대한방사선의학회지 2000;42:787-796

간경변증 환자에서 간세포암 발견을 위한 SPIO조영증강 MR 영상: 적절한 MR 영상 기법군의 선택을 위한 여러 기법의 비교[1]

김인환 · 이정민 · 곽효성 · 김종수 · 김대곤[2] · 이수택[2] · 유희철[3]

목적: 간경변증환자에서 발생한 간세포암의 진단을 위한 SPIO 조영증강 자기공명영상에서 여러 가지 호흡정지기법들과 비호흡정지기법들의 효율성을 비교하여, 병변의 발견을 극대화하기 위한 가장 적합한 기법의 조합을 제시하고자 하였다.

대상과 방법: 간세포암의 진단을 위하여 SPIO 조영증강 자기공명영상을 시행한 27명의 환자에서 발견한 49개의 결절형 간세포암을 대상으로 하였으며, 연령분포는 38-71세 (평균 56세)였고 남자 21명, 여자가 6명 이었다. 이들 환자 군에서 비교한 영상은 총 8가지의 기법을 이용한 SPIO 조영증강 자기공명영상으로 호흡유발 영상으로는 T2강조-, 그리고 proton-density 강조- 고식적스핀에코(Conventional Spin Echo; 이하 CSE)와 터보스핀에코(Turbo Spin Echo; 이하TSE)를 선택하였으며, 호흡정지영상으로는 T1강조-고속저각획득영상(Fast low-angle shot, 이하 T1wFLASH), 반 Fourier영상(half-Fourier-acquisition single-shot-TSE, 이하 HASTE), T2*-강조 항정상태세차운동을 이용한 고속영상(fast imaging with steady state precession, 이하 T2*wFISP), T2 강조-호흡정지터보스핀에코(Breath-hold -TSE, 이하 T2wBHTSE) 등이 비교대상에 포함되었다.영상의 분석은 정량적,정성적 분석을 시행하였다. 정량적 분석으로 조영 전후의 종괴 자체와 간실질의 신호 대 잡음비(Signal to Noise ratio, S/N)를 비교하였다. 그리고 조영제에 의한 간 실질의 신호강도 감소율(Percentage of signal intensity loss, PSIL) 과 조영 전, 후의 간 실질 대 종괴간의 대조잡음비(Contrast to Noise ratio, C/N)를 구하였다. 정성적 분석으로는 영상내의 인공물(Image artifact)의 유무 와 종괴의 명확성(Lesion conspicuity)을 기준으로 영상간의 비교를 실시하였다. 마지막으로 각 영상에서 발견된 종괴의 갯수를 비교하여 민감도를 비교하였다.

결과: 정량적 분석의 결과 조영 전후에 있어서 간실질의 S/N은 모든 영상에서 통계학적으로 유의하게 감소하였으나 종괴 자체의 S/N은 조영 전후에 있어서 별다른 차이를 보이지 않았다. PSIL결과로는 조영 후 T2*wFISP 영상에서 간실질의 신호강도감소율이 의미있게 가장 높았다 ($P < 0.05$). T2강조 CSE영상이 T2*wFISP 영상다음으로 높은 PSIL을 보였고 다음으로 T2강조 TSE 순이었다 ($P < 0.05$). 조영 후의 C/N도 다른 영상에 비하여 T2*wFISP 영상이 가장 좋았으며 ($P < 0.05$), T2-TSE와 HASTE영상에서 T2*wFISP 다음으로 좋은 C/N을 보였다. 정성적 분석의 결과 조영증강 후에는 호흡유발 영상들과 T2*wFISP 영상이 호흡정지영상에 비하여 종괴의 명확성은 더욱 좋았으며, 인공물의 정도는 호흡정지 영상이 다른 영상에 비하여 훨씬 우수하였다 ($P< 0.05$). 조영 후 병변 검출의 민감도(sensitivity)는 T1wFLASH 영상을 제외한 다른 영상에서 모두 증가하였다. 조영 증강 후 영상 간의 민감도의 비교에서 T2*wFISP과 T2wTSE에서 가장 높은 수치를 보였다.

결론: SPIO 조영증강 영상은 간세포암의 진단에 있어서 유용한 영상이며, 종괴의 발견을 위해서는 T2*wFISP 영상이 가장 우수한 영상기법 이었으며, 종괴의 특성화를 위해 조영 전후의 호흡유발TSE 영상과 T1강조 FLASH영상을 추가한다면 보다 높은 진단적 정확성을 기할 수 있을 것이다.

[1]전북대학교 의과대학 진단방사선과학교실
[2]전북대학교 의과대학 내과학교실
[3]전북대학교 의과대학 일반외과학교실
이 논문은 1999년 11월 12일 접수하여 2000년 3월 13일에 채택되었음.

간경변증 환자에 있어서 간세포암을 조기 발견하는 것은 환자의 예후와 치료 과정을 결정하는 데 있어서 매우 중요하다 (1-2). 간 종괴의 발견을 위한 여러 가지 진단 방법 중 최근 자기공명영상이 그 영상획득의 비침습성과 높은 진단율로 인하여 광범위하게 이용되고 있으며, 병변 발견의 민감도를 높이기 위하여 여러 가지 조영제들이 사용되어 왔다 (3-4).

이중 초상자성산화철(superparamagnetic iron oxide, 이하 SPIO)은 세망내피계(reticuloendothelial system)에 섭취되는 특이적인 입자성 MR 조영제로 간의 쿠퍼(Kupffer)세포에 축적되어 자장의 부분적인 불균일성을 형성하고 T2 이완시간을 축소 시킴으로써 간 실질의 신호강도의 감소를 초래한다 (6-13). 이에 반하여 쿠퍼세포를 포함하지 않는 악성 간 종괴들은 SPIO입자를 섭취하지 않으므로 신호강도에 변화가 없으며 상대적으로 악성 간종괴들은 조영 전에 비하여 높은 신호강도를 보이게 된다. 이러한 변화로 인하여 간세포암을 포함하는 악성 간 종괴의 대조잡음비와 신호잡음비가 증가하고, 발견율의 향상을 보인다는 여러 가지 보고들이 있다 (6-13).

하지만, 간 병변의 발견을 위한 SPIO의 효율성은 각기 저자마다 사용한 MR기법에 따라 다른 결과를 보이고 있었으며, 대부분의 연구에서는 고전적인 스핀에코 영상이나 호흡유발-고속스캔영상들을 이용하였고 최근 복부MR에서 많이 사용되고 있는 호흡정지-고속스캔영상들을 이용한 보고는 드물다 (14-19).

이 연구의 목적은 간경변증을 가진 환자에서 발생한 간세포암 환자들을 대상으로 호흡정지-고속스캔영상기법들을 포함하는 다양한 기법을 이용하여 SPIO조영증강 자기공명영상을 얻어 병변의 검출에 있어 이들의 효율성을 비교함으로 최적의 영상기법의 조합을 제시해 보자는 것이다.

대상과 방법

초음파 검사와 혈액검사를 통하여 간경변증으로 진단 받고 추적검사를 받아오다 초음파 검사나 나선형 컴퓨터단층촬영을 통하여 간세포암이 의심되어 1998년 5월부터 1999년 7월사이의 기간에 SPIO 조영증강 자기공명영상을 시행한 환자 80명 중 간세포암으로 진단된 총 27 명의 환자에서 보인 49개의 결절형 간세포암을 대상으로 연구를 시행하였다. 간세포암의 진단은 13명의 환자, 29개의 결절에서 자기공명영상을 시행한 지 한달 이내에 시행한 수술과 수술중 초음파검사나 초음파 유도 경피적 생검을 통해 얻은 조직의 병리학적 검사를 통하여 얻었으며, 나머지 14명의 환자, 20개의 결절에서는 혈중태아단백수치 (αFP)의 증가와 간동맥조영술상 특징적인 종양염색과 2-4주 후에 실시한 리피오돌 CT상에 리피오돌 침착 등으로 내렸다. 병변의 총 갯수와 위치는 초음파, 나선형 CT, 혈관촬영술 간문맥 CT, 리피오돌 CT, 와 추적 CT 등의 모든 영상 소견들을 복부방사선분야의 경험이 많은 두 명의 방사선전문의가 합의 하에 결정하였다. 이들 환자의 추적 기간은 평균 30개월 이었다. 병변의 크기는 약 0.5-7.5cm 의 범위였으며 평균 2.72cm 이였다.

MR 영상은 1.5T 초전도형 자기공명영상기기(Magnetom Vision; Siemens, Erlangen, Germany)에서 위상배열다중코일(phased array multi-coil)을 사용하여 얻었다. 이번 연구에 포함된 영상기법은 각각 네가지 씩의 호흡유발기법과 호흡정지 영상기법 이였다. 첫째로, 비호흡정지기법들은 T2강조- 및 proton강조- 스핀에코 영상 (T2-weighted and proton density-weighted spin echo, 이하 T2wSE ,PDwSE) 와 T2강조- 및 proton강조- 터보스핀에코 (T2-weighted and proton density-weighted turbo spin echo, 이하 T2wTSE ,PDwTSE) 영상을 각각 이중 에코의 형식으로 동시에 받아 영상화 하였다. 이들을 얻기 위한 영상변수 들은 다음과 같다; 1) 스핀에코영상 (Spin echo, 이하 SE)- repetition time〔TR〕/echo time 〔TE〕 =3200-5500/80/20, flip angle 〔FA〕= 90°, a signal acquisition, acquisition time 〔TA〕= 9min 42sec, 2) 터보스핀에코 (Turbo spine echo, 이하 TSE)- TR/TE/ =3300-5500/85/14, echo train length = 5, FA=180°, TA=4min16sec, two signal acquisition, a 192×256 matrix. 둘째로, 호흡정지 영상으로 선택한 기법으로는 1) T1강조 고속저각획득영상 (Fast low-angle shot, 이하 T1wFLASH)-TR/TE=140/12, FA=80°, TA=16sec, a signal acquisition, a 219×319 matrix, 2) T2*강조 항정상태세차운동을 이용한 고속영상(fast imaging with steady state precession, 이하 T2*wFISP)-TR/TE=180/12, FA=30°, TA=19sec, a signal acquisition, a 120×256 matrix, 3) 반 Fourier영상 (half-Fourier-acquisition single-shot-TSE, 이하 HASTE) - TR/TE= ∞/64, FA=150°, TA=17sec, a signal acquisition, a 219×350 matrix, 4) T2 강조 호흡정지터보스핀에코 (T2-weighted Breath-hold-turbo spin echo, T2wBHTSE) - TR/TE=3200/138, echo train length=29, FA=180°, TA=17sec, a signal acquisition, a 263×350 matrix였다. 이들 기법을 이용하여 조영 전과 조영 후의 영상들을 횡단면으로 얻어 영상분석을 시행하였다.

SPIO 조영제(Feridex; Advanced Magnetics, Cambridge, U.S.A.)는 한병에 5ml의 용량 이였고 밀리리터당 11.2mg의 철(iron)을 포함하고 있었다. 이를 5% 포도당 100ml에 희석한 다음 10μmol/kg을 특수 여과지에 통과시킨 후 30분에 걸쳐 주입하였다. 조영제는 적갈색 이였으며 이러한 색깔로 인하여 보이지 않을 수 있는 조영제의 침전물의 제거를 위해서 여과지 통과 과정을 거치었다. 먼저 10분 동안 2ml/min의 속도로 주입하였고 부작용이 발생하지 않는 경우 나머지 용량을 4ml/min의 속도로 주입하였다. 5명의 환자에서 요통이 발생하였지만 별다른 조치 없이 증상은 소실되었다

영상분석

정량적 분석 (Quantitative Analysis)

먼저 총 8가지의 영상기법에서 SPIO조영 전, 후의 간 실질과 병변, 배경잡음의 신호강도를 동일한 횡단면의 같은 위치에서 관심부위(region of interest, 이하 ROI)를 설정한 후 측정하였다. 배경잡음의 신호강도는 위상부호화방향(phase encoding direction)인 복부표면의 전후측 공간에 환형의 관심부

위를 설정하였다. 이 기본 수치를 이용하여 정량적 분석을 위해 사용한 지표(parameter)는 조영 전후의 간 실질 과 종괴의 신호잡음비(Signal to Noise ratio, S/N), 병변과 주변 간 실질의 대조잡음비(Contrast to Noise ratio, C/N) 그리고 간 실질의 신호강도 소실 백분율(Percentage of Signal Intensity Loss, PSIL) 이였다. 이들 parameter는 다음과 같이 정의한다.

1. S/N: 병변과 간의 ROI에서 얻은 평균신호 강도를 위상부호화방향인 복부표면의 전후측 공간에서 설정한 ROI에서 얻은 배경잡음신호강도의 표준편차로 나누었다. ROI의 크기는 같았으며, 경계가 좋은 병변의 중앙과 그 인접부위의 간 실질에서 설정하였다.

2. PSIL: 〔(조영 후 신호강도 - 조영 전 신호강도)/조영 전 신호강도〕×(-100) 이며, 이는 간실질에 있는 SPIO 입자의 영상기법에 따른 민감도를 반영하기도 한다.

3. C/N은 (병변의 신호강도 - 주변간의 신호강도)/배경잡음의 표준편차의 형식으로 얻어졌다.

총 8가지의 영상기법에서 조영 전후에 얻어진 상기된 수치의 변화에 대한 통계적 유의성은 paired student t-test로 계산되었으며 p 값이 0.05 이하일 때 유의성을 두었다.

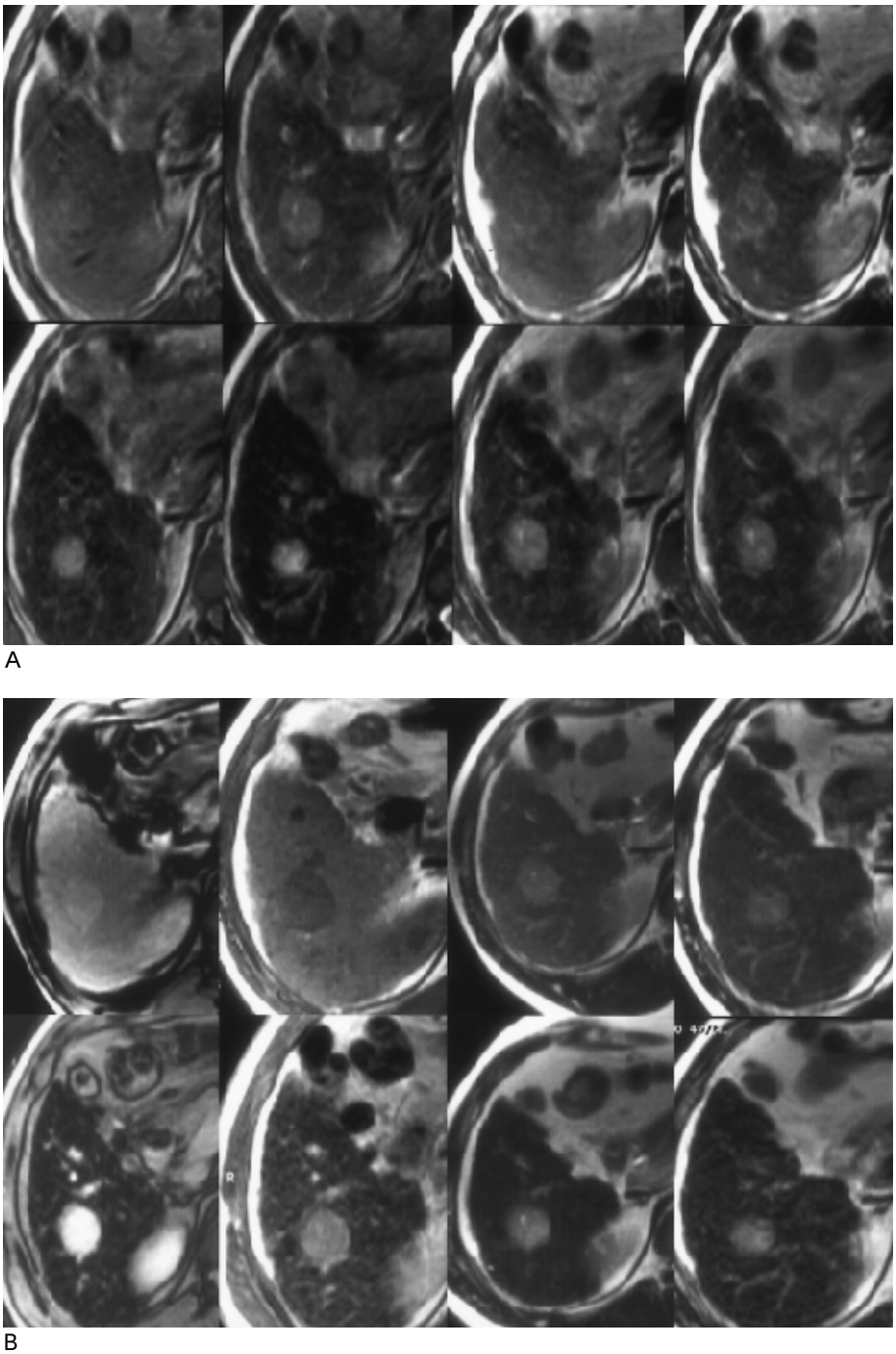


Fig. 1. 65-year-old man with a hepatocelluar carcinoma in segment 5.
A. Pre- (top) and postcontrast (bottom) MR images with non-breath-hold MR technique. First column: PDwSE image. Second column: T2wSE image. Third column: PDwTSE image. Fourth column: T2wTSE image.
B. Pre- (top) and postcontrast (bottom) MR images with breath-hold MR technique. First column: T2*wFISP image. Second column: T1wFLASH image. Third column: HASTE image. Fourth column: T2wBHTSE image.
There is a decrease in signal intensity of the liver with a resulting increase in liver to lesion contrast on the postcontrast images. The degree of decrease in liver signal intensity is more apparent in T2wSE image (second column in A) of non-breath-hold images and in T2*wFISP image (first column in B) of breath-hold images.

정성적 분석

8가지의 MR 기법으로 얻은 영상들은 각각 독립적으로 두 명의 복부 방사선과 전문의에 의하여 평가되었다. 이들은 각 영상에 대하여 병변의 명확성(Lesion conspicuity)과 인공물의 유무(Image artifact)를 기준으로 다섯 단계로 구분하였다. 구분의 단계는 평가불가(unacceptable, 1), 불량(poor, 2), 보통(fair, 3), 양호(good, 4)나 우수(excellent, 5) 였으며 각 영상에 대하여 얻어진 점수를 평균화 하여 비교하였다. 영상기법의 우수도 여부의 차이는 Wilcoxon signed ranks test를 이용하여 통계화 하였다 ($p < 0.05$).

병변의 발견율

대상에 포함된 결절을 크기를 기준으로 3cm 이하, 3cm에서 5cm, 5cm이상으로 분류한 후 각각의 조영 전후 영상에서 두 명의 방사선과 의사는 합의 하에 각 환자가 가지고 있는 실제 병변중 보이는 병변의 갯수를 확인하여 민감도를 구하였고 각 영상간의 차이를 paired student t-test로 통계 분석하여 그 유의성을 알아보았다 ($p < 0.05$).

Table 1. Quantitative Analysis: Effect of SPIO Enhancement on S/Ns in 27 Patients with Hepatocellular Carcinoma

MR Pulse Sequence	Tumor S/N	Liver S/N†
T2wSE		
precontrast	7.08 ± 4.73	4.42 ± 2.52
postcontrast	7.42 ± 5.36	1.90 ± 0.84
PDwSE		
precontrast	10.21 ± 7.41	9.00 ± 5.31
postcontrast	12.03 ± 6.12	6.37 ± 3.44
T2wTSE		
precontrast	8.63 ± 4.26	6.00 ± 2.57
postcontrast	9.28 ± 5.37	3.45 ± 1.99
PDwTSE		
precontrast	15.57 ±14.46	13.46 ±10.26
postcontrast	14.13 ± 8.63	8.51 ± 4.67
T1wFLASH		
precontrast	11.90 ± 4.76	14.29 ± 5.40
postcontrast	12.81 ± 5.81	9.33 ± 3.88
HASTE		
precontrast	13.78 ± 5.70	10.27 ± 3.71
postcontrast	13.03 ± 4.79	6.44 ± 2.77
T2*wFISP		
precontrast	13.02 ± 5.90	11.66 ± 5.30
postcontrast	16.19 ± 7.86*	3.66 ± 2.34
T2wBHTSE		
precontrast	7.14 ± 2.65	4.48 ± 1.40
postcontrast	6.01 ± 3.23	2.15 ± 0.77

Note - Numbers are mean±standard deviation.
* - Mean tumor S/N of postcontrast image was higher ($p < .05$) than that of precontrast image in T2*wFISP sequence. In other sequence images, There are no significant differences ($p > .05$) in tumor S/Ns between pre- and postcontrast images.
† - Every mean S/Ns of postcontrast image was lower ($p < .05$) than those of precontrast image of liver.

결 과

정량적 분석

SPIO 조영 전 후에 있어서 간실질과 종괴의 신호 대 잡음비의 결과는 호흡유발영상이나 호흡정지영상에 관계 없이 모든 영상에서 간 실질의 S/N은 통계적으로 유의한 수준에서 조영 후 영상에서 감소되었다 (Table 1, Fig. 1). 하지만 SPIO 조영제는 종괴 자체의 S/N에 대하여서는 별다른 효과를 미치지 않아 조영 후에도 S/N의 수치는 통계학적으로 유의한 변화를 보이지 않았다. 결과적으로 조영 후에 간세포암의 대조 잡음비는 높아지는 결과를 낳았다.

간 경변증을 가지고 있는 대상환자 27명의 PSIL의 결과에서 호흡정지 영상인 T2*wFISP영상이 66.7%로 가장 높은 수치를 나타내었고 호흡유발영상인 T2wSE와 T2wTSE이 각각 54.7%와 43.7%의 PSIL을 나타내었으며 이는 나머지 호흡유

Table 2. Quantitative Analysis: Percentage of Signal Loss Intensity of Liver Parenchyme in 27 Liver Cirrhosis Patients

MR Pulse Sequence	PSIL*	Rank
Non-Breath hold sequence		
T2wSE	54.71 ±17.28	2†
PDwSE	30.97 ±18.16	6
T2wTSE	43.66 ±18.05	3†
PDwTSE	29.05 ±15.94	7
Breath hold sequence		
T1wFLASH	19.44 ±18.88	8
HASTE	35.52 ±19.31	5
T2*wFISP	66.69 ±16.26	1†
T2wBHTSE	42.34 ±13.08	4

Note - Numbers are mean ± standard deviation.
* - PSIL means percentage of signal loss intensity of liver.
= 〔(SI enhanced - SI unenhanced)/ SI unenhanced〕× -100
† - The PSIL of T2*wFISP image is the highest of others images.
† - These two images have higher PSIL than other images significantly ($p < .05$) except T2*wFISP .

Table 3. Quantitative Analysis: Lesion-to-Liver Contrast-to-Noise Ratio of Hepatocellular Carcinoma

	Precontrast Image		Postcontrast Image	
MR Pulse Sequence	C/N	Rank	C/N	Rank
Non-Breath hold sequence				
T2wSE	2.65 ± 3.11	3	5.51 ± 4.96	6
PDwSE	1.21 ± 2.59	7	5.65 ± 4.94	5
T2wTSE	2.62 ± 2.29	4	5.82 ± 4.20	3
PDwTSE	2.10 ± 5.11	5	5.82 ± 4.52	4
Breath hold sequence				
T1wFLASH	- 2.40 ± 3.78	8	3.38 ± 2.79	8
HASTE	3.51 ± 3.18	1	6.59 ± 3.66	2
T2*wFISP	1.36 ± 2.67	6	12.53 ± 6.61	1*
T2wBHTSE	2.66 ± 1.96	2	3.85 ± 2.83	7

Note - Datas are given as mean±standard deviation.
* - The C/N of T2*wFISP image is highest of other images ($p < .05$).

발영상이나 호흡정지영상과 통계학적으로 유의한 차이를 가지는 것이었다 ($p < 0.05$) (Table 2, Fig. 1).

병변 간 대조잡음비는 호흡정지 영상 중에서 T2*wFISP영상이 다른 영상기법에 비하여 통계학적으로 유의한 차이를 가지는 높은 C/N을 보였으며 ($p < 0.05$), 다음으로 HASTE영상이 높은 C/N을 나타내었지만 다른 영상들과는 통계학적으로 의의가 없었다 (Table 3).

정성적 분석

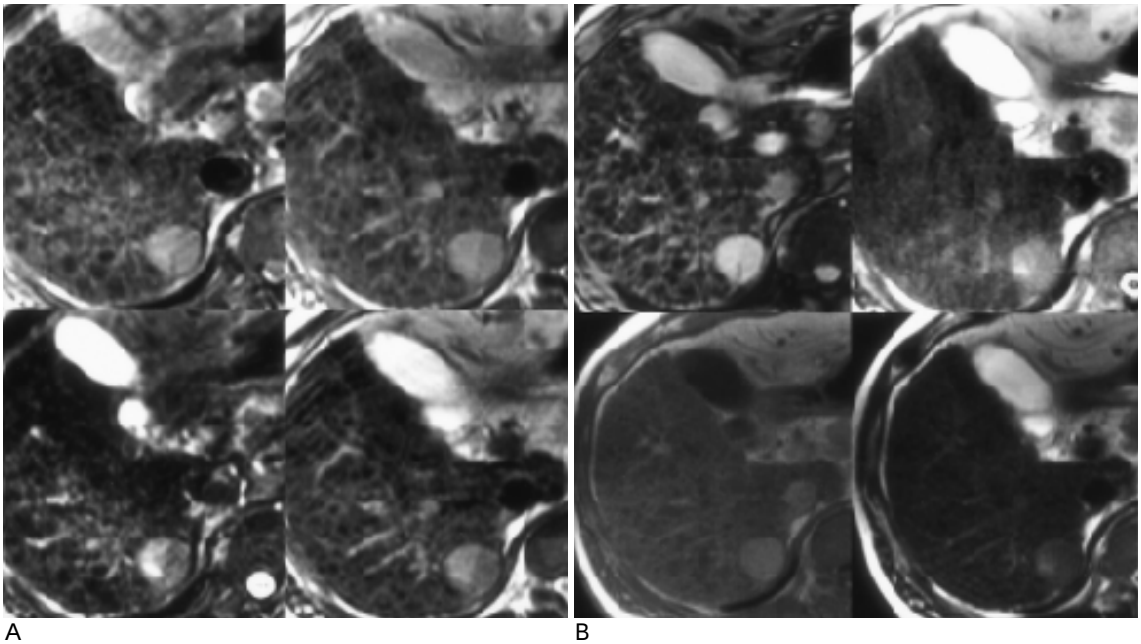
호흡유발영상과 호흡정지영상에서 병변의 명확도는 조영 후 유의하게 증가하였고, 조영 후 병변의 명확도는 호흡유발영상이 호흡정지영상에 비하여 뚜렷한 증가를 보였다 ($p < 0.05$). 호흡정지 영상은 대부분 묘출도면에서 좋지 않은 결과를 보였지만 이중 T2*wFISP영상은 호흡유발영상과 거의 같은 정도의 묘출도를 보였다 (Table 4, Fig. 2). 조영 후 인공물의 정도는 호흡정지 영상에서 적었다.

병변의 발견율

T1wFLASH를 제외한 모든 영상 기법에서 조영증강 후의 민감도는 유의하게 증가 하였으며 이는 3 cm 이하의 종괴에서도 같은 결과를 보였다 (Table 5). 조영증강 후 영상중 전체 종괴를 대상으로 한 민감도는 호흡정지 T2*wFISP영상과 호흡유발영상인 T2wTSE영상에서 가장 높은 결과를 보였다 (96%). 이들 영상은 T2wBHTSE과 T2wSE, 그리고 T1wFLASH영상과 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 3cm 이하의 종괴를 대상으로 한 결과 역시 조영 후 T2*wFISP과 T2wTSE영상에서 가장 높았고 (94%). 이 대상군에서는 T2wSE, 그리고 T1w-FLASH영상과 유의한 차이를 보였으며 다음으로는 호흡유발 PDwTSE와 PDwSE의 순이었다. 전반적으로 호흡유발영상이 호흡정지영상에 비하여 높은 민감도를 보였다.

고 찰

간경변증 환자의 추적검사동안 간세포암의 조기 진단은 매우 중요하며 작은 크기의 종괴의 발견은 수술이나 경피적 에타놀 투여, 경도관동맥화학색전술 등의 방법을 통한 치료에 있어서 좋은 결과를 가져오는 데에 중요한 인자가 된다 (1-2). 최근에는 간세포암의 진단을 위하여 초음파, 컴퓨터 단층촬영, 자기공명영상 등의 다양한 영상진단매체를 이용하고 있으며, 자기공명영상을 이용한 간종괴의 발견의 민감도를 향상시키기 위하여 다양한 종류의 조영제가 사용되고 있다 (3-4). 이중 SPIO는 망상내피계(reticuloendothelial system)에 특이적으로 섭취되는 조영제로서 경정맥 주입 후 SPIO 입자는 혈액으



A B

Fig. 2. Postcontrast images of 45-year-old man with a hepatocelluar carcinoma in segment 6. This patient had severe degree of liver cirrhosis (child class C)

A. Non-breath-hold images with SE and TSE MR technique.

Top left: PDwSE image. Bottom left: T2wSE image. Top right: PDwTSE image. Bottom right: T2wTSE image.

B. Breath-hold images. Top left: T2*wFISP image. Bottom left: T1wFLASH image. Top right: HASTE image. Bottom right: T2wBHSE image.

A tumor in segment 6 is depicted more conspicuous in four non-breath-hold images (A) and breath-hold T2*wFISP image (top left in B) than other non-breath-hold images. The lesion-to-liver contrast is worst in the T2wBHTSE image (bottom right in B). The normal hepatic anatomy is not seen as well on the HASTE image (top right in B) because of increased inherent blurring.

Table 4. Qualitative Analysis: Lesion Conspicuity and Image Artifact of Various Sequences

MR Pulse Sequence	Lesion Conspicuity	Image Artifact
Non-Breath hold sequences		
T2wSE		
precontrast	3.3 ±1.0	3.1 ±0.9
postcontrast	4.1 ±1.1*	3.4 ±0.7
PDwSE		
precontrast	2.7 ±1.5	2.9 ±0.9
postcontrast	4.4 ±0.8*	3.4 ±0.7
T2wTSE		
precontrast	3.5 ±1.1	3.0 ±0.9
postcontrast	4.6 ±0.7*	3.5 ±0.8
PDwTSE		
precontrast	2.7 ±1.0	3.0 ±0.8
postcontrast	4.4 ±0.7*	3.6 ±0.7
Breath hold sequences		
T1wFLASH		
precontrast	2.6 ±1.2	4.6 ±0.7
postcontrast	3.4 ±1.3	4.6 ±0.5†
HASTE		
precontrast	2.3 ±0.9	4.6 ±0.6
postcontrast	2.7 ±1.5	4.3 ±0.5†
T2*wFISP		
precontrast	2.8 ±1.3	4.2 ±0.6
postcontrast	4.6 ±0.9*	4.6 ±0.5†
T2wBHTSE		
precontrast	2.9 ±0.9	4.2 ±0.6
postcontrast	3.4 ±1.3	4.6 ±0.5

Note - Datas are presented as mean ± standard deviation.

* - significant difference with postcontrast image of other sequences ($p < .05$).

† - Breath hold sequences has lower image artifact than non Breath hold sequences ($p < .05$).

Table 5. Number of Lesions Detected with Various Pulse Sequences Determined by the Size of the Lesion

MR Pulse Sequence	Diameter of Lesions			
	<3cm(n=36)	3-5cm(n=4)	≥5cm(n=9)	Total(n=49)
Non-Breath hold sequences				
T2wSE				
precontrast	23/36(64%)	3/4(75%)	9/9(100%)	35/49(71%)
postcontrast	30/36(83%)	3/4(75%)	9/9(100%)	42/49(86%)
PDwSE				
precontrast	20/36(56%)	3/4(75%)	6/9(67%)	29/49(59%)
postcontrast	32/36(89%)	4/4(100%)	9/9(100%)	45/49(92%)
T2wTSE				
precontrast	24/36(67%)	3/4(75%)	9/9(100%)	36/49(73%)
postcontrast	34/36(94%)*	4/4(100%)	9/9(100%)	47/49(96%)†
PDwTSE				
precontrast	23/36(64%)	3/4(75%)	6/9(67%)	32/49(65%)
postcontrast	33/36(92%)	4/4(100%)	9/9(100%)	46/49(94%)
Breath hold sequences				
T1wFLASH				
precontrast	26/36(72%)	3/4(75%)	8/9(87%)	37/49(76%)
postcontrast	26/36(72%)	3/4(75%)	9/9(100%)	38/49(78%)
HASTE				
precontrast	24/36(67%)	3/4(75%)	9/9(100%)	36/49(73%)
postcontrast	31/36(86%)	4/4(100%)	9/9(100%)	44/49(90%)
T2*wFISP				
precontrast	19/36(53%)	3/4(75%)	6/9(67%)	28/49(57%)
postcontrast	34/36(94%)*	4/4(100%)	9/9(100%)	47/49(96%)†
T2wBHTSE				
precontrast	26/36(72%)	3/4(75%)	7/9(%78)	36/49(73%)
postcontrast	31/36(86%)	3/4(75%)	9/9(100%)	43/49(88%)

Note - Datas are presented as detected lesions divided by total lesions. Numbers in parentheses are sensitivities in percentages. Postcontrast images have higher detectability than precontrast images except in T1wFLASH ($p < .05$).

* - In lesions smaller than 3cm , the sensitivity of postcontrast T2wTSE and T2*wFISP images is higher than that of other postcontrast images.
But, there is significant difference only with SET2 and T1wFLASH images ($p < .05$).

† - In total cases of lesion, postcontrast T2wTSE and T2*wFISP show highest sensitivity. And significant difference exists only with breath hold T2TSE , SET2 and T1wFLASH images ($p < .05$).

로부터 간과 비장 등에 있는 망상내피계에 의하여 제거된다. 정맥주사된 SPIO입자는 주입 양의 80%가 간에서 섭취되며 나머지는 비장과 골수에서 섭취된다 (5).

SPIO의 조영증강 기전은 많은 연구에 의해 잘 알려져 있으며 간에서 쿠퍼세포에 섭취된 SPIO입자는 그 자체의 자기 모멘트가 커서 자기장내에서 국소 불균질성을 유발하게 되고 결과적으로 횡측 이완 시간을 줄이고 이로 인하여 T2강조영상에서 간의 신호를 감소시킨다. 이에 반하여 간의 악성종괴는 망상내피계를 가지고 있지 않아 조영제에 의한 T2 이완시간의 변화가 없다. 따라서, T2강조영상에서 SPIO조영제를 섭취한 정상 간 실질의 신호강도는 줄어들고 종괴의 신호는 변화를 보이지 않아 간 실질과 종괴 사이의 대조도가 증가하게 된다 (6-13). 이 연구결과에서도 종괴의 S/N의 변화에 비하여 주변 간 실질의 S/N의 변화가 더욱 컸으며 결과적으로 조영증강 후의 영상에서의 대조도는 증가되었다.

하지만 아직까지도 SPIO가 실질적으로 악성 간종괴의 발견율을 증가시키는가 하는 문제에 대해서는 다소 찬반 논란이 있으며, 이에 관한 각 연구마다 저마다의 영상기법을 이용하여 객관적인 효용성의 비교가 힘들다 (14-19). 또한 SPIO의 T2-음성조영증강효과를 극대화할 수 있는 최적의 sequence에 관한 많은 보고들이 있으나, 대부분이 비호흡정지기법을 이용한 연구가 대부분이고 최근 복부MR영상에서 많이 사용되고 있는 호흡중지요법을 포함하는 비교연구는 드물다. 이 연구에서는 SPIO 조영제가 각 영상에 미치는 효과를 PSIL로 처리하여 호흡정지기법과 비호흡정지기법을 각각 4가지씩 얻은 후 이 sequence들을 비교하여 SPIO조영제의 효과가 가장 잘 나타나는 영상을 알아 보았다. 가장 좋은 결과를 보인 것은 T2*FISP영상에서 였고 다음으로는 고식적 스핀 에코와 터보 스핀 에코의 순서였다. T2*wFISP이 가장 좋은 결과를 보인 것은 SPIO입자가 만들어내는 자장의 국소적인 불균일성에 가장 민감한 영상기법이며, 스핀에코영상획득에 사용되고

자장의 국소적인 불균일성을 감소 시킬 수 있는 refocusing pulse가 사용되지 않았기 때문일 것으로 생각한다 (16). 이러한 특징을 감안한다면 이상적인 T2*sequence를 얻기 위해서는 T1 효과를 줄이는 것이 필요하고, 이를 위해 long TE와 적은 Flip angle을 사용하는 것이 좋을 것으로 생각한다 (8). 또한, PSIL의 결과에서 고식적 SE가 TSE보다 더욱 민감한 결과를 보였는데 그 이유는 TSE의 경우 많은 수의 180도의 refocusing pulse을 이용하여 자기화에 대한 감수성이 감소하기 때문으로 생각한다 (16).

조영 후의 각 영상에서 SPIO가 병변 검출율에 미치는 효과를 알아보기 위해 사용한 지표인 병변 대 간 대조비는 T2wBHTSE와 T1wFLASH영상을 제외한 모든 영상에서 조영 전에 비하여 유의하게 증가하였으며 조영 후 영상 중에서는 T2*wFISP 영상에서 가장 높은 C/N을 나타내었다. Bellin등 (14)의 연구에 의하면 조영 후 영상에서 Gradient echo T2*-weighted sequence (TR/TE=300/15)에서 가장 좋은 간 실질 대 종괴간의 대조잡음비 를 보였으며 다음으로 긴 반복 시간과 에코 시간을 가지는 스핀 에코 영상이 양자밀도강조영상에 비하여 좋았다고 보고하였고 이 연구에서도 비슷한 결과를 보였다.

Schwarz등 (16)은 SPIO 조영증강 후 SE와 TSE를 비교하였고, 전이성 간암의 경우 lesion to liver C/N은 SE에서 더 좋았다고 주장하였다. 그들의 연구와는 달리 저자의 연구에서는 T2wTSE와 고식적SE간에 통계학적으로 의의 있는 차이는 보이지 않았다. 이는 PSIL의 수치에 있어서 SE가 TSE에 비하여 높은 값을 가져 정상 간실질의 신호가 많이 감소함으로써 높은 C/N을 가질 것이라는 예상과 맞지 않는 결과였다. 이는 SE의 경우 주변의 배경에서 측정된 잡음의 신호강도가 TSE에 비해 높은 값을 보였고, 이에 의해 간 실질대 종괴 간의 대조잡음비의 계산 수식에서 분모의 수치를 증가시켰으며 결과적으로 간 신호강도의 감소분이 C/N의 값에 반영되는 효과를 감소 시켰기 때문이라고 생각된다.

정성적 분석의 결과 조영 후의 병변의 묘출도의 경우 호흡정지 영상에 비하여 호흡유발영상이 고식적 SE영상과 TSE영상들이 좋았다. 또한 높은 PSIL과 C/N을 보였던 T2*wFISP 영상은 호흡유발영상에 비하여 더 좋은 종괴의 묘출도를 보였으나 통계적 의의는 보이지 않았다. 영상 획득 시에 발생한 인공물의 정도는 호흡정지 영상이 전반적으로 호흡유발 영상에 비하여 적은 인공물을 보였으며 이는 호흡에 의한 인공물의 감소에 기인한 것이다. 통계적 의의는 보이지 않았지만 호흡유발 영상에서 TSE의 영상이 SE의 영상에 비하여 인공물의 정도가 적었다. 아마도 영상의 획득시간이 기존의 SE에 비하여 짧다는 이유에서 온 결과로 생각된다.

이 연구에서 한가지 흥미로운 점은 C/N의 비교에서, 4가지의 호흡정지기법 중 gradient echo계열의 T2*wFISP이 호흡유발영상보다 나은 결과를 보였고, 스핀에코계열의 기법 중에서는 HASTE가 SPIO조영증강 후에 T2*wFISP영상 다음의 순위를 차지하였고 호흡유발기법 들에 비하여서도 떨어지지 않는 결과를 보였다는 점 이었다. 하지만, T2*wFISP의 경우 간문맥이나 간정맥과 같은 간내혈관들이 매우 밝게 보이고 그 주변 간실질과의 경계가 흐릿해지는 단점으로 인하여, 간의 주변부에서는 혈관과 간세포암과의 감별이 어려웠고, 간 중심부의 큰 혈관의 주변에 생긴 작은 병변의 경우에는 발견이 되지 않을 위험이 컸다. 또한, HASTE는 SPIO조영 전과 후 영상 모두에서 가장 적은 인공물 형성을 보였으며, 환자의 상태가 좋지 않아 숨을 잘 참지 못하는 경우에도 그다지 심한 영상의 악화를 보이지 않았다 (20-21). 특히 이 연구에는 간경변증으로 인한 심한 복수형성으로 인하여 호흡조절이 잘되지 못했던 환자들이 많이 포함되었다는 것으로 감안 한다면 다른 영상기법에 비하여 큰 장점이라고 생각한다. 하지만, HASTE영상은 조영 후 영상에서 높은 C/N에도 불구하고 간내의 혈관이나 담관과 같은 정상구조물과 병변의 경계가 불분명해지고 병변의 묘출도가 떨어지는 현상을 보였다. 이는 매우 높은 수의 echo-train length를 이용하는 고속영상이 내포하고 있는 제한점이라 생각되는 데, 영상의 형성에 참여하는 후반부의 에코의 크기가 원래 작아 흐릿해짐(inherent blurring)이 발생하는 데다 SPIO주입 후 그 크기가 더욱 작아져서 영상형성에 기여도가 감소하기 때문에 흐릿해짐이 심해진다. 같은 이유로 정성적 분석에서 호흡정지 TSE가 가장 나쁜 결과를 보였다.

간의 악성 종괴의 발견을 위한 SPIO를 이용한 자기공명영상의 효율성에 관한 여러 보고들이 있는데, Stark 등 (22)은 0.6T의 연구에서 조영 후의 영상에서 발견된 종괴의 개수가 T1, T2에서 증가하는 결과를 보였다고 하였다. 그러나, Bellin 등 (14) 은 1.5T기기 에서의 연구에서 전이성 종괴의 경우 조영증강 후에는 발견된 종괴의 갯수가 증가하지 않았다고 하여 상반된 결과를 보고하였다. 이후 Yamamoto등 (23)은 1.5T 기기를 이용하고 간경변환자에서 발생한 간세포암을 대상으로 한 연구에서 SPIO조영증강 MR에서 SE (2000/28,70), FLASH (50/10, flip angle 40 degree)등의 영상기법에서 모두 그 발견 종괴의 갯수가 증가하였다고 하였다.이들 두 연구의 결과상의 차이를 보이는 이유는 전이성 종괴의 경우 종괴 주변의 저음영 테두리(hypointense rim)가 병변의 발견율을 향상 시키는 효과를 SPIO 조영제가 감소시키기 때문이다 (24). 간 세포암의 경우 이러한 SPIO조영제의 단점이 없기 때문에 민감도의 증가라는 결과를 가져올 것이다. 이번 연구에서도 조영 후 민감도가 증가하는 양상을 보였다. 특히 영상 간의 조기진단의 효율성을 판단하는데 신뢰도를 높일 수 있는 3㎝ 이하의 종괴군에서 조영제의 사용은 T1wFLASH영상을 제외한 모든 영상에서 유의한 발견율의 상승이라는 결과를 가져왔다. Elizondo등 (25)은 간경화증 환자에 있어서 SPIO에 의한 간의 신호강도의 감소가 정상간에 비하여 적음으로 인하여 종괴의 발견율이 떨어진다고 주장하였다. 하지만 이번 연구에서 간세포암 종괴의 발견에 있어서 이들의 주장과 반대의 결과를 보였으며 이는 Yamamoto등 (23)의 연구나 Clemento 등 (26)의 다른 연구에서도 주장되었던 것과 같은 결과이다. 하지만 이번 연구에서는 이전의 다른 연구와는 달리 조영전 영상의 민감도가 상대적으로 낮았다. 그 이유는 고령인 간경변환자가 많아 복수로 인한 호흡조절이 어려웠고 이로 인한 인공물이 병변발견에 장애요소가 되었기 때문이다. 조영 후의

영상간의 민감도의 비교에서 FISP영상과 호흡유발 T2wTSE가 전체 종괴군이나 3cm 이하의 종괴군 모두에서 가장 높았다. 이는 두 영상이 다른 영상에 비하여 모두 높은 C/N과 lesion conspicuity의 결과를 보였으며 상대적으로 적은 인공물을 보인 결과이기 때문이다.

이상의 결과로 저자들은 T2*wFISP영상을 제외한 호흡정지 영상은 호흡유발 영상에 비하여 인공물이 적지만 종괴의 묘출도가 떨어지는 이유로 SPIO에 의한 T2음성조영증강효과를 얻는 데는 효과가 적을 것으로 생각한다. T2*wFISP영상은 이 연구에서 비교한 8가지의 영상기법 중에서 가장 좋은 C/N을 보였고 종괴의 묘출도도 기존의 spin echo영상에 못지 않게 좋았으며 호흡정지 영상이기에 영상의 인공물에 있어서도 적은 인공물을 보였으므로 가장 우수한 SPIO 조영증강 MR영상 기법이라고 생각한다. 하지만, 병변과 더불어 혈관 음영들이 매우 밝게 보이는 단점이 있어, 스핀에코 계열의 T2강조영상이 추가되어야 할 것으로 생각되며, 이 스핀에코계열 영상기법 들간의 비교에서는 서로 비슷한 C/N과 종괴의 묘출도를 보였으나 TSE의 영상이 SE에 비하여 인공물이 적고 영상의 획득시간도 적다는 점을 고려한다면 TSE 기법이 보다 나은 영상이라고 생각한다. 이러한 장점 이외에도 종괴 발견의 민감도 역시 두 영상에서 모두 높게 나왔다는 점이 이들 영상을 SPIO영상 중에서 우선적으로 선택해야 하는 이유일 것이다. 또 한가지 강조해야만 할 점은, T2강조 TSE 영상의 획득에 있어서 조영 전의 영상을 첨가해야 한다고 생각되는데 이는 조영 후 영상에서 간실질의 신호 감소가 일어나 대부분의 종양이 양성과 악성에 관계없이 모두 하얗게 보이기 때문이며, 특히 대표적인 간의 양성종양인 혈관종의 경우 SPIO입자에 의한 T2 단축이 발생하여 신호가 감소하게 되고 이로 인하여 혈관종의 특징적인 소견의 하나인 T2 강조영상에서의 밝은 전구처럼 보이던 소견이 소실되어 악성종괴와 유사하게 보이므로 조영증강 후의 영상만으로는 감별이 어렵게 된다. Gradin등 (27)은 양성종양의 경우에 있어서 정상 간실질에 비해서는 다소 떨어지긴 하지만 쿠퍼세포를 포함하고 있어 조영 후 종괴가 조영 전에 비하여 신호강도가 감소한다고 보고하였다. Poeckler-Schoeniger등 (28)도 조영 전과 조영 후의 영상이 간 종괴의 특성화를 위해서는 필요하다고 하였다.

T1wFLASH영상은 PSIL이나 종괴의 lesion to liver contrast의 수치상의 결과면에서 가장 좋지 않은 결과를 보였으며 종괴의 묘출도에서도 낮은 순위를 차지하고 있어서 SPIO조영 MR에서 병변의 검출율의 증가면에 있어서는 도움이 되지 않았다. 하지만, SPIO조영증강 T1강조영상은 간의 낭종이나 혈관종과 악성종양과의 감별을 위해 필요하다. SPIO조영증강 T2강조영상에서 간의 단순 낭종이나 혈관종과 같은 비고형종괴도 T2강조영상에서는 간의 악성종괴와 같이 고신호강도를 보여 서로 구분이 잘 되지 않는 문제점이 있다. 이에 반하여, T1wFLASH에서는 간의 단순낭종은 여전히 저 신호강도로 보이므로 쉽게 감별이 가능하다. 또한, Grangier등 (29)의 보고에 의하면 간의 혈관종은 SPIO조영증강 T1wFLASH에서 T1 이완시간의 감소로 인한 조영증강이 관찰된다고 하였다. 따라서, T1wFLASH기법의 추가가 간종괴의 특성화에 도움이 되리라 생각한다.

결론적으로 본 연구를 통하여 저자가 제시하는 영상의 조합은 조영제 주입 전에 T1wFLASH, 비호흡정지 T2wTSE이고 조영 후에는 T1wFLASH, T2*wFISP, 비호흡정지 T2w TSE이다. 이러한 영상의 조합은 간경변 환자의 간 세포암 진단에 있어서 가장 적절한 병변 검출과 묘출도를 제공하며 병변의 특성화에 의한 악성과 양성의 감별에도 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Liu CL, Fan ST. Nonresectional therapies for hepatocellular carcinoma. *Am J Surg* 1997;173:358-365
2. Farmer DG, Rosove MH, Shaked A, Busuttil RW. Current treatment modalities for hepatocellular carcinoma. *Ann Surg* 1994;219:236-247
3. Brasch RC. New directions in the developement of MR imaging contrast media. *Radiology* 1992;183:1-11
4. Van Beers BE. Contrast-enhanced MR imaginag of the liver. *Radiology* 1997;203:297-306
5. Weissleder R, Stark DD, Engelstad BL, et al. Superparamagnetic iron oxide: pharmacokinetics and toxicity. *AJR Am J Roentgenol* 1989;152:167-173
6. Hahn PF and Saini S. Liver-specific MR imaging contrast agents. *Radiol Clin North Am* 1998;36:287-297
7. Petersein J, Saini S, and Weissleder R. Liver II: iron oxide-based reticuloendothelial contrast agents for MR imaging. *Radiol Clin North Am* 1996;4:53-60
8. Fret CJ, Elizondo G, Weissleder R, et al. Superparamagnetic iron oxide-enhanced MR imaging: pulse sequence optimization for detection of liver cancer. *Radiology* 1989;172:393-397
9. Tsang YM, Stark DD, et al. Hepatic micrometastasis in the rat : Ferrite-enhanced MR imaging. *Radiology* 1988;167:21-24
10. Saini S. Stark DD, et al. Ferrite particles: a superparamagnetic MR contrast agent for enhanced detection of liver carcinoma. *Radiology* 1987;162:217-222
11. Frets CJ, Strak DD, et al. Detection of hepatic metastases: comparison of contrast-enhanced CT, unenhanced MR imaging, and iron oxide-enhanced MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1990;155:763-770
12. Winter TC III, Freeny PC, Nighiem HV, et al. MR imaging with IV superparamagnetic iron oxide: efficacy in the detection of focal hepatic lesions. *AJR Am J Roentgenol* 1993;161:1191-1198
13. Yamamoto H, Yasuyuki Y, et al. Hepatocellular carcinoma in cirrhotic livers: detection with unenhanced and iron oxide-enhanced MR imaging. *Radiology* 1995;195:106-112
14. Bellin MF, Zaim S, Auberton E, et al. Liver metastasis; safety and efficacy of detection with superparamagnetic iron oxide in MR imaging. *Radiology* 1994;193:657-663
15. Quadkerk M, van den Heuvel AG, Wieloski Pa, et al. Hepatic lesions: detection with ferumoxide-enhanced T1-weighted MR imiaging. *Radiology* 1997;203:449-456
16. Schwarz LH, Seltzer SE, Tempany CM, et al. Superparamagnetic iron oxide hepatic MR imaging : efficacy and safety using conventional and fast spin echo pulse sequence. *J Magn Reson Imaging* 1995;5:566-570
17. Van Beers BE, Lacrosse M, Jamart J, et al. Detection and segmental location of malignant hepatic tumors: comparison of ferumoxide-enhanced gradient-echo and T2-weighted spin echo MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1997;168:713-717

18. Reimer P, Rummeny EJ, Daldrup HE, et al. Clinical results with Resovist: a phase 2 clinical trial. *Radiology* 1995;195:489-496
19. Jung G, Krahe T, Kugel H, et al. Detection of focal hepatic lesions : effects of superparamagnetic iron oxide on magnetic resonance imaging of the liver using T2-weighted fast spin-echo sequence and gradient- and spine-echo sequences at 1.0 Tesla. *Invest Radiol* 1998; 33:61-67
20. Hoe LV, Bosmans H, Aerts P, et al. Focal liver lesions: fast T2-weighted MR imaging with half-Fourier rapid acquisition with relaxation enhancement . *Radiology* 1996;201:817-823
21. 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;201:817-823
22. Stark DD, Weissleder R, Elizondo G, et al. Superparamagnetic iron oxide: clinical application as a contrast agent for MR imaging of the liver. *Radiology* 1988;168:297-301
23. Yamamoto H, Yamashita Y, Yoshimatsu S, et al. Hepatocellular carcinoma in cirrhotic livers: detection with unenhanced and iron oxide-enhanced MR imaging. *Radiology* 1995;195:106-112
24. Marchal G, Van Hecke P, Demaerel P, et al. Detection of liver metastases with superparamagnetic iron oxide in 15 patients: Result of MR imaging at 1.5T. *AJR Am J Roentgenol* 1989;152:771-775
25. Elizondo G, Weissleder R, Stark DD, et al. Hepatic cirrhosis and hepatitis: MR imaging enhanced with superparamagnetic iron oxide. *Radiology* 1990;174:797-801
26. Clement O, Frija G, Chambon C, et al. Liver tumors in cirrhosis; experimental study with SPIO-enhanced MR imaging. *Radiology* 1991;180:31-36
27. Grandin C, Van Beer BE, Robert A, et al. Benign hepatocellular tumors: MRI after superparamagnetic iron oxide administration. *J Comput Assist Tomogr* 1995;19:412-417
28. Pockler-Schoeniger C, Koepke J, Gueckel F, et al. MRI with superparamagnetic iron oxide: Efficacy in the detection and characterization of focal hepatic lesions. *Magn Reson Imaging* 1999;17(3):383-392
29. Grangier C, Tourniaire J, Mentha G, et al. Enhancement of liver hemangioma on T1 weighted MR SE images by superparamagnetic iron oxide particles. *J Comput Assist Tomogr* 1994;18:888-896

J Korean Radiol Soc 2000;42:787-796

SPIO-enhanced MR Imaging for HCC Detection in Cirrhotic Patient: Comparison of Various Techniques for Optimal Sequence Selection[1]

In-Hwan Kim, M.D., Jeong-Min Lee, M.D., Hyo-Sung Kwak, M.D., Chong-Soo Kim, M.D., Tae Kon Kim, M.D.[2], Soo Tiek Lee, M.D.[2], Hee Chul Yu, M.D.[3]

[1]*Department of Diagnostic Radiology, Chonbuk National University Hospital*
[2]*Department of Internal Medicine, Chonbuk National University Medical School*
[3]*Department of General Surgery, Chonbuk National University Medical School*

Purpose: To compare the efficacy of breathhold and non-breathhold sequences in the detection of hepatocellular carcinoma (HCC) in cirrhotic patients using superparamagnetic iron oxide (SPIO)-enhanced MR imaging, and to determine the optimal sequence combination.

Materials and Methods: By means of unenhanced and iron-oxide-enhanced MRI, 29 patients with 49 nodular HCCs were evaluated for the presence of HCC nodules. Twenty-one were male and eight were female, and their ages ranged from 38 to 71 (mean, 56) years. Eight different MR sequences were used, including four non-breath-hold sequences and four breath-hold, and images were obtained before and after the administration of S-PIO particles. Non-breath-hold sequences included T2-, proton density-weighted SE, and TSE imaging, while breath-hold sequences comprised T1-weighted fast low-angle shot (T1wFLASH), half-Fourier acquisition single shot turbo spine echo (HASTE), T2-weighted fast imaging with steady-state free precession (T2*wFISP) and T2-weighted breath-hold TSE (T2wBHTSE). Image analysis involved both quantitative and qualitative analysis. The quantitative parameters calculated were signal-to-noise (S/N) ratios for livers and tumors, contrast to noise (C/N) ratios for tumors seen on precontrast and postcontrast images, and percentage of signal intensity loss (P-SIL) after SPIO injection. Images were analysed qualitatively in terms of image artifacts and lesion conspicuity, and prior to calculating sensitivity, the numbers of lesions detected using various pulse sequences were counted.

Results: SPIO had a marked effect on liver S/N ratio but a minimal effect on tumor S/N ratio. PSIL was best in T2*wFISP images, while T2wSE images showed the second-best results ($p < 0.05$). Tumor-to-liver C/N values were also highest with T2*wFISP, while T2wTSE and HASTE images were next. Qualitative study showed that non-breath hold images and FISP were better than breath hold images in terms of lesion conspicuity. The latter, however, were much better than non-breath-hold images with regard to image artifacts ($p < 0.05$). Sensitivity after the injection of contrast material increased in every image sequence except T1wFLASH, and, in particular, postcontrast FISP and T2wTSE showed the best results ($p > 0.05$).

Conclusion: SPIO-enhanced MR imaging effectively detected hepatocellular carcinoma in cirrhotic livers. In terms of lesion detection and improvement of the lesion to liver C/N ratio, the FISP sequence was at least as good as non-breath-hold sequences, but if the T2 suppression effect of SPIO is to be obtained, other breath-hold sequences are not appropriate. To help lesion characterization, we suggest that T1w-FLASH and non-breath-hold T2w-TSE imaging are added to the optimal SPIO-enhanced MR imaging sequence.

Index words : Iron
Liver, MR
Liver, neoplasms
Magnetic resonance (MR), contrast enhancement
Magnetic resonance (MR), comparative studies

Address reprint requests to : Jeong-Min Lee, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Chonbuk National University Hospital
634-18, Keumam-Dong, Chonju-shi, Chon Buk 561-712, Korea.
Tel. 82-652-250-1152 Fax. 82-652-272-0481