우월성에 대한 비교 연구도 아직 완전히 자리 매김을 못한 상황이다. 이외에도 초음파 분야는 3차원적 영상이나 초음파 조영제의 등장으로 간의 국소병변의 발견과 국소병변의 특성화를 결정하는 데 일익을 담당하고 있으며, 이미 여러 보고에서 그 우수한 진단력이 입증된 intraoperative US (25)에 대해서도 비교 연구가 더욱 필요한 실정에 있다고 하겠다.

따라서 향후 간질환 특히 국소병변에 대한 연구는 사용되는 이들 여러 검사들에 있어서 최적의 영상기법이나 방법들에 대한 분석이 선행되어야 하며 동시에 이들 여러 진단장비들간의 진단력에 대한 성적의 신뢰도가 선별되어야 할 것 같다.

5. 결론

Fast MR imaging의 일반적인 바람은 검사시간의 단축에 있다. 따라서 肝 영상에서는 breath-hold T1 및 T2 영상을 일상적으로 사용하고 있다. 그러나, 동시에 肝의 영상에는 보다 향상된 lesion conspicuity, 적은 motion artifact 및 더 좋은 anatomic structure의 제공을 필요로 하고 있다. 지금의 fast MR imaging은 비록 contrast-to-noise ratio는 높으나 낮은 signal-to-noise ratio와 spatial resolution에 한계가 있으므로, 이를 극복하기 위하여 보다 나은 펄스 기법의 개발과 liver specific contrast agent를 포함한 MR 조영제의 병용 등에 대한 연구가 더욱 진행되어야 할 것이다.

References

1. Laing ADP, Gibson RN. MRI of the liver. *J Magn Reson Imag* 1998;8:337-345.
2. Lee M-G, Jeong YK, Sung KB, et al. Breath-hold contrast-enhanced 3D MR angiography in 19 seconds: value in the assessment of vascular invasion in pancreaticobiliary diseases. *Proceedings of 3rd ISMRM 1997*;P 92.
3. Lee M-G, Shin YM, Jeong YK, et al. Contrast-Enhanced FISP 3D MR angiography in hilar cholangiocarcinoma: comparison with conventional arterial angiography. *Proceedings of ISMRM 1998*;P707.
4. Lee M-G, Lee H-J, Kim MH, et al. Extrahepatic biliary diseases: 3D MR cholangiopancreatography compared with endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Radiology* 1997;202:663-669.
5. Lee M-G, Jeong YK, Kim MH, et al. MR cholangiopancreatography of pancreaticobiliary diseases: value comparing single-slab RARE and multislice HASTE sequences. *Am J Roentgenol* 1998, (in print).
6. Crease RP. Echo-Planar MRI: learning to read minds. *Science* 1993;261:556-558.
7. Tanabe J. Introduction to fast MRI. *Applied Radiology* 1992;supplement:13-17.
8. Lee M-G, Baker ME, Sostman HD, et al. The diagnostic accuracy efficacy of MR in differentiating hepatic hemangiomas from metastatic colorectal or breast carcinoma: a multiple-reader ROC analysis using a Jackknife technique. *J Comput Assist Tomogr* 1996;20:905-913.
9. Lee M-G, Jeong YK, Han DB, Seo DJ, Auh YH, Chien D. Fast MR imaging of focal hepatic lesions: comparison of breath-hold turbo SE, breath-hold HASTE, and breath-hold HASTE STIR versus conventional T2-weighted SE sequence. *Proceedings of ISMRM 1997*;P927.
10. Baiies DR, Gilderdale DJ, Bydder GM, Collins AG, Firmin DN. Respiratory ordered phase encoding (ROPE) method for reducing respiratory motion artifacts in MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1985;9:835-838.
11. Keogan MT, Spritzer CE, Paulson EK, et al. Liver MR imaging: comparison of respiratory triggered fast spin-echo with T2-weighted spin-echo and inversion recovery. *Abdominal Imag* 1996;21:433
12. Felme JP, Ehman RL. Spatial presaturation: a method for suppressing flow artifacts and improving depiction of vascular anatomy in MR imaging. *Radiology* 1987;164:559-564.
13. Pattany PM, Phillips JJ, Chiu LC, et al. Motion artifact suppression technique (MAST) for MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1987;11:369-377.
14. Lee JKT, Heiken JP, Dixon WT. Detection of hepatic metastases by proton spectroscopic imaging: work in progress. *Radiology* 1985;156:429-433.
15. Bydder GM, Steiner RE, Blumgart LH, Khenia S, Young IR. MR imaging of the liver using short TI inversion recovery sequences. *J Comput Assist Tomogr* 1985;9:1084-1089.
16. Mitchell DG. Hepatic imaging: techniques and unique applications of magnetic resonance imaging. *Magn Reson Q* 1993;9:84-112.
17. Coates GG, Borrello JA, McFarland EG, Mirowitz SA, Brown JJ. Hepatic T2-weighted MRI: a prospective comparison of sequences, including breath-hold, half-Fourier turbo spin echo (HASTE). *J Magn Reson Imaging* 1998;8:642-649.

18. Semelka RC, Kelekis NL, Thomasson D, Brown MA, Laub GA. HASTE MR imaging: description of technique and preliminary results in the abdomen. *J Magn Reson Imaging* 1996;6:698-699.
19. Tang Y, Yamashita Y, Namimoto T, Takahashi M. Characterization of focal liver lesions with half-Fourier acquisition single-shot turbo spin-echo (HASTE) and inversion recovery (IR) HASTE sequences. *J Magn Reson Imaging* 1998;8:438-445.
20. Yamakado K, Sakuma H, Murashima S, Nakatsuka A, Matsumura K, Takeda K. Comparison of breath-hold multishot echo-planar and respiratory-triggered fast-spin-echo sequences for T2 weighted MRI of liver lesions. *J Magn Reson Imaging* 1998;8:432-437.
21. Stark DD, Wittenberg J, Butch RJ, Ferrucci JT Jr. Hepatic metastases: randomized, controlled comparison of detection with MR imaging and CT. *Radiology* 1987;165:399-406.
22. Murakami T, Kim T, Oi H, et al. Detectability of hypervascular hepatocellular carcinoma by arterial phase images of MR and spiral CT. *Acta Radiol* 1995;36:372-376.
23. Oi H, Murakami T, Kim T, Matsushita M, Kishimoto H, Nakamura H. Dynamic MR imaging and early-phase helical CT for detecting small intrahepatic metastases of hepatocellular carcinoma. *Am J Roentgenol* 1996;166:369-374.
24. Yamashita Y, Mitsuzaki K, Tang Y, et al. Small hepatocellular carcinoma in patients with chronic liver damage: prospective comparison of detection with dynamic MR imaging and helical CT of the whole liver. *Radiology* 1996;200:79-84.
25. Hagspiel K, Neidl KFW, Eichenberger AC, Weder W, Marincek B. Detection of liver metastases: comparison of superparamagnetic iron oxide-enhanced and unenhanced MR imaging at 1.5 T with dynamic CT, intraoperative US, and percutaneous US. *Radiology* 1995;471-478.
26. Blakeborough A, Ward J, Wilson D, et al. Hepatic lesion detection at MR imaging: a comparative study with four sequences. *Radiology* 1997;203:759-765.
27. Seneterre E, Taourel P, Bouvier Y, et al. Detection of hepatic metastases: ferumoxides-enhanced MR imaging versus unenhanced MR imaging and CT during arterial portography. *Radiology* 1996;200:785-792.