

MR Imaging : Abdominal Application

이 문 규

울산의대 서울아산병원 진단방사선과

I. Liver MR imaging

1. 서론

초기의 MR 영상은 다음의 요인들로 인하여 꽤 실망적인 결과를 보였다. 즉, poor tissue contrast, physiologic motion artifact에 의한 심한 image degradation, 그리고 long scan time들이 그것이다 (1).

이후 지난 10년 동안 scanner hardware에서는 high performance gradient coil 및 body coil이 발달하였고, software 분야에서는 fast imaging sequences, motion artifact suppression 등이 개발되었다. 이런 발전에 힘입어 영상획득 시간이 수분에서 20초 미만으로 단축되는 fast scanning이 가능하게 됨에 따라 (2, 3), 肝 국소병변의 발견 (lesion detection) 및 특성화 (lesion characterization)에 대한 연구가 활발히 진행되었다.

Fast MR 기법의 등장에 따라, 자기공명 조영제를 사용하는 dynamic MR도 가능하게 되어 lesion detection 및 characterization에 一助를 더하게 되었다.

2. Fast MR liver imaging 펄스기법

1) Conventional spin-echo sequences

기존에 사용되던 dual-echo spin-echo 기법은 contrast-to-noise ratio가 우수하여 병변 발견에 유용하였으며 (4), T1 영상, Proton density 영상 및 T2 영상들을 얻을 수 있다. 그러나, 검사 시간이 8분 내지 10여분간 소요되므로, 좀 낮은 contrast-to-noise ratio의 trade-off를 감수하더라도 hybrid RARE {TSE / FSE 및 half-Fourier RARE (HASTE / SSFSE)} 기법으로 대체되었다.

2) Fast spin-echo (FSE) / Turbo spin-echo (TSE) sequences

FSE 기법은 한번의 90도 펄스 후에 여러 번의 (8번 이상) refocusing pulse를 반복하는 phase-encoding steps를 거치므로 영상획득 시간을 단축한다 (3-5분). 또한, contrast-to-noise ratio가 spin-echo 기법과 비슷한 영상 품질을 나타내게 되었다 (5). 근자에 보고되는 많은 논문은 오히려 FSE의 contrast-to-noise ratio가 conventional spin-echo보다 낫다고 발표하고 있다.

그러나, 이 기법은 fat signal이 강하게 나오는 단점과, 피하지방에 의한 motion artifact가 문제이므로, fat saturation(6) 등과 같은 fat suppression technique을 추가로 필요하게 된다.

3) Gradient echo (GRE) sequences

Fast MR 기법의 개발로 인하여 영상획득 시간이 감소하게 되어 일회의 호흡중지로 전체 간 영상을 얻게 되었다. 아울러 motion artifact의 영향도 감소하였다. 임상적으로 많이 사용하는 방식들은 다음과 같다.

(1) Spoiled GRASS (GE) or FLASH (Siemens)

(2) Fast multiplanar Spoiled GRASS (FMPSGR; GE) or Turbo FLASH (Siemens)

위의 두 영상방법들은 MR 조영제인 gadolinium chelate를 주입 한 후 dynamic 영상을 얻는데 사용되며 한번의 호흡중지로서 전체 간을 검사하고 또한 반복 검사가 가능하다. 즉 한번의 조영제 주입으로 여러 vascular phase에서 국소병변의 perfusion characteristics를 분석하고 진단하게 된다.

(3) 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 병변 내의 lipid content를 확인하는 데 유용하다. 즉, lipid proton signal이 실제로 negative signal로 나타나고, field inhomogeneity에 민감하지 않아서 fat saturation 방법보다 fat suppression에 더 효과적이다.

3. Newer fast liver MR pulse sequences

1) 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 정도만 얻는 heavily T2 영상을 제공함으로써, 기존의 fast spin-echo 기법이 일회의 호흡정지로서 전체 간의 영상을 얻을 수 없었던 단점을 보완할 수 있다 (7). 이 기법은 echo time만으로 보면 종래의 fast spin-echo에 비하여 T2 강조 효과를 더 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 간 낭종이나 간 혈관종의 진단에 우수하다 (5). 이 기법은 contrast-to-noise ratio가 높고 motion artifact가 거의 없다는 장점이 있다.

2) Echo planar imaging

HASTE 기법과 마찬가지로 종래의 비호흡정지 fast spin-echo에 비하여 더 신속한 영상기법이다. Echo planar imaging 역시 HASTE와 유사하게 lesion conspicuity (high CNR)가 높고, motion artifact가 적으며 extrahepatic structure가 비교적 잘 나타난다는 장점이 있다 (8). 그러나 초기의 선풍적인 기대 - 즉, 모든 영상기법이 이 기법으로 대체될 수 있을 것이라는 예상이나 ultrafast MR이라고 명칭하였던 것만큼의 신속한 영상획득 시간에 대한 기대는 아직 요원하지만 뇌신경계나 간의 영상에서 functional MR이나 diffusion-weighted MR을 이용한 정보획득에 귀추가 주목된다.

4. Fast MR liver imaging과 dynamic spiral CT의 비교

Dynamic MR이나 CT는 간종양의 hemodynamics를 분석하고 이들 종양간의 감별진단을 하는 데 이용된다. 1980년 초반 MR 영상이 임상적으로 첫 적용된 이후 1990년 초반까지 (Spiral CT 도입 전)의 single phase bolus dynamic CT와 MR 영상간의 비교 논문에서는 단연 MR 영상이 병변 발견에서 우수하였다 (9).

그러나, 이후 faster CT technique이 개발되어 간의 동맥기와 정맥기를 한 검사기간 동안에

동시에 볼 수 있는 dynamic spiral (helical) CT가 이용되면서 이들 MR 및 CT 두 검사간의 진단력에 대하여 비교 연구가 진행되고 있다. 현재까지는 일부에서 dynamic spiral CT에 대한 우수성을 보고하고 있지만, 대체로 MR 영상 (특히 dynamic MR)이 더 우수한 것으로 보고되었다 (10).

또한, 지금까지 병변 발견율에 있어서 가장 좋은 검사로 알려져 왔던 CT during arterial portography (CTAP)와 superparamagnetic iron oxide (SPIO) 같은 liver specific contrast agent를 이용한 MR 영상과의 비교에 따르면, 두 검사간의 진단력에 아직 논란이 있으나 SPIO MR이 더 우수하다는 일부 보고도 있다.

5. MR contrast agents

1) Extracellular agents (Non-specific agents)

Extracellular space로 확산되며 glomerular filtration으로 배설되는 gadolinium chelates가 간종괴의 발견 및 특성화에 대하여 광범위하게 연구되었다. 이 조영제의 진단적 가치는 종괴 및 조직내의 perfusion을 증가시킴으로써 signal intensity를 높인다. Gadopentetate dimeglumine (Gd-DTPA)이 1988년에 최초로 등장한 이후 gadoteridol, gadodiamide (Omniscan), 및 유럽에서는 gadoterate meglumine (Gd-DOTA)이 개발되었다.

이들 조영제는 T1 조영제이므로 FLASH (혹은 spoiled gradient-recalled gradient echo sequence: SPGR) 기법을 이용하여 종괴내의 혈류를 통하여 종괴가 직접 조영된다 (positive agent).

2) Hepatobiliary agent

일부 Gadolinium chelates (Gd-EOB-DTPA, Gd-BOPTA)와 manganese chelates (mangapodifir trisodium; Manganese-DPDP: Mn-DPDP)는 부분적으로 hepatobiliary excretion하는 성질이 있다. 이를 이용하여 extracellular agents 이외에 새로운 조영제로서 연구개발 되었다.

이들 조영제 역시 T1 조영제이므로 FLASH (혹은 SPGR) 기법을 이용한다. Extracellular agent와의 차이점으로는 hepatobiliary agent는 hepatocyte로 구성된 간을 직접 조영시키며 대부분의 종괴는 조영되지 않는다 (negative agent).

3) Paramagnetic iron oxide particles (T2-agents: SPIO, USPIO)

전체 간세포는 hepatocyte 80%, Kupffer cell 16%, endothelial cell 4%로 이루어져 있다. 통상 100 and 1,000 nm 크기의 particle은 sinusoid를 통과한 후 Kupffer cell에 의하여 phagocytosis 된다. 조영제로 사용되는 iron oxide particle은 30 to 1,000 nm이므로 충분히 간 및 비장에서 Kupffer cell의 목표가 된다.

간의 MR imaging에 사용되는 major iron particle로는, superparamagnetic iron oxide particle (SPIO; AMI-25)와 이보다 작은 particle (USPIO; AMI-227)이 있다. 이들 작은 particle의 대부분이 수일간 혈관내에 작용하므로 blood pool agent로 사용된다.

이들 조영제는 T2-weighted imaging 기법과 함께 사용되며 앞서 언급한 바와 같이 SPIO MR은 CTAP에 비견할 정도로 병변 발견율이 우수하다.

6. 요약

간의 MR imaging에 관해서 새로운 펄스기법들이 개발되었으나 최적의 영상 protocol의 결정에 있어서의 문제점들로는, 개발회사에 따라 많은 새로운 영상기법들이 있다는 점과, 보고한 병원마다 비교 연구에 사용된 기법들이 서로 달라서 합의된 protocol을 제시하기 어렵다는 점이다.

또한, 지금까지 개발된 fast MR imaging은 비록 contrast-to-noise ratio는 높으나 낮은 signal-to-noise ratio와 spatial resolution에 한계가 있으므로, 이를 극복하기 위하여 보다 나은 펄스기법의 개발과, liver specific contrast agent를 포함한 MR 조영제의 병용 등에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

II. Biliopancreatic imaging: MR cholangiopancreatography & MR angiography

1. 서론

Magnetic Resonance(MR) cholangiopancreatography는 3차원적 heavily T2-weighted 펄스기법을 이용하여 담도, 담낭 및 췌관을 coronal source image 혹은 projection image로 보여주는 자기공명영상술이다. 즉, stationary fluid (bile 및 pancreatic juice)는 高 신호강도, 주변 solid organ은 低 신호강도, 그리고 flowing blood는 signal void로 나타냄으로써 최적의 대조도로서 biliopancreatic duct와 주위 조직을 구별하는 독립적 영상술이다(11-13). 이 검사의 진단적 가치는 선천기형(14), 담/췌관의 해부(15), 담도 질환(12,16) 및 췌장 질환(17) 등에 있다.

MR cholangiopancreatography의 가장 큰 이점으로는, diagnostic ERCP, 조영제 사용과 방사선 조사가 필요 없고 또 합병증이 없다는 것이다.

2. 영상기법

최초 사용된 영상기법은 steady-state free precession (SSFP) echo를 이용한 3차원적 gradient-echo 영상기법 (reverse FISP = PSIF = CE-FAST) 및 fast spin-echo 기법이었다.

최근에는 이들 기법이 모두 사라지고, single-shot RARE (rapid acquisition with relaxation enhancement) 방법과 half-Fourier RARE (HASTE: half-Fourier single-shot turbo spin-echo; SSFSE: single-shot fast spin-echo) 방법이 이용되고 있다(13).

Half-Fourier RARE의 장점은 shorter TE (100 ms 이하)를 사용한다는 점, artifact-free imaging이며, contrast-to-noise가 높다는 것이다.

단점으로는, pixel graininess, phase encoding 방향의 blurring 및 partial volume averaging 때문에 thick section을 사용할 수 없는 점들이다.

3. 진단의 효율성 및 pitfalls

1) Choledocholithiasis

MR cholangiopancreatography의 가장 좋은 적응증으로 최근 문헌의 sensitivity는 98%에 근접하나 small calculus의 진단에는 좋지 않다. ERCP와 달리 stone extraction, biopsy 혹은 decompression procedure를 제공할 수 없으므로, 임상적으로 calculus의 의심이 적거나 ERCP의 contraindication이 있는 경우 screening test로 이용함이 MR cholangiopancreatography의 major role이다.

2) Biliary obstruction

Obstruction level에 대한 정확도는 92%-100%이며(11,13-15), obstruction cause에 대한 정확도는 30%-97%이다(11). 담도확장의 원인질환 분석에 있어서 T1- 및 T2-weighted axial image를 보조적으로 사용하면 진단능을 올릴 수 있다(18).

3) Pancreatitis

MR cholangiopancreatography는 ERCP, CT 혹은 MR axial imaging과 상관관계가 우수하다(17). MR cholangiopancreatography의 진단기준은 ductal narrowing, dilatation, stricture 혹은 irregularity이다. 췌관확장에 대한 보고에 의하면, sensitivity는 87%에서 100%, duct narrowing은 75% 그리고 ductal calculi는 100%이다(19).

4) Pitfalls of MR cholangiopancreatography

Technical pitfall로는 (a) 비적절한 imaging angle로 검사할 경우 ductal nonvisualization이 초래된다. (b) real-time이 아닌 static images로 인하여 정상적인 생리적 변화를 calculus나 tumor로 오인할 수 있다 (예, sphincter contraction). (c) postprocessing technique (multiplanar reconstruction: MPR / maximum intensity projection: MIP)으로 인하여 ductal filling defect가 영상화되지 못하거나 ductal structure가 overstimulating 될 수 있다.

False filling defect로 오인할 수 있는 interpretative pitfall로는, (a) pneumobilia, (b) sphincter contraction (pseudocalculus sign), (c) ductal tortuosity, (d) cystic duct insertion 부위 및 (e) aberrant right hepatic artery에 의한 common hepatic duct compression이 있다. 그외에, (f) percutaneous drain tube로 인한 담관의 pseudonarrowing으로, 또 (g) plication defect가 stone 혹은 tumor로 오인될 수 있다.

4. Functional MR cholangiopancreatography

(1) Dynamic secretin-enhanced MR pancreatography

Exogeneous secretin에 의하여 fluid와 bicarbonate의 secretion이 자극되고, 췌관내 fluid volume이 증가된다. 따라서 췌관을 더 잘 볼 수 있다.

만성 췌장염인 경우 secretin 주입 후 췌관직경이 증가하고 (ductal filling 증가) 십이지장의 fluid volume은 감소된다 (duodenal filling 감소).

(2) Dynamic cholecystokin-enhanced MR cholangiography

CCK의 GB contraction / sphincter Oddi relaxation을 이용하는 검사이다. 예를 들면, sphincter Oddi dyskinesia인 경우 paradoxical contraction에 의하여 distal common duct의 upward convexity가 나타난다.

5. MR cholangiopancreatography - angiography

Multislice CT를 이용한 CT angiography의 화질에 비하여 MR angiography가 우월한 것 같지는 않으나, 췌장질환에서 MR axial images, MR cholangiopancreatography 및 MR angiography를 한꺼번에 검사하는 one-stop service의 장점이 있고, 향후 더 나은 spatial resolution을 제공하는 pulse sequence가 발달되면, 기존 영상진단 장비에의 의존도가 감소될 수 있겠다(20).

6. 결론

현재까지 pancreaticobiliary system의 진단에 있어서 MR cholangiopancreatography의 적용기준은, 1) unsuccessful ERCP (gastrojejunostomy, failed cannulation) 혹은, 2) incomplete ERCP (IHD stones, focal intrahepatic bile duct stricture or cholangiocarcinoma, mucin hypersecreting tumor, severe biliary obstruction due to tumor)에 대한 보완적인 역할이다.

결론적으로, MR cholangiopancreatography가 diagnostic ERCP를 대체할 것은 분명하며 (therapeutic ERCP 제외), 다음 몇 년간은 MR cholangiopancreatography가 ERCP를 포함한 간, 담도-췌의 다른 모든 영상장비를 대신할 수 있는 single noninvasive examination으로서 부상할 가능성도 예견되고 있다.

REFERENCES

1. Laing ADP, Gibson RN. MRI of the liver. *J Magn Reson Imag* 1998;8:337-345.
2. Crease RP. Echo-Planar MRI: learning to read minds. *Science* 1993;261:556-558.
3. Tanabe J. Introduction to fast MRI. *Applied Radiology* 1992;supplement:13-17.
4. 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.
5. 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.
6. Lee JKT, Heiken JP, Dixon WT. Detection of hepatic metastases by proton spectroscopic imaging: work in progress. *Radiology* 1985;156:429-433.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Wallner BK, Schumacher KA, Weidenmaier W, Friedrich JM. Dilated biliary tract: evaluation with MR cholangiography with a T2-weighted contrast-enhanced fast sequence. *Radiology* 1991;181:805-808.
12. Lee M-G., Lee H-J., Kim M. H., et al. Extrahepatic biliary diseases: 3D MR cholangiopancreatography compared with endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Radiology* 1997;202:663-669.

13. Lee M-G, Jeong YK, Kim MH, et al. MR cholangiopancreatography of pancreaticobiliary diseases: comparing single-shot RARE and multislice HASTE sequences. *Am J Roentgenol* 1998;171:1539-1545.
14. Matos C, Nicaise N, Delvire J, et al. Choledochal cysts: comparison of findings at MR cholangiopancreatography and endoscopic retrograde cholangiopancreatography in eight patients. *Radiology* 1998;209:443-448.
15. Taourel P, Bret PM, Reinhold C, Barkun AN, Atri M. Anatomic variants of the biliary tree: diagnosis with MR cholangiopancreatography. *Radiology* 1996;199:521-527.
16. Chan Y-L, Chan A.C.W., Lam W.W.M., et al. Choledocholithiasis: comparison of MR cholangiography and endoscopic retrograde cholangiography. *Radiology* 1996;200:85-89.
17. Lecesne R, Taourel P, Bret PM, Atri M, Reinhold C. Acute pancreatitis: interobserver agreement and correlation of CT and MR cholangiopancreatography with outcome. *Radiology* 1999;211:727-735.
18. Kim M-J, Mitchell DG, Ito K, Outwater EK. Biliary dilatation: differentiation of benign from malignant causes value of adding conventional MR imaging to MR cholangiopancreatography. *Radiology* 2000;214:173-181.18.
19. Soto JA, Yucel EK, Barish MA, et al. MR cholangiopancreatography after unsuccessful or incomplete ERCP. *Radiology* 1996;199:91-98.
20. Lee M-G, Park KB, Shin YM, et al. Preoperative evaluation of hilar cholangiocarcinoma with contrast-enhanced 3D FISP MR angiography: comparing with intraarterial digital subtraction angiography. *World J Surg* 2002 (in press).