

# Triple Arterial Phase Hepatic MRI Using Four Dimensional T1-Weighted High Resolutions Imaging with Volume Excitation Keyhole Techniques: Feasibility and Initial Clinical Experience in Focal Liver Lesions

Four Dimensional T1-Weighted High Resolution Imaging with Volume Excitation Keyhole Technique을 이용한 삼중 동맥기 간 자기공명영상: 국소 간 병변에 대한 초기 임상 경험과 시행가능성 분석

Bo Kyu Kim, MD, Min Ju Kim, MD, Beom Jin Park, MD, Deuk Jae Sung, MD, Sung Bum Cho, MD

Department of Radiology, Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

**Purpose:** To investigate a new image acquisition method [four dimensional T1-weighted high resolution imaging with volume excitation (4D THRIVE)] which enables an accurate hepatic arterial phase definition. The feasibility and its potential for detection and characterizing focal liver lesions (FLLs) are being evaluated.

**Materials and Methods:** 115 FLLs underwent liver MRI that included the 4D THRIVE-contrast enhanced timing robust acquisition order (CENTRA)-keyhole sequence. Triple arterial phase was obtained during a single breath-hold. Images were reviewed for image quality, lesion conspicuity, and lesion detection. Two radiologists independently assessed images from phase I, II, III and through the triple arterial phase, which were all reviewed separately and in random order. The image quality was scored by using the five-point scale, and then, one phase for lesion with greatest conspicuity was selected. The enhancement pattern for FLLs was analyzed.

**Results:** The detection rate was the highest on phase III. The image quality was greater than grade 3 with fair inter-observer agreements. The phase III showed greater conspicuity than phase I and II. Hepatocellular carcinomas ( $n = 38$ ) showed variable enhancement pattern. Metastasis ( $n = 14$ ) showed rim enhancement ( $n = 6$ ), homogenous ( $n = 3$ ) and no enhancement ( $n = 5$ ). Most hemangiomas demonstrated homogenous enhancement (6/9, 67%).

**Conclusion:** Triple arterial MRI using the 4D THRIVE-CENTRA-keyhole technique is feasible in despite of the relatively low detection rate, and is thus, helpful for the characterization of focal liver lesions.

## Index terms

Four Dimensional T1-Weighted High Resolution Imaging with Volume Excitation  
 Triple Arterial Phase Hepatic MRI  
 Focal Liver Lesion

Received May 24, 2013; Accepted July 23, 2013

**Corresponding author:** Min Ju Kim, MD  
 Department of Radiology, Anam Hospital, Korea University College of Medicine, 73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-705, Korea.  
 Tel. 82-2-920-5567 Fax. 82-2-929-3796  
 E-mail: dr.minjukim@gmail.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

간 자기공명영상에서 역동적 조영증강 영상은 가장 중요하며 간세포암이나 과혈관성 전이성 병변 등을 구분하는 데 있어서는 특히 동맥기에 얻는 영상이 가장 중요하다(1, 2). 조영제 주입 직후 얻은 영상에서, 간동맥의 공급을 받는 과혈관성 종괴의 경우 주위 간 실질보다 조영증강이 더 잘 되기 때문에 동맥

기에서 병변의 경계가 뚜렷하게 보인다. 그러므로, 이상적인 동맥기 영상은 병변은 최대 조영증강이 되면서 주변 정상 간 실질은 최소한으로 조영되는 시점이라 할 수 있겠다. 적절한 동맥기에 영상을 얻는 것이 국소 간 병변의 발견과 특성화에 매우 중요하다(3, 4). 실제로는 환자마다 혈액순환시간이 다르므로 조영제 주입 후에 언제 적절한 동맥기 조영영상을 얻는 것이 중요하게 되는데, 이를 위해 시험 주입으로 적절한 순환시간을 예

측하거나 자동 주입기를 사용하는 등의 시도를 하고 있다.

최근 자기공명영상기법 중 평행 획득 기술이 발달하게 됨에 따라 빠른 속도의 자기공명영상을 찍게 됨으로써 초기부터 후기 동맥기까지 다중 동맥기 영상을 획득하는 것이 가능해졌다. 이러한 기법은 2개 혹은 그 이상의 다중 동맥기 영상을 얻을 수 있게 함으로써 간세포암, 간선종, 혈관종, 국소결절 증식, 혹은 과혈 관성 전이 등과 같은 여러 가지 종류의 병변의 발견과 감별 진단을 좀 더 용이하게 만들었다(5, 6). 그러나, 기존의 고정된 삼중기 간 자기공명영상에서는 조영제 주입 후 20초에 영상을 얻음으로써 동맥기 영상에서 문맥에서 오는 피가 종종 섞여서 보이게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로, 시험 주입을 통한 환자별 동맥기의 적절한 시간을 예측하는 방법이 이용되고 있다. Lee 등(7)은 대동맥에서 관심영역을 설정하고, 시험 주입시 대동맥의 신호대잡음비와 대조잡음비를 측정함으로써 동맥기의 시간을 예측하였고, 간동맥의 해부학적 변이와 관계없이 50명 중 49명(98%)의 환자에서 간동맥의 적절한 명료도를 획득하였다고 보고하였다. 하지만, 시험 주입시의 환자의 호흡에 따라 동맥기 시간이 변할 수 있다는 점과 간경변증이 있는 환자에서 조영제의 도달 시간이 지연될 수 있다는 한계점을 제시하였다.

Beck 등(8)이 기술한 4차원 T1 강조 고해상 부피여기기법(four dimensional T1-weighted high resolution imaging with volume excitation; 4D THRIVE)은 keyhole technique 및 alternative view sharing technique을 이용하여 환자가 한 번 숨을 참는 동안 2개 이상의 동맥기 영상을 얻을 수 있는 기법이다. 따라서 동맥기 내에서의 다양한 조영증강 양상에 대해서 분석 가능하게 되었다. 여러 시기의 동맥기를 얻게 될 수 있게 됨에 따라 국소 간 병변의 조영증강을 자세히 볼 수 있으므로 이러한 영상 분석이 감별 진단에 도움을 줄 것으로 기대된다.

이번 연구에서는 이러한 4D THRIVE 기법을 시행하여 얻어진 영상 및 국소 간 병변을 분석하여 첫 번째로 동맥기 영상의 질 및 국소 간 병변의 발견을 평가를 통한 임상에서의 시행 가능성에 대해 알아보고자 하였고, 두 번째로 여러 국소 간 병변의 동맥기내 조영증강 양상 분석 및 기존 역동적 영상에서 알려진 동맥기 조영증강 양상과의 비교를 하고자 하였다.

## 대상과 방법

### 환자 및 임상소견

2010년 12월부터 2011년 3월까지 4D THRIVE 기법을 이용한 liver MRI를 시행 받은 47명의 환자를 후향적으로 조사하였으며, 모든 환자에서 MRI 시행 전 검사 동의서를 받았다.

16명의 환자는 간경변증이 있어 국소성 또는 미만성 질환의

유무를 확인하기 위해 검사를 받았고, 8명의 환자는 알려진 간세포암이 있어 치료 후 추적검사를 위해 검사를 받았다. 4명의 환자는 내시경적 생검에서 조직학적으로 대장암이 진단되어 전이 유무를 확인하기 위해 검사를 받았으며, 10명의 환자는 이미 알려진 대장암의 전이암이 있고, 항암치료 효과를 평가하기 위해 검사를 받았다. 내시경적으로 위암이 진단되어 전이 유무를 확인하기 위해 검사를 시행한 환자는 2명이었고, 3명의 환자는 알려진 혈관종이 있어 추적검사를 위해 검사를 받았다. 2명의 환자는 발열의 원인을 위해 시행한 복부 및 흉부 전산화 단층촬영에서 간에 국소성 병변이 발견되어 자기공명영상을 시행하였다. 연구 대상 기준은 1) 4D THRIVE 기법을 이용한 자기공명영상을 시행한 환자, 2) 적어도 하나 이상의 고형의 국소 간 병변이 발견된 환자를 포함시켰다. 그리고, 제외 기준은 1) 미만성 또는 무수히 많은 수의 병변이 있어 발견을 평가가 불가능한 환자, 2) 5 cm 이상의 큰 국소 간 병변이 있어, 발견율에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되는 환자, 3) 고형의 국소 간 병변이 발견되지 않은 환자들이었다. 47명의 환자 중, 파종성 간세포암이 있어 병변의 개수를 평가할 수 없었던 3명의 환자, 5 cm 이상의 국소 간 병변이 있는 2명의 환자는 대상에서 제외하였다. 또한, 심한 간경변증으로 인해 무수히 많은 수의 이형성 결절이 있는 3명의 환자와, 조영증강되는 병변 없이 단순 간 낭종만을 보이던 1명의 환자도 연구에서 제외되었다. 최종적으로 선택된 38명의 환자는, 전산화단층촬영술 또는 자기공명영상에서 적어도 1개 이상의 국소 간병변이 있는 경우였다. 남성은 각각 28명, 10명이었으며, 평균 나이는 58.3세(32~78세)였다.

이번 연구에 포함된 38명의 환자 중 16명은 간세포암이 있었으며, 간세포암과 이형성 결절이 발견된 환자가 2명, 간세포암과 혈관종이 있었던 환자가 1명이었다. 이형성 결절만 있었던 환자가 1명, 이형성 결절과 혈관종이 있었던 환자가 1명이었고 혈관종만 발견된 환자는 2명이었다. 대장암과 위암의 전이암이 발견된 환자는 각각 9명과 1명이었으며, 담관암이 발견된 환자가 1명, 간 농양 및 호산구성 간 농양이 있었던 환자는 각각 2명씩이었다. 38명의 환자에서 초음파, 전산화단층촬영술, 자기공명영상, positron emission tomography/computed tomography (PET/CT)를 통하여 발견된 총 115개(57개의 간세포암, 19개의 전이암, 17개의 혈관종, 10개의 이형성 또는 재생성 결절, 7개의 간 농양, 1개의 담관암, 4개의 호산구성 농양)의 국소 간 병변에 대해 분석하였다. 발견된 병변의 최종 진단은 수술적 또는 경피적간침생검을 통한 조직학적 검사 또는 전형적인 임상양상 및 영상소견으로 이루어졌다(Table 1). 이 중 31개(27%)의 병변은 조직학적으로 확진되었는데, 17개의 간세포암, 10개의 대장암

Table 1. Standards of Reference for Focal Liver Lesions

FLL (Number)	Surgical Biopsy or Resection	TACE	Clinical History and F/U Image	Typical Imaging Findings	Size Range (cm)	Mean Size (cm)
HCC (57)	17	29*	4 <sup>†</sup>	7	0.6-4.2	1.82
Metastasis (19)	11		6	2	0.8-2.5	1.43
Hemangioma (17)			14	3	0.5-2.5	1.13
DN/RN (10)			7	3	1.0-1.5	1.13
Abscess (7)	2		3	2	0.8-2.5	1.5
Cholangioc. (1)	1				3.9	3.9
Eosinophilic abscess (4)	4			4	0.5-1.2	0.7

Note. —\*27 of 29 lesions were diagnosed by AASLD guideline. The two remaining lesions were not satisfied with AASLD guideline initially, but showed lipiodol uptake on TACE.

<sup>†</sup>2 lesions were increased in size on follow-up image, and the other lesions were diagnosed by concurrent serum AFP increase (> 200 ng/mL).

AASLD = American association for the study of liver diseases, AFP = alpha fetoprotein, DN = dysplastic nodule, F/U = follow up, FLL = focal liver lesion, HCC = hepatocellular carcinoma, RN = regenerative nodule, TACE = transarterial chemoembolization

의 전이암, 2개의 간 농양, 그리고 위암의 전이암과 담관암이 1 개씩이었다.

조직학적 진단이 이루어지지 않은 14명의 간세포암 환자에서 40/57(70%)개의 병변에 대해서는 American association for the study of liver diseases (AASLD) guideline에 따라 진단이 이루어졌다. 1개 혹은 2개의 역동적 영상에서 특징적인 조영증강 양상 또는 혈장 알파태아단백의 상승(200 ng/mL 이상)이 있는 경우(13명의 환자, 총 38개의 병변) 간세포암을 진단하였다(9). 나머지 2개의 병변은 1 cm 이상, 2 cm 미만의 크기의 병변에서 1개의 역동적 영상만을 시행하고 알파태아단백이 200 이하로 AASLD guideline의 진단기준에 해당하지 않았으나, 경동맥 화학 색전요법에서 lipiodol 침착이 있어 간세포암으로 진단하였다. AASLD guideline에 따라 진단한 38개의 병변 중 lipiodol의 침착을 보이는 병변은 27개였으며, 추적 검사에서 크기가 증가하는 경우는 2개, 2 cm 이상의 병변에서 alpha fetoprotein의 상승이 있어 진단한 경우는 2개, 전형적인 영상 소견만으로 진단한 경우는 7개였다. 전이암(8/19, 42%)은 원발성 종양이 조직학적으로 진단되었으며, 추적 검사에서 병변의 수 또는 크기가 증가하는 경우( $n = 1$ ), 항암제 치료에 반응하는 경우( $n = 5$ ) 또는 전형적인 환형 조영증강( $n = 2$ )을 보일 때 진단하였다. 혈관종(17/17, 100%)은 특징적인 T2 강조영상에서의 고신호 및 동맥기 영상에서 주변 결절형 조영증강이 있거나, 점진적인 구심성 조영증강을 보이며( $n = 17$ ), 추적 검사에서 변화가 없을 때( $n = 15$ ) 진단하였고, 간 농양(5/7, 71%)은 주변부의 조영증강과 임상양상으로 진단하였다. 호산구성 농양(4/4, 100%)은 자기공명영상의 영상 소견 및 말초혈액에서의 호산구의 증가와 추적 검사에서 병변의 소실됨과 동시에 호산구 수치의 정상화가 있을 때 진단할 수 있었다. 특징적인 영상 소견에 의한 병변의 진단은 동맥기의 자기공명영상뿐만 아니

라, 문맥기, 지연기 영상, T2 강조영상, 확산강조영상 및 전산화단층촬영, PET/CT를 모두 참고하였다.

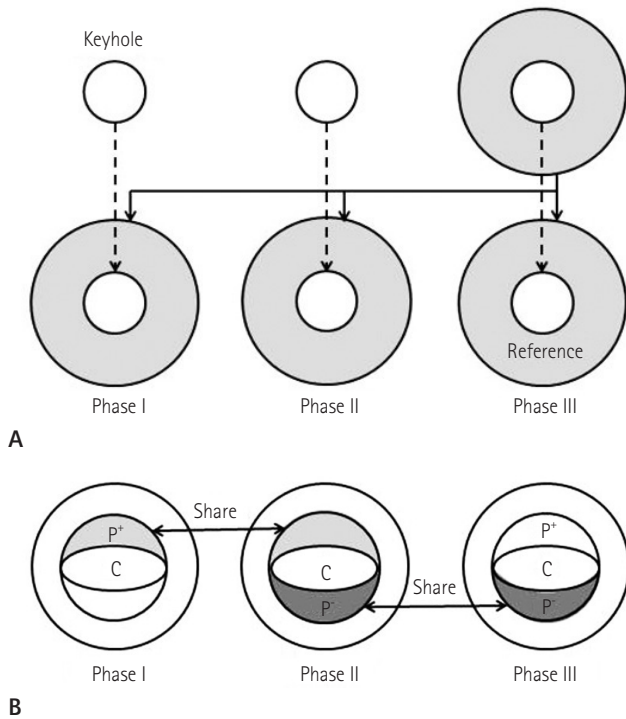
### 자기공명영상 기법

모든 환자에서 3T MR scanner (Intera Achieva, Philips Medical Systems, Best, Netherlands)를 이용하여 영상을 획득하였고, 32 elements SENSE torso/cardiac coil을 사용하였다. 조영 전 동맥기 횡단면 T1 강조 3D 영상을 먼저 시행하였으며, repetition time (TR)/echo time (TE) 3/2, 숙임각(flip angle) 10°, 행렬 크기(matrix) 380 × 299, 절편 두께 2.5 mm, 영상범위 324(RL) × 380(AP)이었고, SPIR 지방억제기법을 이용하였다. T2 강조영상은 TR/TE 954/80, 숙임각 90°, 행렬 크기 320 × 290, 절편 두께 8 mm, 영상범위 320(RL) × 316(AP), SPIR 지방억제기법을 이용하였다. 이후, 동맥기 횡단면 영상을 얻기 위해 T1 3D GRE 기반의 4D THRIVE 기법을 이용하였고, 펄스 연쇄로는 고속훼손경사예코(fast spoiled gradient echo), SPIR 지방억제기법, TR/TE 3/2, 숙임각 10°, 행렬 크기 380 × 330, 절편 두께 2.5 mm, 영상범위 323(RL) × 380(AP)이고 연속적으로 3개의 동맥기 영상을 획득하였다. Gadoxetic acid (Primovist, Bayer, Berlin, Germany)를 조영제로 사용하였고, 말초 정맥을 통하여 조영제의 정량은 0.1 mL/kg, 주입 속도는 2 mL/sec로 하였다. 조영제 주입 후에 20 mL의 saline을 2 mL/sec로 주입하였다.

동맥기 영상의 시기는 실시간 자기공명영상 투시 기법(real-time MR fluoroscopic technique)을 이용하였다. 조영제 주입 전 우심방에 관심영역을 설정하고, 조영제 주입과 동시에 1초 간격으로 같은 위치의 횡단면 영상을 획득한다. 조영제가 우심방에 도달하는 것을 검사자가 확인하면 시작버튼을 누르고 6~7초 간의 호흡 조절 안내가 환자에게 전달된다. 환자가 한

번 숨을 참는 동안 3개의 동맥기 영상을 한꺼번에 획득하며, 약 17~18초의 시간이 소요되었다.

4D THRIVE 기법은 3차원 지방포화 훼손경사예코영상(3D fat-saturated spoiled gradient echo sequence)에 기반을 두고 있으며 여러 번의 동맥기 영상을 빠르게 얻으면서도, HalfScan

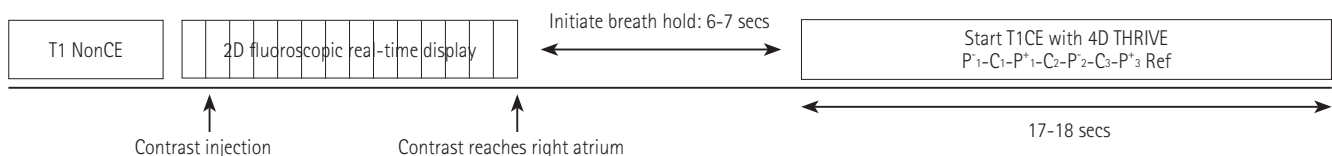


**Fig. 1.** Schematic image of the keyhole technique **(A)** and the alternating viewsharing technique **(B)**. The peripheral k-space data, called reference, is acquired only in last arterial phase and is shared with every phase. The central k-space data is determined by the keyhole percentage. In four dimensional T1-weighted high resolution imaging with volume excitation, the central ky-kz disc (keyhole) is subdivided in three regions, P<sup>+</sup> (positive peripheral region), C (central region) and P<sup>-</sup> (negative peripheral region). The central region is acquired every arterial phase, but P<sup>+</sup> and P<sup>-</sup> are shared with subsequent phase according to alternating viewsharing scheme as shown above. The view sharing percentage is determined by the rate of the area occupied by P<sup>+</sup> (or P<sup>-</sup>) and C to the whole central disc.

(Partial Fourier acquisition), Sensitivity Encoding (SENSE), 3D dynamic elliptical keyhole technique을 같이 사용하여 측면해상도와 공간해상도의 손실을 최소화하였다(8, 10). 또한, 열쇠 구멍기법(keyhole technique)은 각각의 동맥기의 영상획득에서 k-space의 중심부에 해당하는 keyhole (disc)만을 획득하고, 마지막 동맥기 영상에서 획득한 peripheral k-space 데이터(reference)를 공유하는 방법이다(Fig. 1A). 여기에 4D THRIVE 기법에서는 alternating viewsharing technique이 추가로 적용되었다. Alternating viewsharing technique은 keyhole을 다시 3가지 부분으로 세분화하여(P<sup>+</sup>, C, P<sup>-</sup>) 중심부에 해당하는 C는 매 동맥기 영상시 획득하게 되고, 주변부에 해당하는 P<sup>+</sup>와 P<sup>-</sup> (positive and negative peripheral region of central disc)는 번갈아가며, 각각 다음과 이전 시기의 동맥기 영상과 공유됨으로 영상 획득 시간을 단축할 수 있다(Fig. 1B)(8, 10). K-space의 중심부부터 데이터를 획득하게 되며, P<sup>+</sup>-C-P<sup>-</sup>-C-P<sup>+</sup>-C-P<sup>-</sup>의 순서로 3번의 동맥기 영상의 keyhole 데이터를 얻고 마지막으로 나머지 주변부의 k-space에 해당하는 reference 데이터를 획득한다(Fig. 2). 각 동맥기의 k-space의 재구성은 Fig. 1에서 설명된 바와 같이 처음으로 획득한 P를 phase I과 phase II가 공유하고, 두 번째로 얻은 P<sup>+</sup>를 phase II와 phase III가 공유함으로 이루어진다. 또한 마지막에 얻은 reference data는 모든 동맥기의 주변 k-space 데이터와 공유하게 된다. Keyhole의 백분율은 전체 k-space의 32%였으며, view sharing percentage는 55%였다.

### 영상의 분석

두 명의 복부 영상 전문의(각각 10년, 7년 복부 영상의학 전문 경험)가 각각 독립적, 후향적으로 영상을 평가하였다. 검사자들은 환자의 임상증상, 검사소견, 그리고 다른 영상 소견들에 대한 정보는 모르는 상태였다. 먼저 각 검사자는 3상의 동맥기 영상(phase I, II, III) 중 차례대로 하나의 phase만을 보면서 발견되는 국소 간 병변의 개수를 평가하였다. 각각의 phase에 대



**Fig. 2.** A timing diagram shows the sequence of T1 weighted image acquisition. First, T1 weighted image without contrast injection is acquired within one breath hold. With short time of interval, contrast injection starts via peripheral venous route after delivering a message. 2D fluoroscopic real time imaging which is followed by contrast administration shows right atrium as we selected. When the contrast reaches right atrium, the MRI technologist manually presses the button to cessation of real-time display and to initiate breath-holding instructions. With one breath hold, three arterial phases are acquired with 4D THRIVE technique. According to alternating view sharing scheme as described, central disc of three phases are acquired first, and finally peripheral k-space data is acquired.

Note.—4D THRIVE = four dimensional T1-weighted high resolution imaging with volume excitation



한 평가는 무작위 순서로 이루어졌으며 평가 간 사이는 1주일 이상의 시간 차를 두었다. 이후 3 phase의 영상을 동시에 보면서 보이는 국소 간 병변의 수를 평가하였다. 이 때에 각각의 병변에 대해서 동맥기 내의 조영증강 양상에 대해 기술하였고, 다음의 6가지 중 하나로 평가하였다(환형, 균질함, 비균질함, 결절 내 결절양, 구심성, 조영증강 없음). 각각의 조영증강 소견은 환형 조영증강은 결절의 주변부에 간 실질과 비교시, 얇은 고리 모양의 T1 고신호강도가 보이며, 내부에는 저신호강도가 3개의 동맥기에서 변함없이 보이는 경우(대표적 예, 전이성 병변), 구심성 조영증강은 결절의 바깥쪽이 고신호강도를 보이며, 3개의 연속된 동맥기에서 중심부를 향하여 점점 조영증강 되는 면적이 증가할 때(대표적 예, 혈관종)로 평가하였다. 균질함은 결절이 모두 비슷한 강도로 조영증강될 때, 결절 내 결절양은 저신호강도를 보이는 결절 내부에 고신호강도를 보이는 작은 결절이 보일 때(대표적 예, 간세포암) 평가하였다. 이 네 가지의 조영증강 양상 중 어느 것에 속하지 않고 불규칙한 양상의 조영증강을 보일 때에는 비균질 조영증강으로 평가하였으며, 3개의 동맥기에서 모두 저신호강도를 보이며, 내부에 고신호강도를 보이는 조영증강이 없는 경우는 조영증강 없음으로 평가하였다.

영상의 질 평가에 대해서는 5점 척도를 이용하였으며 1~5점 (5: 판독을 방해하는 인공물이 거의 없으며 영상의 질이 우수함; 4: 일부의 인공물이 있으나, 판독에 방해가 되지 않으며, 영상의 질이 좋음; 3: 중간 수준의 인공물이 있으나 영상의 판독은 가능함; 2: 판독에 방해가 될 정도의 인공물이 존재함; 1: 심한 인공물로 인하여 판독이 불가함)의 범위로 평가하였다.

병변의 명료도는 3 phases의 동맥기 영상을 동시에 비교하면서 주변의 정상 간 실질과 대조도가 가장 높은 영상을 1개만 택하여서 표기하였다.

## 통계분석

통계적 처리는 SPSS (Version 13.0 for windows software package, Chicago, IL, USA)를 사용하였으며, 두 명의 검사자가 평가한 영상의 질의 평균 차이를 확인하기 위해 dependent *t*-test, 신뢰수준 95%를 이용하였다. 두 명의 검사자의 발견율의 차이는 McNemar test로 분석하였다. 병변의 명료도에 있어

서 각 phase의 차이가 있는가를 평가하기 위해  $\chi^2$  검정을 이용하였다. 또한 두 명의 검사자 간의 평가한 영상의 질과 병변의 명료성에 대한 일치도(agreement)를 weighted kappa 통계 기법으로 분석하였다( $\kappa < 0.21$ , poor agreement;  $\kappa = 0.21 \sim 0.40$ , fair;  $\kappa = 0.41 \sim 0.60$ , moderate;  $\kappa = 0.61 \sim 0.80$ , good;  $\kappa > 0.80$ , excellent).

## 결과

이번 연구에서 사용한 4D THRIVE 기법에서는 획득하는 동맥기 영상의 수와 전체 k-space에서 keyhole이 차지하는 면적의 백분율에 따라 획득 시간이 결정되며, 본 연구에서는 reference data를 획득하는 데 약 13초의 시간이 소요되었고, 따라서 하나의 동맥기 영상을 획득하는 데 약 2.3초가 소요되며[13 seconds  $\times$  0.32(keyhole percentage)  $\times$  0.55(viewsharing percentage)], 3 phases의 동맥기 영상을 획득하는 데에는 약 17~18초의 시간이 소요되었다. 모든 환자가 이 시간 동안 숨을 참는 데 큰 어려움은 없었다.

Table 1에 기술된 바와 같이 담관암의 경우를 제외한 국소 병변의 평균 크기는 2 cm 미만이었다. 또한 이 중 31개의 병변은 1 cm 미만으로 측정되었다. 3 phases의 동맥기 영상에서 두 명의 검사자의 국소 간 병변의 발견율은 phase I에서 각각 38(33%), 58(50%), phase II에서 56(49%), 70(61%), phase III에서 71(62%), 82(71%)로 나타났다. 3개의 동맥기 영상을 같이 평가하였을 때에는 두 검사자 모두 71(62%)개의 국소 간 병변을 발견하였다(Table 2).

2명의 검사자가 평가한 영상의 질의 평균은 각각 3.58, 3.37로, 점수의 의미는 인공물이 존재하지만, 판독에 영향을 끼치지 않는 것으로 평가하였다. *p*-value는 0.399로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 영상의 질이 우수함(5점) 또는 좋음(4점)으로 평가한 환자의 수는 각각 23명(61%)과 19명(50%)이었다. 반면에 심한 인공물로 판독이 불가능한 환자(1점)는 각각 2명(5.3%), 3명(7.9%)이었다. 6명(16%)의 환자에서는 국소 간 병변이 발견되지 않거나, 영상의 질이 진단에 불충분하여 병변의 명료성을 평가할 수 없었으며, 나머지 32명의 환자 중

Table 2. Liver Lesion Detection Rate for Each Arterial Phase

	Liver Lesion Detection			
	Phase I	Phase II	Phase III	All Phases
Observer 1 (%)	38/115 (33)	56/115 (49)	71/115 (62)	71/115 (62)
Observer 2 (%)	58/115 (50)	70/115 (61)	82/115 (71)	71/115 (62)
<i>p</i> -value*	0.007	0.054	0.152	1.000

Note. —\**p*-value based on McNemar test.

phase III에서 정상 간 실질과 가장 높은 대조도를 보인 환자가 각각 26명, 23명으로 나타났다. 3개의 phase를 비교시 두 검사자에서 모두  $p < 0.001$ 로 phase 간에 차이가 있었으며, phase

I, II와 phase III의 두 집단을 비교시 검사자 1에서  $p$ -value는 0.041, 검사자 2에서 0.030을 보여, phase III가 phase I 및 II와 비교시 유의하게 높은 대조도를 보임을 확인할 수 있었다

**Table 3. Comparison of Image Quality and Conspicuity Scored by Two Observers**

Point	Image Quality						<i>p</i> -Value*
	1	2	3	4	5	Mean	
Observer 1	2	5	8	15	8	3.58	0.399
Observer 2	3	7	9	11	8	3.37	
	Conspicuity						<i>p</i> -Value <sup>†</sup>
	Phase I		Phase II		Phase III		
Observer 1	1		5		26		< 0.05
Observer 2	2		7		23		< 0.05

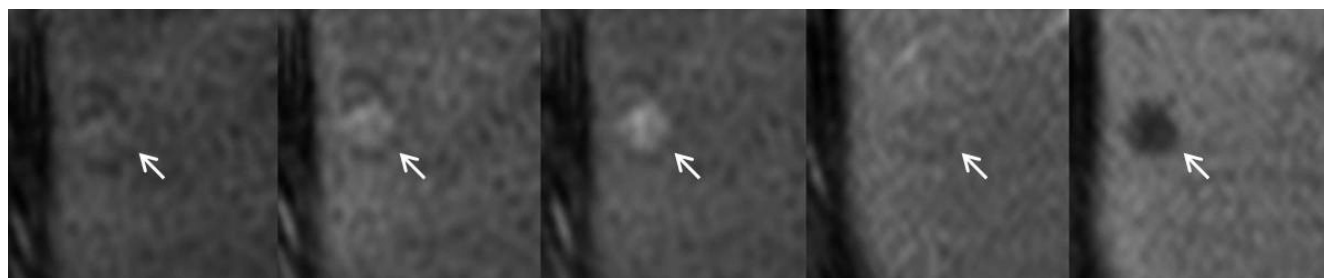
Note.—\* $p$ -value is based on dependent  $t$  test results.

† $p$ -values are based on  $\chi^2$  test results.

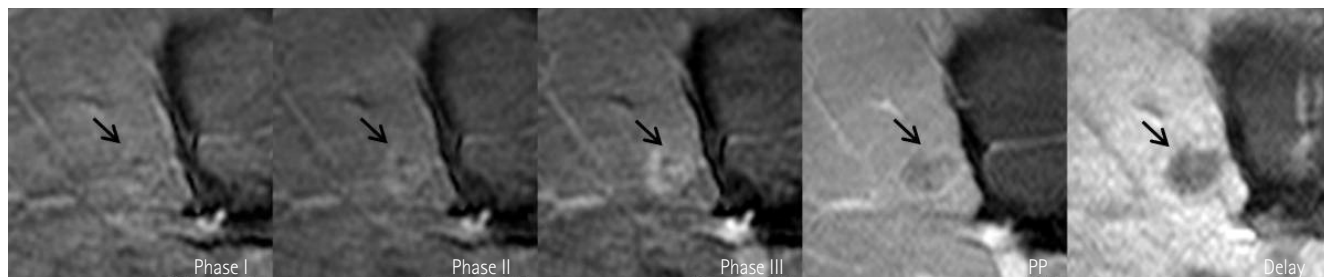
**Table 4. Image Features of Focal Hepatic Lesions on Triple Arterial Phase MRI**

FLL (Number)	Rim	Homogeneous	Heterogeneous	Nodule-in-Nodule	Centripetal	No Enhancement
HCC (%) (38)	7 (18)	19 (50)	9 (24)	2 (5)		1 (3)
Metastasis (%) (14)	6 (43)	3 (21)				5 (36)
Hemangioma (%) (9)		6 (67)			3 (33)	
DN/RN (%) (8)		3 (38)				5 (62)
Abscess (%) (6)	4 (66)	1 (17)				1 (17)
Cholangiocarc. (%) (1)			1 (100)			
Eosinophilic abscess (%) (4)		2 (50)				2 (50)

Note.—DN = dysplastic nodule, FLL = focal liver lesion, HCC = hepatocellular carcinoma, RN = regenerative nodule



**A**



**B**

**Fig. 3.** Small HCCs in two different patients. From left to right, dynamic T1 weighted MRI images from three consecutive arterial phases, portal phase and delayed phase are shown.

**A.** Images from 49 years old male patient demonstrate a small hepatic nodule with gradual homogeneous arterial enhancement and delayed washout (white arrows).

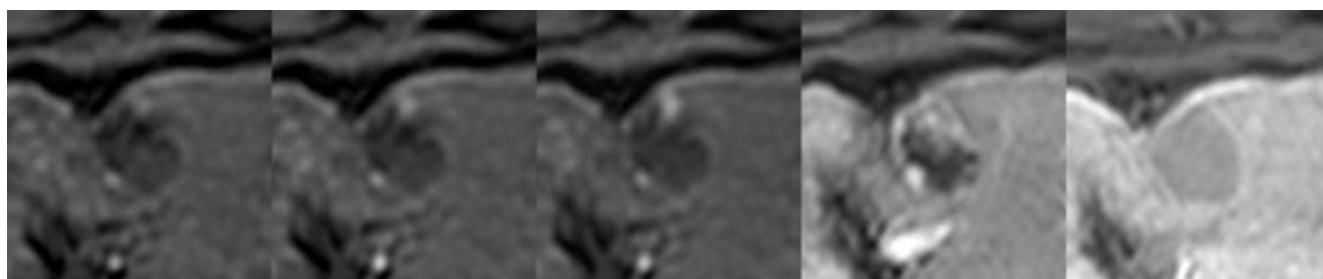
**B.** In images from another 59 years old male patient with HCC show heterogeneous enhancement (black arrows).

Note.—Delay = 20 minutes delayed phase, HCC = hepatocellular carcinoma, PP = portal phase

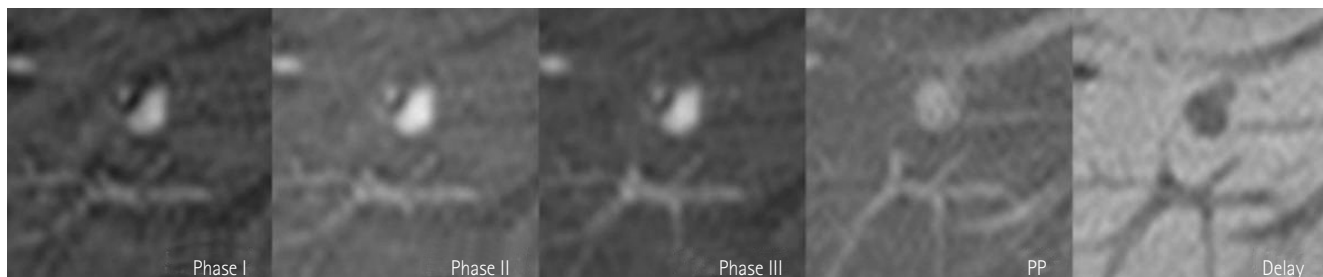


**Fig. 4.** Surgically confirmed hepatic metastasis from colon cancer in 57 years old patient. In arterial phase, the lesion shows peripheral rim enhancement. There is no definite difference of degree of contrast enhancement between each arterial phase.

Note.—Delay = 20 minutes delayed phase, PP = portal phase



**A**



**B**

**Fig. 5.** Small hemangiomas in two different patients.

**A.** Dynamic T1 weighted contrast enhanced dynamic MRI shows typical peripheral nodular and centripetal enhancement of hemangioma.

**B.** Dynamic MRI images from another patient with small hemangioma show homogeneous enhancement. Note the degree of enhancement is same as that of adjacent hepatic arteries.

Note.—Delay = 20 minutes delayed phase, PP = portal phase

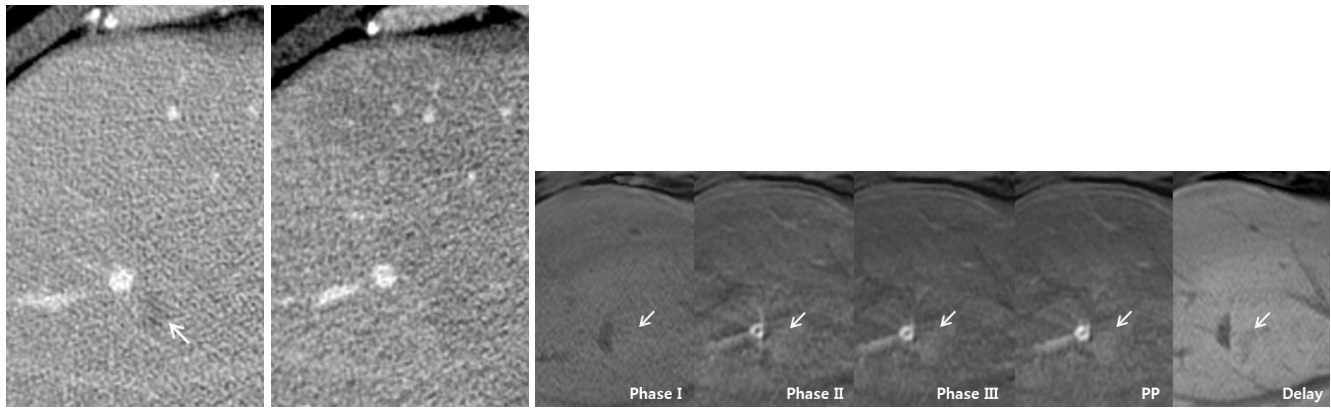
(Table 3).

각각의 국소병변의 조영증강 양상은 Table 4에 정리하였다. 간 세포암의 경우 50%에서 균질한 조영증강 양상을 보였으며, 비 균질(24%), 환형(18%), 결절 내 결절양(5%)의 순으로 조영증강 양상을 보였으며, 1개의 병변에서는 동맥기 조영증강이 관찰되지 않았다(Fig. 3). 전이암의 경우 43%에서는 환형 조영증강 양상을 보였으며, 36%의 병변에서는 뚜렷한 조영증강을 보이지 않았다(Fig. 4). 혈관종의 경우도 구심성 조영증강은 33%에서 보였으며, 나머지 67%에서는 균질한 조영증강 양상을 보였다(Fig. 5). 이형성 결절과 재생성 결절은 62%에서 뚜렷한 조영증강을 보이지 않았으며, 나머지 38%에서는 균질한 조영증강을 보였다. 간 농양은 66%에서 환형 조영증강을 보였고, 호산구성 간 농양에서는 50%에서 균질한 조영증강을 보였다(Fig. 6).

두 명의 검사자 간의 kappa 통계 분석을 통한 일치도는 영상 의 질과 병변의 명료성에서 각각 0.448, 0.532를 보여 중간 정도의 일치도를 보였다.

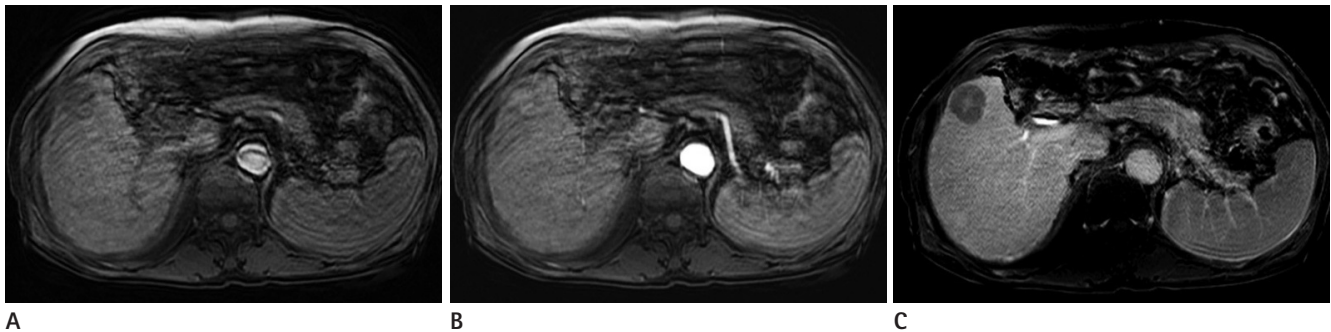
## 고찰

본 연구에서 4D THRIVE with CENTRA 기법을 사용한 검사에서 두 명의 관찰자의 국소 간 병변의 발견율은 각각 71/115 (62%), 82/115(71%), 평균 76.5/115(66.5%)로 나타났다. Cantwell 등(11)은 자기공명영상에서 대장암의 전이암의 발견율을 약 95.4%로 보고하였으며, Parikh 등(12)은 T2 강조영상과 확산강조영상에서 국소 간 병변의 발견율을 각각 70.1%, 87.7%로 보고하였다. 하지만 두 연구에서는 국소 간 병변의 크



**Fig. 6.** 56 years old male patient with increased peripheral eosinophilic count. Portal phase CT **(A)** shows ill defined low density lesion (arrow). After 4 months, the lesion was disappeared on follow-up CT **(B)** and eosinophilic count was normalized. Dynamic MRI **(C)** shows subtle homogeneous enhancing lesion on arterial phase. And this lesion shows low signal intensity when compared with adjacent liver parenchyma on delayed phase (arrows).

Note.—Delay = 20 minutes delayed phase, PP = portal phase



**Fig. 7.** Marked ringing artifact induced by respiratory motion. The artifact is shown on equally both phase I **(A)** and phase III **(B)**, obscuring underlying focal liver lesion. A low signal intensity focal liver lesion is shown in delayed phase image **(C)** which is acquired during another breath hold.

기에 대한 고려가 없었으며, Cantwell 등(11)의 연구에서는 조영증강을 포함한 모든 자기공명영상 기법을 이용하였기 때문에 높은 발견율을 보였을 것으로 생각된다. Kim 등(13)은 2 cm 이하의 작은 국소 간 병변에 있어서 자기공명영상의 발견율을 91.9%로 보고한 바 있는데, 이 연구에서도 T2 강조영상 및 지연기 영상을 진단에 이용하였다. 본 연구에서는 동맥기 영상만을 진단에 사용하였고, 평균적인 병변의 크기가 2 cm 이하였기 때문에 비교적 낮은 발견율을 보인 것으로 생각된다. 병변을 발견하기 어려운 경우는 대부분 인공물에 의한 영상의 질이 떨어지는 경우가 대부분이었다. 특히 영상의 질이 1~2점으로 진단 가능한 수준에 미치지 못한 영상에서 모든 영상에 같은 양상의 환인공물이 관찰되었다(Fig. 7). 이러한 인공물이 생기는 이유는 4D THRIVE 기법에서는 마지막 동맥기 영상에서 reference k-space 데이터를 획득하여, 이전의 동맥기 영상과 공유하기 때문에 마지막 phase에서 움직임이 발생하면 모든 동맥기 영상에 동일하게 영향을 미치게 된다. 영상획득 시간이 17~18초로

짧아졌음에도 불구하고, 폐의 질환이 동반되어 있거나 Child-Pugh class C의 전신 상태가 나쁜 환자에서는 숨을 끝까지 참지 못하여 환인공물이 빈번하게 관찰되었다. 따라서 이와 같이 호흡조절을 잘 하지 못할 것으로 예상되는 환자의 경우 reference 데이터의 획득을 phase I의 동맥기에 시행한다면, 환인공물의 감소에 도움을 줄 것으로 생각된다. 이러한 인공물이 생기는 또 다른 이유로는 자기공명영상 기법 자체와는 상관없는 조영제에 의한 호흡조절 실패로 인한 발견율의 저하이다. Davenport 등(14)에 따르면, gadoxetate disodium을 사용시 동맥기 영상에서 gadobenate dimeglumine에 비해 유의하게 호흡조절 실패 및 운동인공물이 많이 보인다고 보고하였고, 약 17%의 환자에서 심한 영상의 질 저하가 있었다. 이 조영제를 주입할 때 환자들이 호흡곤란과 같은 불편감을 호소하였고 이로 인해 인공물 발생이 야기되었다(14). 이번 연구에서도 판독이 불가능한 정도를 의미하는 영상의 질이 1점 또는 2점인 환자가 두 검사자에서 각각 7명(18%), 10명(26%)으로 나타나, 조영제에 의한 심한 영



상의 질 저하가 발견을 저하에 상당한 영향을 미쳤음을 시사한다. Keyhole percentage의 감소나 viewsharing percentage의 증가는 영상획득 시간의 단축을 가져오지만, 측면해상도의 손실이 발생하며, reference data의 비중이 늘어나면서 운동인공물에 더 민감하게 되는 결과를 가져오게 된다. 따라서 운동인공물을 줄이기 위해 적절한 keyhole percentage의 설정이 중요하며, 조영제의 용량을 줄이거나, gadoxetate dimeglumine과 같은 조영제를 사용시 영상의 질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 Tanimoto 등(15)은 gadoxetic acid의 인공물 발생에 있어 조영제의 주입속도를 느리게 하거나, 정사각형의 행렬을 이용한 환자에서 그렇지 않은 집단과 비교시 통계적으로 유의하게 인공물이 적게 발생이 되었다고 보고하였는데, 본 연구에서도 주입속도를 1.5 mL/sec로 낮춤으로 인공물 발생을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

또한 심한 간경변증이 있거나, 반복적인 경동맥 화학 색전요법을 시행한 환자에서 간동맥의 손상이나, Kupper cell의 기능 저하로 인한 동맥기 조영증강의 지연에 의한 위음성에 의해서도 발견율의 저하가 있을 것으로 생각된다. 연구에 포함된 환자 중 3명(8%)은 Child-Pugh score C, 7명(18%)은 Child-Pugh score B의 진행된 간경변증을 가지고 있었다.

하지만 이러한 인공물의 빈번한 발생에도 2명의 검사자가 평가한 영상의 질의 평균은 각각 3.58, 3.37로 전반적인 영상의 질이 판독에 유의하게 영향을 주지 않는 것으로 평가되었으며, 두 검사자 간의 발견율의 차이가 통계적으로 유의하게 다르지 않아 이러한 영상 기법이 임상적으로 시행 가능할 것으로 보인다. 특히 조영제에 의한 인공물의 생성을 억제할 수 있다면 지금보다 더 나은 영상을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 이번 연구에서는 모든 환자에서 초기, 중기, 말기의 각각 세 개의 동맥기를 얻음으로써, 이 중 우리가 원하는 이상적인 동맥기 영상을 찾을 수 있었다. 혈관과다성 국소 간 병변은 대부분 간 동맥에 의해 혈류 공급을 받으며, 따라서 80%의 혈류를 간문맥에 의해 공급받는 간 실질과 동맥기에서 잘 구분이 된다(7). 일반적으로 동맥기 영상의 획득 시점은 정맥 내 조영제 주입시기부터 15~30초에 일어나게 된다(7). 하지만, 환자에 따른 적절한 동맥기의 시점은 개인의 혈류 순환기능에 따라 변할 수 있다(16). Sharma 등(17)에 따르면 실시간 덩어리추적방법이 고정 시점의 동맥기 영상획득과 비교시 유의하게 이상적인 동맥기 영상을 얻을 수 있다고 보고하였다. 하지만 6%의 환자에서는 너무 이른 시점에 영상의 획득이 이루어졌다. 실시간 덩어리추적방법은 주로 심방 또는 대동맥에서 관심영역을 지정하게 되는데, 특히 심박출량이 저하되어 있거나, 반복적인 경동맥색전술로 인하여 동맥의 전반적인 손상이 있는 환자, 간동맥

의 해부학적 변이가 있는 경우에는 심방 또는 대동맥에서 간동맥까지의 혈류가 도달하는 시간이 길어지기 때문에 이른 시점에 동맥기 영상이 얻어지게 된다.

한편, 다중 동맥기 영상은 기존의 단일 동맥기 영상보다 획득 시간의 절약과, 더 이상적인 동맥기 영상의 획득을 가능하게 해주는 것으로 알려져 있다. Yoshioka 등(18)에 따르면 2중 동맥기 영상이 단일 동맥기 영상보다 국소 간 병변의 발견에 있어서 더 높은 민감도와 양성예측도를 보여준다고 보고되었으며, Low 등(6)은 2중 동맥기 영상에서 약 91%의 환자에서 이상적인 후기 동맥기 영상을 획득하였다고 보고하였다. 연구 결과상, 간 병변의 발견과 병변의 명료성이 phase III에서 유의하게 높다고 나왔으며, 이는 세 개의 동맥기를 한꺼번에 본 것과 비슷한 결과가 나왔다. 이 결과는 지금까지 하나의 동맥기만을 사용하는 경우 평균 조영제 주입 후 약 31초에 얻고 있는 것이 가장 병변을 잘 볼 수 있다는 것에 근거가 될 수 있다. 본 연구에서 phase III, 즉 late arterial phase는 조영제 주입 후 평균 31초에 얻는 것으로 나타났다. 그러나, 지금까지 사용한 late arterial phase와 더불어 여러 개의 동맥기를 얻게 되면 병변의 조영증강 양상을 얻을 수 있게 됨으로 병변의 감별진단에 도움을 받을 수 있을 것으로 보인다.

앞에서 언급했듯이 다중 동맥기 영상은 병변의 동맥기 내에서의 조영증강 양상의 연구에도 도움을 준다. Ito 등(19)은 간세포암이 빠른 조영증강과 빠른 세척(washout)을 보이는 반면에 과혈관성 거짓종양에서는 동맥기 동안 조영증강이 지속되는 것으로 보고하였다. 또한 Coenegrachts 등(10)은 다양한 병변에서 조영증강에 따른 신호강도를 정량적으로 분석하여 간의 전이암과 양성 국소간 병변(혈관종, 국소결절증식) 간에 유의한 차이가 있음을 보고하였다. 본 연구에서 각각의 동맥기 영상의 시간차이는 약 2.3초의 짧은 시간이었음에도 동맥기 내에서의 조영증강의 변화를 잘 관찰할 수 있었으며, 기존의 역동적 자기공명영상 또는 전산화단층촬영술에서 관찰되었던 조영증강 양상과 유사한 결과를 보였다(2, 20). 또한 간세포암과 혈관종의 경우는 phase III에서 phase I, II보다 점점 신호강도가 올라가는 양상을 보인 반면, 전이암과 간 농양의 경우는 조영증강의 신호강도에 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 본 연구에서는 이에 대한 정량적인 분석은 시행되지 않았다.

간세포암의 경우 다양한 조영증강 양상을 보였는데, 균질한 조영증강을 보인 경우가 19/38(50%)로 가장 많았고, 비균질성 조영증강이 9/38(24%)로 두 번째로 많은 조영증강 양상을 보였다. 하지만, 전이암의 경우, 일반적으로 알려진 환형 조영증강은 6/14(43%)에서만 관찰되었으며 균질한 조영증강과 조영증강 없음을 보인 병변이 각각 3/14개(21%), 5/14개(36%)

였다. 이번 연구에서 전이암은 원발성 병소가 위 또는 대장이었는데 위암 또는 대장암은 대부분 혈관과소성(hypovascular) 전이를 보이며, 주로 환형 조영증강을 보인다. Danet 등(21)은 1.5 cm 이하의 대장암의 전이암이 혈관과다성을 보이며, 균질한 조영증강을 보일 수 있음을 보고하였고, Yu와 Rofsky (22)는 51개의 대장암의 전이암에서 10개의 병변이 뚜렷한 조영증강이 없음을 보고한 바 있다. 혈관종의 경우 구심성 조영증강은 3/9(33%)에서, 6/9(66%)에서는 균질한 조영증강을 보였다. 급속 충만성 혈관종(rapid filling hemangioma)의 경우 동맥기 영상에서 균일한 조영증강을 보일 수 있으며, 병변의 크기가 작은 경우 더 빈번하게 관찰되기 때문으로 생각된다(23). Table 1에서 기술한 바와 같이 이번 연구에 포함된 국소 간 병변의 크기가 대체로 2 cm를 넘지 않았기 때문에, 비전형적인 영상소견이 빈번하게 관찰되었을 것으로 보인다.

Byun 등(24)은 동맥기 영상에서 조영증강을 보인 비전형적인 호산구성 간농양의 증례를 보고한 바 있는데, 203개의 증례 중 3개의 증례에서만 조영증강이 확인되었다. 조직학적으로 호산구성 침윤으로 인한 간문맥의 일시적인 폐쇄가 일어나면서 호산구성 농양이 형성되게 되는데, 이 때 간문맥의 보상성 혈류 증가가 일어나면서 동맥기에서 조영증강을 보일 수 있다. 하지만 이러한 간문맥의 폐쇄는 일시적이기 때문에 단일 동맥기 영상에서는 잘 발견되지 않을 수 있다. 본 연구에서는 4개의 호산구성 간농양 중 2개에서 균일한 조영증강을 보였는데, phase I에서는 주변 실질과 잘 구분이 되지 않았지만, phase III에서는 비교적 발견이 용이하였다. 이는 호산구성 농양이 동맥기에서 조영증가되는 빈도가 실제보다 높을 수 있음을 시사한다.

이번 연구에서의 제한점은 첫째, 대상군 환자와 간 병변의 개수가 적었던 점으로 유의한 통계적 근거를 제시하기 위하여 좀 더 많은 대상군이 필요한 점이다. 둘째, 간 병변의 진단에서 일부의 병변에서만 조직학적 확인이 이루어져 병변의 진단정확도가 떨어질 수 있다는 점이다. 셋째, 신호대잡음비의 측정을 통해 동맥기 내의 조영증강에 대한 정량적인 연구가 시행되지 않은 점이다. 마지막으로 인공물이 생긴 원인을 분석할 수 있는 근거를 위하여 standard reference가 되는 데이터를 여러 phase에 적용해 보지 못하였으며, 조영제의 영향을 제거하지 못하였다.

본 연구에서는 일부의 환자에서 인공물에 의한 영상의 질의 저하가 관찰되었지만, 전반적으로 진단적 가치가 있는 3점 이상의 영상을 획득할 수 있었으며, 과혈관성 간 병변을 진단하는데 가장 유용한 중기 혹은 후기 동맥기의 영상을 얻을 수 있었다. 또한 2 cm 미만의 작은 국소 간 병변에서도 기존의 역동적 영상을 통해 알려진 조영증강 양상과 더불어 동맥기 내에서의 조영증강의 변화를 관찰할 수 있었다. 알려진 바와 달리 본 연

구에서는 국소 간 병변의 비전형적인 조영증강의 빈도가 비교적 높게 나타났다. 이것은 이러한 비전형적인 양상이 실제로 기존의 보고보다 높은 빈도로 나타날 수 있음과, 다중 동맥기 영상을 시행함으로써 병변의 특성화의 향상을 기대할 수 있음을 시사한다. 정량적인 분석은 시행되지 않았지만, 앞으로의 추가적인 연구를 통해 2 cm 미만의 크기가 작고 문맥기 및 지연기에서 전형적인 조영증강 양상이 보이지 않는 국소 간 병변의 감별 진단에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

결론적으로 4D THRIVE 기법을 이용한 삼중기 동맥기 자기공명영상은 판독 가능한 영상의 질을 보여주었으며, 조영제에 의한 영향의 개선을 통해 실제로 임상 적용에 있어서 큰 문제점이 없을 것으로 생각된다. 또한 문맥기와 지연기에서 전형적이지 않은 국소 간 병변의 특성화에 도움을 줄 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Hawighorst H, Schoenberg SO, Knopp MV, Essig M, Miltner P, van Kaick G. Hepatic lesions: morphologic and functional characterization with multiphase breath-hold 3D gadolinium-enhanced MR angiography--initial results. *Radiology* 1999;210:89-96
2. Elsayes KM, Narra VR, Yin Y, Mukundan G, Lammle M, Brown JJ. Focal hepatic lesions: diagnostic value of enhancement pattern approach with contrast-enhanced 3D gradient-echo MR imaging. *Radiographics* 2005;25:1299-1320
3. Kanematsu M, Semelka RC, Matsuo M, Kondo H, Enya M, Goshima S, et al. Gadolinium-enhanced MR imaging of the liver: optimizing imaging delay for hepatic arterial and portal venous phases--a prospective randomized study in patients with chronic liver damage. *Radiology* 2002;225:407-415
4. Goshima S, Kanematsu M, Kondo H, Yokoyama R, Miyoshi T, Nishibori H, et al. MDCT of the liver and hypervascular hepatocellular carcinomas: optimizing scan delays for bolus-tracking techniques of hepatic arterial and portal venous phases. *AJR Am J Roentgenol* 2006;187:W25-W32
5. Hong HS, Kim HS, Kim MJ, De Becker J, Mitchell DG, Kanematsu M. Single breath-hold multiarterial dynamic MRI of the liver at 3T using a 3D fat-suppressed keyhole technique. *J Magn Reson Imaging* 2008;28:396-402
6. Low RN, Bayram E, Panchal NJ, Estkowski L. High-resolution double arterial phase hepatic MRI using adaptive 2D

- centric view ordering: initial clinical experience. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:947-956
7. Lee VS, Lavelle MT, Rofsky NM, Laub G, Thomasson DM, Krinsky GA, et al. Hepatic MR imaging with a dynamic contrast-enhanced isotropic volumetric interpolated breath-hold examination: feasibility, reproducibility, and technical quality. *Radiology* 2000;215:365-372
8. Beck GM, De Becker J, Jones AC, von Falkenhausen M, Wilinek WA, Gieseke J. Contrast-enhanced timing robust acquisition order with a preparation of the longitudinal signal component (CENTRA plus) for 3D contrast-enhanced abdominal imaging. *J Magn Reson Imaging* 2008;27:1461-1467
9. Bruix J, Sherman M; Practice Guidelines Committee, American Association for the Study of Liver Diseases. Management of hepatocellular carcinoma. *Hepatology* 2005;42:1208-1236
10. Coenegrachts K, Ghekiere J, Denolin V, Gabriele B, Hérigault G, Haspelslagh M, et al. Perfusion maps of the whole liver based on high temporal and spatial resolution contrast-enhanced MRI (4D THRIVE): feasibility and initial results in focal liver lesions. *Eur J Radiol* 2010;74:529-535
11. Cantwell CP, Setty BN, Holalkere N, Sahani DV, Fischman AJ, Blake MA. Liver lesion detection and characterization in patients with colorectal cancer: a comparison of low radiation dose non-enhanced PET/CT, contrast-enhanced PET/CT, and liver MRI. *J Comput Assist Tomogr* 2008;32:738-744
12. Parikh T, Drew SJ, Lee VS, Wong S, Hecht EM, Babb JS, et al. Focal liver lesion detection and characterization with diffusion-weighted MR imaging: comparison with standard breath-hold T2-weighted imaging. *Radiology* 2008;246:812-822
13. Kim KW, Kim AY, Kim TK, Park SH, Kim HJ, Lee YK, et al. Small ( $\leq 2$  cm) hepatic lesions in colorectal cancer patients: detection and characterization on mangafodipir trisodium-enhanced MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:1233-1240
14. Davenport MS, Viglianti BL, Al-Hawary MM, Caoili EM, Kaza RK, Liu PS, et al. Comparison of acute transient dyspnea after intravenous administration of gadoxetate disodium and gadobenate dimeglumine: effect on arterial phase image quality. *Radiology* 2013;266:452-461
15. Tanimoto A, Higuchi N, Ueno A. Reduction of ringing artifacts in the arterial phase of gadoxetic acid-enhanced dynamic MR imaging. *Magn Reson Med Sci* 2012;11:91-97
16. Frederick MG, McElaney BL, Singer A, Park KS, Paulson EK, McGee SG, et al. Timing of parenchymal enhancement on dual-phase dynamic helical CT of the liver: how long does the hepatic arterial phase predominate? *AJR Am J Roentgenol* 1996;166:1305-1310
17. Sharma P, Kalb B, Kitajima HD, Salman KN, Burrow B, Ray GL, et al. Optimization of single injection liver arterial phase gadolinium enhanced MRI using bolus track real-time imaging. *J Magn Reson Imaging* 2011;33:110-118
18. Yoshioka H, Takahashi N, Yamaguchi M, Lou D, Saidai Y, Itai Y. Double arterial phase dynamic MRI with sensitivity encoding (SENSE) for hypervascular hepatocellular carcinomas. *J Magn Reson Imaging* 2002;16:259-266
19. Ito K, Fujita T, Shimizu A, Koike S, Sasaki K, Matsunaga N, et al. Multiarterial phase dynamic MRI of small early enhancing hepatic lesions in cirrhosis or chronic hepatitis: differentiating between hypervascular hepatocellular carcinomas and pseudolesions. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183:699-705
20. Nino-Murcia M, Olcott EW, Jeffrey RB Jr, Lamm RL, Beaulieu CF, Jain KA. Focal liver lesions: pattern-based classification scheme for enhancement at arterial phase CT. *Radiology* 2000;215:746-751
21. Danet IM, Semelka RC, Leonardou P, Braga L, Vaidean G, Woosley JT, et al. Spectrum of MRI appearances of untreated metastases of the liver. *AJR Am J Roentgenol* 2003;181:809-817
22. Yu JS, Rofsky NM. Hepatic metastases: perilesional enhancement on dynamic MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:1051-1058
23. Vilgrain V, Boulous L, Vullierme MP, Denys A, Terris B, Menu Y. Imaging of atypical hemangiomas of the liver with pathologic correlation. *Radiographics* 2000;20:379-397
24. Byun JH, Yang DH, Yoon SE, Won HJ, Shin YM, Jeong YY, et al. Contrast-enhancing hepatic eosinophilic abscess during the hepatic arterial phase: a mimic of hepatocellular carcinoma. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:168-173

## Four Dimensional T1-Weighted High Resolution Imaging with Volume Excitation Keyhole Technique을 이용한 삼중 동맥기 간 자기공명영상: 국소 간 병변에 대한 초기 임상 경험과 시행가능성 분석

김보규 · 김민주 · 박범진 · 성득제 · 조성범

**목적:** Four dimensional T1-weighted high resolution imaging with volume excitation keyhole technique (4D THRIVE keyhole technique)을 이용한 동맥기 영상에서의 국소 간 병변의 발견율 및 조영증강 양상 분석을 통한 임상에서의 응용 가능성과 국소 간 병변의 특성화에 대한 유용성을 평가하고자 하였다.

**대상과 방법:** 총 115개의 국소 간 병변이 있는 38명의 환자를 대상으로 4D THRIVE keyhole technique 영상이 포함된 자기공명영상을 시행하였다. 환자가 한 번 숨을 참는 동안 삼중시기 동맥기 영상을 획득하였고, 2명의 복부 영상 전문의가 병변의 발견율, 영상의 질, 병변의 명료성, 조영증강 양상을 각각 평가하였다. 영상의 질은 5점 척도를 이용했고, 병변의 명료성은 병변과 정상 간 실질의 대조도가 가장 높은 영상을 선택하였다. 각 병변의 조영증강 양상에 대해 분석하였다.

**결과:** Phase III에서 병변 발견율이 가장 높았다. 영상의 질은 3점 이상이었으며, 일치도는 fair였다. 병변의 명료성은 phase III의 동맥기 영상이 가장 높았다. 간세포암( $n = 38$ )은 다양한 조영증강 양상을 보였고, 전이암( $n = 14$ )은 환형( $n = 6$ ), 균질함( $n = 3$ ), 조영증강 없음( $n = 5$ )을 보였으며, 대부분의 혈관종은 균질성( $n = 6$ ) 조영증강 양상을 보였다.

**결론:** 4D THRIVE keyhole technique을 이용한 간의 삼중시기 동맥기 자기공명영상은 비교적 낮은 발견율을 보였으나, 영상의 질은 임상 응용 가능성이 있으며, 국소 간 병변의 진단 양상의 특성화에 도움을 줄 수 있다.

고려대학교 의과대학 안암병원 영상의학과