대한방사선의학회지 2002;47:635 - 642

용적보간호흡정지(VIBE) 자기공명영상기법을 이용한 조영증강 3차원 MR영상: 신종양의 평가를 위한 임상적 유용성[1]

이 영 환 · 이 정 민[2] · 김 종 수

목적: 신 종양의 평가에서 용적보간 호흡정지(volume interpolated breath - hold examination; 이하 3D - VIBE) 기법을 이용한 역동적 조영증강 3차원 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging: 이하 MRI)의 임상적 유용성을 기존의 2차원 MRI와 비교하여 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 신 종양이 의심되어 병변의 특성화와 병기 결정을 위하여 방사선과에 의뢰된 23명 환자의 25개 종양을 대상으로 1.5T MR 기기로 영상을 얻었다. 20 mL의 가돌리늄 조영제(Gd - DTPA)를 초당 3 mL의 속도로 주입한 후 3차원 VIBE기법으로 관상면의 역동적 조영증강 T1강조 영상을 얻었으며, 지연기에 축상면으로 3차원 VIBE 기법과 2차원 고속저각획득영상(2 - dimensional fast low angle shot, 이하 2D - FLASH) 기법으로 조영증강 T1 강조영상을 얻어 조영전 축상면 2D - FALSH 영상과 함께 비교 분석하였다. 정량적 분석으로 종양과 신실질의 신호대잡음비를 구하였고, 병변과 신실질간의 대조대잡음비를 구하였다. 정성적 분석으로 전반적인 영상화질과 인공물의 형성, 종양의 명확도와 묘출도에 대하여 두 명의 방사선과 전문의가 후향적으로 분석 하였다. 또한, 최대강도투시법(maximum intensity projection: 이하 MIP)을 이용하여 동맥기와 지연기의 3D - VIBE 영상을 재구성한 MR영상에서 신혈관의 묘출도와 종양과 신배와의 관계를 분석하였다.

결과: 정량적 분석에서 종괴의 신호대잡음비는 조영증강 2D FLASH영상이 3D VIBE영상보다 높았으며 신실질의 신호대잡음비는 3D - VIBE영상이 2D - FLASH영상보다 높았으나 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$). 종양과 신실질간의 대조대잡음비는 2D - FLASH영상보다 3D - VIBE영상에서 높았으며 통계적으로 유의하였다($p < .05$). 정성적 분석에서 전반적인 영상의 화질은 조영증강 3D - VIBE영상, 2D - FLASH영상 그리고 조영전 2D - FLASH 영상 순으로 좋았으며, 인공물은 조영증강 2D - FLASH영상에서 가장 많았다($p < .05$). 병변의 명확도와 묘출도는 조영증강 3D - VIBE영상이 조영증강 전과 후의 2D - FLASH영상에 비하여 우수하였으며 특히 묘출도는 3D - VIBE영상에서 2D - GRE영상에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다($p < .05$). 또한 VIBE영상은 MIP기법을 이용하여 재구성한 자기공명혈관촬영영상과 자기공명신우조영영상에서 신혈관과 신우, 신배에 관한 정보를 제공하였다.

결론: 3D - VIBE영상은 2D - FLASH영상과 비슷하거나 더 나은 영상화질을 보이며, 신종양의 특성화와 병기결정에 있어 기존의 2D - FLASH 기법을 대체할 수 있는 유용한 MR기법이다.

신장 질환에 대한 검사에서 자기공명영상(Magnetic reso - nance imaging: 이하 MRI)은 초음파나 CT에 비하여 높은 조직 대조도와 다평면 영상을 제공하여 신종양의 검출과 특성화에 유용하며, 특히 신기능이 감소되었거나 CT 조영제에 민감한 환자에서 더욱 안전하게 이용할 수 있는 장점이 있다(1, 2). 최근 수술 기법의 발달로 신조직을 최대한 보존하는 부분절제술이 많아지면서 작은 크기의 종양에 대한 정확한 검출과 특성화가 임상적으로 요구되고 있으며(3 - 5), 수술 전 종양의 위치와 범위, 신동맥과 신정맥의 해부학적 평가, 그리고 종양과 신집합관과의 관계 등에 관한 정확한 정보가 요구되고 있다(6, 7). 이러한 평가를 위해 배출성 요로조영술, 초음파, CT등의 여러 영상 매체들을 복합적으로 이용하여 왔으나, 최근 MRI

[1]전북대학교 의과대학 진단방사선과학교실
[2]서울대학교의과대학 방사선과학교실, 서울대학교의학연구원 방사선의학연구소
이 논문은 2002년 8월 16일 접수하여 2002년 11월 16일에 채택되었음.

기술의 발달로 호흡 중지 기법 및 삼차원 영상 등의 다양한 영상기법의 이용이 가능해지면서, 신장 종양의 술전 평가에 MRI의 역할이 증가하고 있다(8, 9).

복부질환의 MRI 검사시, 호흡중지 2차원 경사자장 에코(Gradient echo: 이하 2D-GRE)를 이용한 조영증강 역동학적 검사를 가장 흔히 이용하고 있으며 신장 및 부신의 종양의 검사에서도 그 유용성이 많이 보고 되었다(10-13). 그러나 2D-GRE기법은 조영제 주입 후 넓은 부위의 영상획득을 위하여 호흡 중지기간이 긴 문제점이 있어 오랫동안 숨을 참기 어려운 환자에서 호흡유발 인공물 등에 의하여 영상의 질이 감소될 수 있으며 절편 두께가 두꺼우므로 부분 용적 효과(partial volume averaging effect) 로 공간 해상도가 감소하는 단점이 있다(14). 최근 강한 경사자장을 이용한 MR기기들이 개발됨에 따라 3차원 경사자장 에코(gradient echo: 이하 3D-GRE)기법이 복부MR영상에 많이 이용되고 있으며 신장 질환에서도 이에 관한 보고들이 있다(15-17). 이들에 의하면, 3D-GRE영상은 2D-GRE영상에 비하여 다평면 영상재구성(Multiplanar reformation, MPR)이 용이하고 공간해상도와 대조도가 높으며 MIP기법으로 재구성하면 혈관에 관한 부가적인 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다고 한다(15, 16). 최근 개발된 VIBE기법은 3D-GRE 기법의 일종으로 영상 획득시 Z축 방향으로 보간하여 영상 획득 시간을 줄이고 공간 해상도가 높은 영상을 얻을 수 있어 복부 MR검사에 많이 이용되고 있다(14, 18).

이에 저자들은 신종양의 평가에 있어 3D-VIBE 기법을 이용한 역동성 조영증강 MR영상의 임상적 유용성을 2차원 MR영상과 비교하여 알아보고자 하였다.

대상과 방법

환자

2001년 1월부터 2002년 5월까지 신종양 환자 중 3D-VIBE 기법을 이용하여 조영증강 MRI 검사를 실시한 23명 환자의 25개 신 종양을 대상으로 하였다. 남녀 비는 17:6였으며, 연령은 35에서 81세였고, 평균 53.2세 였다. 각각의 신종양은 신세포암 16예, 신장의 이행상피암 1예, 악성섬유성조직구종(Malignant fibrous histiocytoma, MFH) 1예, 신혈관 지방종 1예, 복합성 신낭종 6예 였다. 25예의 신 종양은 좌우가 각각 9예,14예 였으며 1예는 양측에 있었다. 크기는 1-14 cm 이었으며 평균 5.34 cm이었다. 이들 질환의 진단은 12예에서는 수술과 병리학적검사를 통해 이루어졌으며, 나머지 13예에서는 초음파, CT, 순행성요로조영술 및 역행성요로조영술등의 영상검사들을 종합하였으며, 양성질환의 경우는 MR이나 초음파검사를 시행하여 크기와 형태의 변화를 6개월 이상 추적 관찰하여 진단하였다.

자기공명영상기법

1.5 T자기공명영상기기(Magnetom Symphony; Simens, Enlargen, Germany)를 이용하여 영상을 얻었으며 위상배열 다중코일(phased array multicoil)을 사용하였다. 조영증강 전과 후의 T1강조영상으로 2차원 FLASH 영상과 3차원 VIBE 영상을 얻었으며, 모든 영상에서 화학적 선택 지방포화 펄스를 이용하여 지방포화를 실시하였다. 2D-FLASH영상은 TR/TE=120/2.6, 숙임각(flip angle) 70도, 7 mm 절편간격으로 얻었으며 영상획득 시간은 20-25초 이었다. 3차원 VIBE 영상은 관상면으로 영상을 획득한 경우는 TR/TE=3.4-3.8/1.4-1.8, 숙임각 12도, 대역폭(Bandwidth) 490 Hz/화소, 분절 수(partition number) 48-52, 격자수(matrix size) 121×256, 유효 절편두께(effective slice thickness)는 2.0-2.6 mm이었으며, 영상영역(Field of view)는 38 cm, 영상획득시간은 18-20초 이었다. 또한, 횡단면으로 영상을 획득한 경우에는 영상범위 33 cm, 유효절편 두께 2.3 mm, 분절 수 64-72였으며 나머지는 관상면과 동일하였다. 모든 검사는 호흡정지 동안에 영상획득을 하였으며 용적보간(volumetric interpolation) 기법으로 절편 선택방향(Kz)으로 69%, 위상방향으로 82% 신호검출(sampling)한 후 보간(interpolation)하였고 위상방향으로 6/8 부분퓨리어를 실시하였다. 이렇게 하여 얻은 3차원 VIBE 원천(source)영상을 MR workstation에서 5-8 mm 두께로 재건하였다.

조영제 주입 후 대동맥과 신동맥의 최대 조영 시기를 알기 위하여 Gd-DTPA (Magnevist, Scherring, Berlin, Germany) 1 ml와 생리식염수 10 ml를 시험주입(test bolus technique)하여 이를 확인하였다. 나머지 19 ml의 조영제를 초당 3 ml 속도로 자동주입기(automatic injector)로 주입하였고, 10 ml 생리식용수를 추가 주입하였다. 동맥강조기영상 (신피질수질구분기)은 시험주입법으로 확인한 신동맥의 최대조영시기에 VIBE기법을 이용하여 관상면으로 영상을 획득하였으며, 이후 25초 후에 관상면으로 신조영상(nephrogram phase)영상을 추가 획득하였다. 또한 조영제 주입 후 3분에 축상면으로 2D-FLASH영상을 얻었고 4분에 축상면으로 3D-VIBE영상을 얻었다. 또한, 3 cm 이하의 작은 신종양이 있었던 환자와 신우의 이행상피세포암이 의심되었던 환자에서 좀 더 명확한 자기공명요로조영술(MR Urography, 이하 MRU)을 얻기 위해 이뇨제(Lasix 20 mg, Handok, Seoul, Korea)를 주입하고 VIBE 기법으로 추가 촬영을 시행하였다.

영상분석

정량분석: 조영증강 전 2D-FLASH영상, 조영증강 후 2D-FLASH영상과 3D-VIBE영상에서 동일한 횡단면의 같은 위치에서 관심부위(Region of interest, 이하 ROI)를 설정한 후 신종양과, 배경잡음, 그리고 신실질에서 신호강도를 측정하였다. 신호강도의 측정은 신종양에서 조영증강이 잘되는 부위와 신피질에서 같은 크기로 ROI를 설정하여 측정하였으며, 배경 잡음의 신호강도는 위상부호화 방향(phase encoding direction)인 복부표면의 전 후 공간에서 관심부위를 설정하여 측정하였다. 이를 이용하여 종양의 신호대잡음비(signal to noise ratio: 이하 SNR)와 병변대 신피질간의 대조대잡음비(contrast noise ratio: 이하 CNR)를 구하였다. 종양의 신호대잡음비와 대조대잡음비는 다음과 같은 공식으로 구하였다.

신호대잡음비: 종양과 신실질의 ROI에서 얻은 평균 신호강도를 같은 쪽 복부 표면의 전후측 공간에서 설정한 관심부위에서 얻은 배경잡음 신호강도의 평균으로 나누었다.

대조대잡음비: 종양의 신호강도에서 신실질의 신호강도를 뺀 후 이를 배경잡음 신호강도로 나누어 구하였다.

정성분석: 2명의 방사선과 전문의가 조영 증강 전 2D - FLASH 영상과, 조영증강 후 3분과 4분 후 에 얻은 2D - FLASH 영상과 3D - VIBE영상을 후향적으로 비교 분석하였다. MR영상의 주관적 영상지표로서 1)전반적인 영상의 화질, 2)인공물의 형성, 3)병변의 명확도와 묘출도에 대하여 분석하였다. 전반적인 영상의 화질은 해상도,선외도, 그리고 명확도에 따라, 1 - 4 (불량:1, 보통:2, 양호:3, 우수:4)로 점수화하였으며, 인공물의 형성 정도는 위상부호화 인공물, 움직임에 의한 인공물, 그리고 혈관에 의한 거울영상 인공물 등을 확인하여 같은 방법으로 1 - 4로 점수화하였다. 병변의 명확도는 종양의 국소 신호강도의 변화가 없을 때 1점, 신호강도의 변화가 있으나 미미할 때 2점, 신호강도의 변화가 뚜렷하나 주변 조직과 구분이 명확하지 않을 때 3점, 신호강도가 뚜렷하며 주변 조직과 명확한 구분을 보일 때 4점으로 하였다. 병변의 묘출도는 주변조직과 구분이 안될 때 1점, 구분은 되나 경계가 매우 모호할 때 2점, 비교적 경계가 보이나 변연이 불규칙하거나 흐릿할 때 3점. 주변 조직과 명확한 경계를 보이며 모양이 둥글거나 난원형일 때 4점으로 하였다.

MIP기법을 이용하여 재구성한 자기공명혈관조영술 (MR angiography; 이하 MRA)영상에서 신동맥과 신정맥 그리고 하대정맥의 조영유무를 확인하였고, 신세포암 환자에서 종양공급혈관이 보이는 비율을 알아보았다. 신정맥이나 하대정맥이 명확히 보이지 않는 경우는 종양혈전의 유무를 알아보았다. 더불어, 신세포암이 있는 환자에서는 지연기의 3D영상을 MIP영상으로 재구성하여 얻은 자기공명신우조영술에서 종양과 신집합관과의 관계를 평가하였다.

통계 분석: 세가지 영상의 정량분석 결과는 ANOVA test를 이용하였으며, Bonferroni기법으로 사후분석을 시행하였다. 정성분석의 결과는 Freedman test를 이용하여 비교하였다. 이들의 분석을 위해 SPSS 9.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.)을 이용하였으며, $p < .05$이하인 경우를 통계학적 의의가 있는 것으로 처리하였다.

결 과

정량적 분석에서 조영 전후 영상의 신실질과 종양에서 측정한 SNR은 조영 전 2D - FLASH영상 보다 조영 후 3D - VIBE 영상과 2D - FLASH영상에서 통계적으로 유의하게 증가하였다 ($p < .05$) (Table 1). 종괴의 SNR은 조영 증강 2D - FLASH영상이 3D - VIBE영상보다 약간 높게 나왔으나 통계적으로 유의하지는 않았으며 ($p > .05$), 조영 증강 후 신실질의 SNR은 3D - VIBE영상이 2D - FLASH영상보다 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p > .05$). 배출기에 얻은 2D영상과 3D영상에서 종양대신실질간의 CNR은 모든 예에서 음수 값으로 나왔으며, 조영 전 2D FLASH영상과 조영 후 2D FLASH영상에 비하여 3D - VIBE영상에서 가장 높은 대조도를 보였다 ($p < .05$) (Table 1).

정성적 평가에서 전반적인 영상의 질은 3D - VIBE 영상(3.84 ±0.37)이 조영 전 2D - FLASH영상 (3.36±0.64)과 조영 후 2D - FLASH영상 (3.33±0.56)에 비하여 우수하였고 ($p < .05$), 인공물의 형성은 조영증강 2D - FLASH영상 (2.58±0.72)이 조영 전 2D - FLASH영상 (3.04±0.61)이나 조영 후3D - VIBE영상 (3.88±0.33)보다 많았다 (Table 2). 병변의 명확도와 묘출도는 조영 후 3D - VIBE영상과 2D - FLASH영상이 조영전 2D - FLASH영상에 비하여 우월하였다 ($p < .05$). 병변의 명확도는 조영 후 3D - VIBE영상 (3.68+ - 0.48)이 2D - FLASH영

Table 1. Results of Quantitative Analysis: SNR and CNR of 25 Renal Tumors in Three Imaging Techniques

	Pre-contrast 2D FLASH	Post-contrast 2D FLASH	Post-contrast 3D VIBE	P-value
SNR_{kidney}	15.92	37.68*	46.72*	$p < .05$
SNR_{mass}	11.94	23.61*	22.39*	$p < .05$
$CNR_{renal\ mass}$	- 3.98	- 14.07	- 24.33†	$p < .05$

Data are given as mean values.

* Mean tumor and renal parenchymal SNR of post-contrast 2D-FLASH and 3D-VIBE images were higher ($p < .05$) than that of pre-contrast 2D-FLASH image. No significant differences ($p > .05$) in tumor and renal parenchymal SNR between post-contrast 2D-FLASH and 3D-VIBE images.

† The CNR of 3D-VIBE image is significantly higher than that of other images ($p < .05$).

Table 2. Results of Qualitative Analysis: Subjective Image Parameters of Three Imaging Techniques

	Pre-contrast 2D FLASH	Post-contrast 2D FLASH	Post-contrast 3D VIBE	P-value
General quality	3.36±0.64	3.33±0.56	3.84±0.37*	$p < .05$
Artifacts	3.04 ±0.61	2.58±0.72	3.88±0.33*	$p < .05$
Lesion Conspicuity	2.00±0.58	3.54±0.59†	3.68±0.48†	$p < .05$
Lesion Delineation	2.40±0.82‡	3.29±0.55‡	3.80±0.40‡	$p < .05$

Data are the mean±standard deviation.

* Post-contrast 3D-VIBE image have higher image quality and lower artifacts than 2D-FLASH images ($p < .05$).

† Post-contrast 3D-VIBE and 2D-FLASH images have a significant difference with precontrast 2D-FLASHE image ($p < .05$).

‡ The difference among the each images obtained with three imaging techniques is significant ($p < .05$).

상(3.54+-0.59)보다 비슷하거나 약간 높았으나 통계적 유의성은 없었으며($p>.05$), 병변의 묘출도는 3D-VIBE영상(3.80+-0.40)이 2D-FLASH 영상(3.29+-0.55)보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<.05$)(Fig. 1).

모든 환자의 MRA영상에서 신동맥을 확인할 수 있었으며, 동반된 이상 소견으로 2개의 신동맥을 보인 경우와 양측의 신동맥 협착증이 있었던 경우가 각각 1예가 있었다. 16예의 신세포암 환자 중 MIP영상에서 종양 공급혈관이 명확히 보인 경우가 7예(47%)였다. 총 23명 환자의 MIP영상에서 신정맥은 17예에서 확인할 수 있었으며. 이중 일부 환자에서는 정면의 MIP영상에서 우측 신정맥이 우측 신장에 가려 잘 보이지 않는 경우가 많았지만 여러 각도로 얻은 MIP영상에서 양측 신정맥을 확

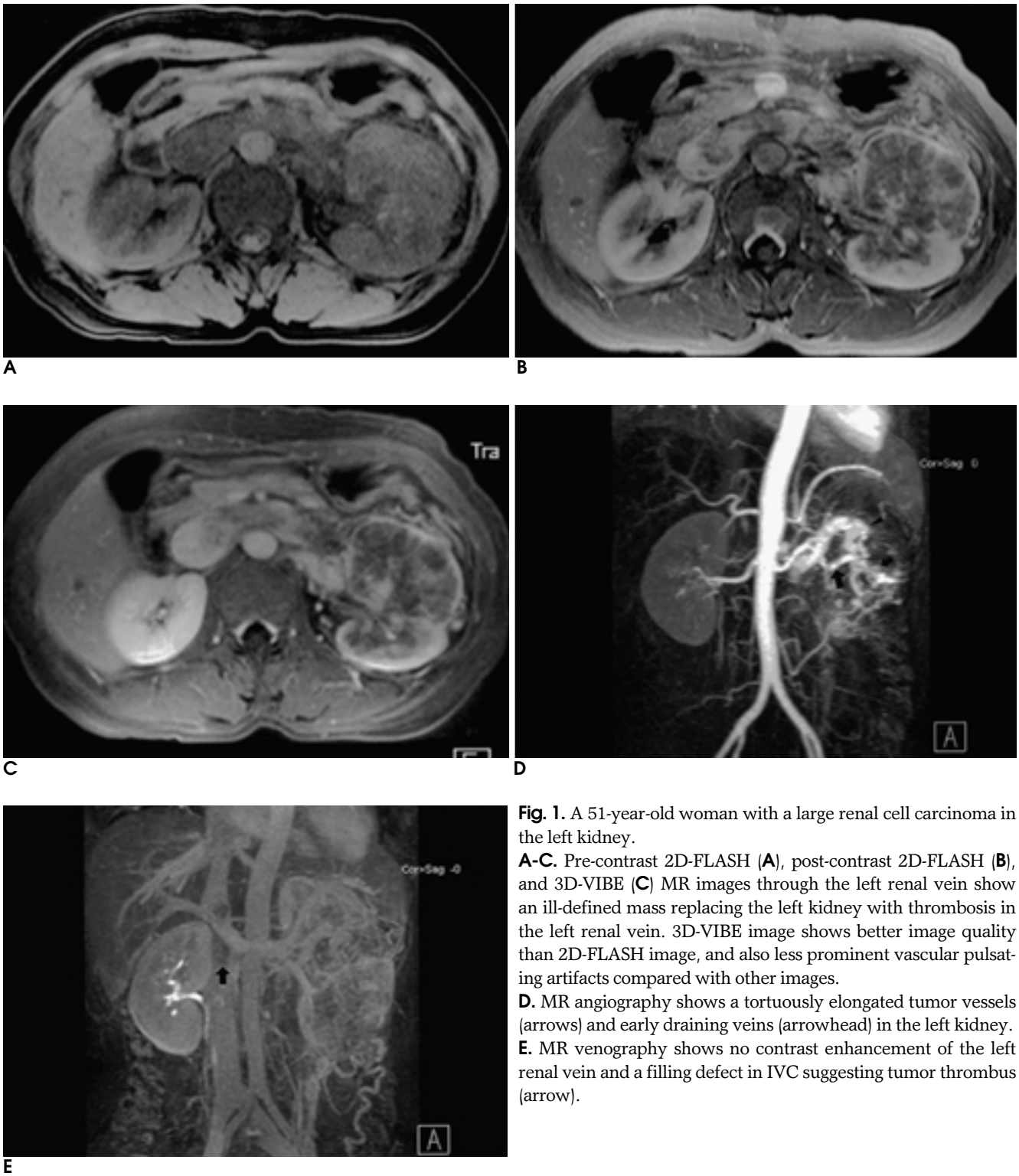


Fig. 1. A 51-year-old woman with a large renal cell carcinoma in the left kidney.
A-C. Pre-contrast 2D-FLASH (**A**), post-contrast 2D-FLASH (**B**), and 3D-VIBE (**C**) MR images through the left renal vein show an ill-defined mass replacing the left kidney with thrombosis in the left renal vein. 3D-VIBE image shows better image quality than 2D-FLASH image, and also less prominent vascular pulsating artifacts compared with other images.
D. MR angiography shows a tortuously elongated tumor vessels (arrows) and early draining veins (arrowhead) in the left kidney.
E. MR venography shows no contrast enhancement of the left renal vein and a filling defect in IVC suggesting tumor thrombus (arrow).

인할 수 있었다. 그러나, 모든 각도의 MIP영상에서 신정맥이 명확히 보이지 않았던 6예(40%)에서는 모두 신세포암으로 인한 신정맥종양전을 동반하고 있었으며, 이 중 2예는 하대정맥에도 종양전이 있었다(Fig. 1). MIP상 신동맥 협착증이 있었던 1예에서는 도플러 초음파 검사에서 신동맥 협착증에 합당한 파형을 보여 확인하였으며, MRI상 신정맥과 하대정맥의 혈전이 보였던 6예의 환자는 모두 수술을 시행하여 확진 되었다.

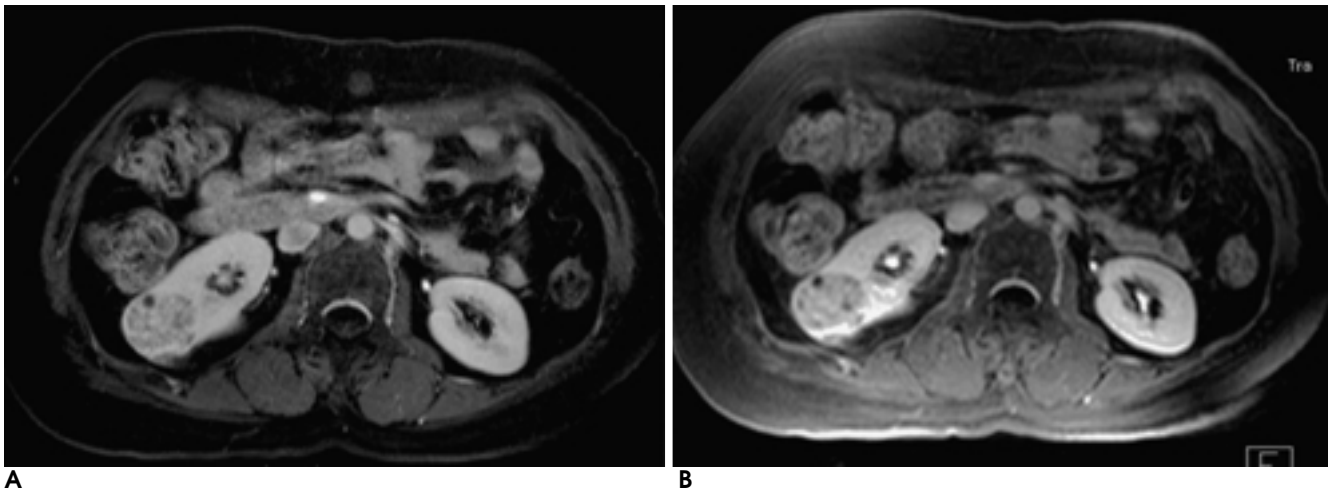
지연기에 추가로 얻은 MRU영상에서 신우와 신배가 모두 잘 보인 경우가 11예(50 %), 신배의 일부가 보이지 않았던 경우가 2예(9%), 종양이 침범하여 신우가 보이지 않거나 수신증이 있었던 경우가 6예(23%), 한 쪽 신집합관이 거의 보이지 않았던 경우가 4예(18%)였다. MRU상 신집합관의 형태적 이상은 종양의 크기와 상관관계가 있었으며 일반적으로 종양이 클수록 신배와 신우 침범을 잘 하였다(Table 3). 총 23명의 환자 중 8명은 종양의 크기가 3 cm 이하 였으며, 이중 2예가 신세포암이었고 1예가 이행상피세포암이었다. 이들 중 7예는 종양과 신우 및 신배와의 관계를 명확히 알 수 있었으나 (Fig. 2), 1예의 이행상피세포암에서는 하부 요로의 폐쇄로 조영제의 배출이 되지 않았다(Fig. 3).

Table 3. Pelvocalyceal Delineation of 23 Patients with Renal Masses on Magnetic Resonance Urography

Delineation of pelvocalyceal system	No of Patients	Mean mass size (cm)
Normal pelvocalyceal system	11 (48%)	2.7
Involvement of renal calyx	2 (9%)	6.5
Involvement of renal pelvis or hydronephrosis	6 (26%)	9.2
No visualization of renal pelvocalyceal system	4 (17%)	9

고 찰

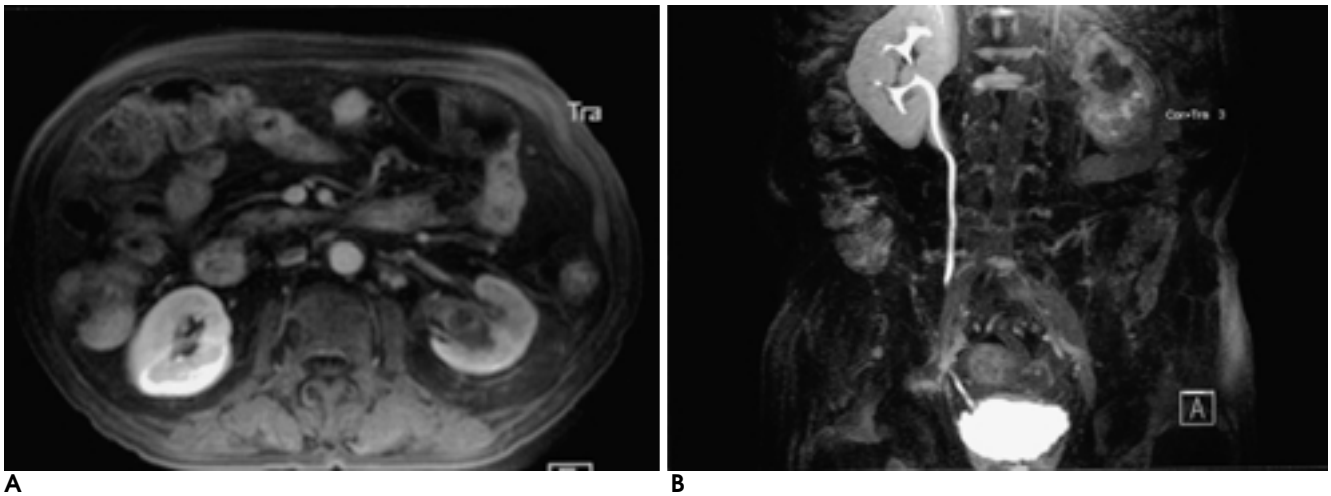
신장 질환의 평가에서 MRI검사는 좀 더 작은 병변을 검출할 수 있고, 낭성 혹은 고형성 병변의 감별에 도움을 주며, 낭종내 출혈 등 종양의 특성화 및 종양혈전과 임파절 등의 검출에 유용하여 신종양의 감별진단 및 신세포암의 병기 결정에 CT보다 우월한 결과를 보인다는 보고들이 있다(8, 10). 신종양의 평가를 위한 역동적 조영증강 MRI검사에서 가장 많이 이용되고 있는 2D - GRE기법은 한 번의 호흡중지 하에 넓은 범위의 영상영역을 선택할 때 영상획득 시간이 길기 때문에 두꺼운 영상절



A B

C

Fig. 2. A 51-year female with a 3-cm sized renal cell carcinoma in the right kidney.
A, B. Post-contrast 2D-FLASH (**A**), and post-contrast 3D-VIBE (**B**) MR image shows a well defined heterogeneously enhancing mass in the right kidney.
C. MR urography shows a good depiction of renal pelvocalyceal system as well as the tumor.



A B

Fig. 3. A 78-year old man with a transitional cell carcinoma in the left kidney.
A. Post-contrast 3D-VIBE Image shows a heterogeneously enhanced small mass in the left renal pelvis.
B. MR Urography shows no excretion of contrast material into the left urinary tract due to long-standing obstruction of the renal pelvis by tumor.

편을 사용해야 되며, 결국 병변의 공간 해상도를 감소시키는 단점이 있다(19). 또한 절편과 절편 사이에 간격을 두기 때문에 다평면 재구성 영상의 화질과 해상도가 낮아질 수 있으며, 추가의 시간이 소요됨으로 인하여 병변의 대조도를 증가시키는 지방억제 기법을 사용하기 어려운 단점이 있다(14).

최근 3D-GRE기법을 이용한 조영증강 MR검사가 복부 영상에서 많이 이용되고 있으며 신질환의 평가에서도 신혈관이나 신수뇨관 등의 검사에 많이 이용되고 있다(16). 이러한 3D-GRE기법은 호흡 정지 영상으로 호흡유발 영상붕괴를 감소시킬 수 있으며, 다평면 영상 재구성을 할 수 있고, MIP나 용적연출(rendering)으로 혈관조영술이나 요로조영술을 좀 더 용이하게 얻을 수 있는 장점이 있다(15, 16, 20). 하지만, 기존의 3D-기법의 경우 동맥기의 혈관이나 지연기의 신우신배 등의 구조물은 잘 보여줄 수 있으나 신실질의 신호강도는 2D-GRE기법에 비하여 낮은 단점이 있으며, 복부를 전후방으로 전체를 영상범위에 포함시키기 위해서는 3 mm 이상의 두꺼운 절편을 이용해야 하는 단점이 있다.

이 연구에서 이용한 VIBE기법은 기존의 MRA 검사에 이용되었던 3D-GRE기법과 비교하여 12O의 작은 숙임각을 이용함으로써 복부 영상의 대조도를 증가 시킬 수 있으며, 조영증강 후 높은 신실질 조영 효과를 보일 수 있다(21). 저자들의 연구 결과에서도 조영증강 후 신실질의 조영증강 정도에서 VIBE기법과 2D-GRE기법간에 의미있는 차이는 없었다 ($p > .05$). 또한, 기존의 호흡중지 2D-GRE기법의 경우 지방포화 기법을 이용하기 위해서는 영상획득 시간이 2-3초 정도가 추가되는 문제로 인해 영상의 해상도를 낮추어야 하는 문제가 발생하나, VIBE 기법의 경우 최소의 시간(1초이하) 추가로 지방 포화가 가능함으로써 영상의 대조도가 증가되었다. 그리고 2D-GRE기법에 비해 혈관 박동 등의 인공물이 적어 더 좋은 영상 화질을 보였고 병변의 명확도와 묘출도가 증가하였다($p < .05$).

또한, VIBE기법은 용적보간과 부분 퓨리어 방법을 사용함으로 인해 영상 획득 시간을 획기적으로 감소시켰으며, 거의 등방성의 화적소(voxel)를 사용함으로써 영상 화질의 손실없이 모든 영상면에 대하여 영상 재구성을 할 수 있는 장점이 있다(14, 18). 2D-GRE 영상은 각각의 영상면에 대하여 분리된 영상을 얻으므로 조영제의 분포의 차이에 따라 서로 다른 대조도의 영상만을 얻을 수 있으나, 3D-VIBE영상은 거의 등방성의 화적소로서 다평면 영상 재구성시 처음 획득한 영상면과 같은 동일 대조도의 영상을 얻을 수 있다. 이와 같은 특성은 최근 수술적 치료가 불가능한 환자에서 발생한 작은 크기의 신종양의 치료에 이용되고 있는 고주파 열치료(Radiofrequency thermal ablation)등의 시술 및 시술 후 잔존 종양의 검출에 유용하고(22, 23), 작은 신 종양의 부분절제술을 시행할 경우에도 종양과 신우 신배와의 관계 평가 및 신혈관 분지와의 관계 등의 정보를 제공할 수 있어 술 전 평가에 크게 도움을 줄 수 있을 것이다(6, 7, 17, 24). 저자들의 연구에서도 모든 예에서 동맥기 영상을 MIP기법으로 재구성한 MR혈관조영술 영상에서 명확한 신동맥의 묘출이 가능하였으며, 2예의 3 cm 이하의 작은 크기의 신세포암환자에서 3D-VIBE기법으로 MRU영상을 구성하여 종양과 신배와의 관계를 명확히 확인하였고, 부분신절제술을 시행하는데 유용한 정보를 제공하였다. 따라서, 신세포암 등 신실질 병변에서 3D-VIBE기법은 신실질의 평가와 함께 MRA 및 MRU를 얻을 수 있으며, 이로써 신혈관 및 종양혈관과 신배와 신우의 형태를 평가함으로써 종양의 침범 여부와 동반된 질환에 대하여 알 수 있고, 남아 있는 신실질의 기능을 같이 평가할 수 있어 신세포암의 부분 절제술에 유용한 도움을 줄 수 있을 것이다.

이 연구에서 저자들은 거의 모든 환자에서 2-2.3 mm두께의 절편으로 VIBE영상을 얻었으며, 절편 간격이 없기 때문에

부분 용적 포화 효과가 적어 공간 해상도가 증가하였다. 따라서, 이러한 장점은 작은 병변의 검출과 특성화에 유용하며 신세포암의 병기결정에서 작은 임파절의 검출과 감별에도 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 이와 함께, VIBE 기법은 최소 18 mm에서 최대 50 mm까지 절편두께를 조절할 수 있어, 10초 이상의 호흡정지를 할 수 없는 노인이나 호흡기 질환 등이 있는 환자에서도 3 - 5 mm의 절편두께를 이용하면 비교적 좋은 영상의 질을 유지할 수 있다.

현재까지도 신종양의 술 전 평가에 있어서 3D - MR 영상의 임상적 역할은 확실히 정해져 있지 않으나, 기존의 초음파, 배출성요로조영술, CT, 혈관촬영술 등의 다양한 영상 매체를 복합적으로 이용하여 종양의 크기와 침범 범위 및 혈관이나 신우, 신배 등의 주변 구조물과의 관계를 파악하였던 것과 비교하여 3D - VIBE영상을 이용한 조영증강 자기공명영상은 한번의 조영제 주입으로 이들에 관한 정보를 모두 제공할 수 있는 (one - stop shopping modality) 점과 신기능에 장애를 미치지 않는 점은 매우 유익한 장점이라 할 수 있겠다. 하지만, 기존의 2D - GRE 기법을 이용한 자기공명영상 검사에 비하여 3D - VIBE기법의 단점으로는 얇은 절편의 신호대잡음비가 낮아 조영제 주입 전 자체 영상만으로는 평가가 어려우며 원천 영상이 많아 저장용량이 많고, 추가로 다평면 영상재구성(MPR)을 시행해야 하는 문제점이 있으나, 이는 영상전송시스템(PACS)이 보편화되고 있는 현실에 비추어 볼 때 큰 제한점은 아니라 생각한다.

이 연구의 제한점으로는 2D - GRE영상과 3D - VIBE영상의 장단점을 정확히 비교하기 위해서는 조영증강 정도가 같은 시기에 영상을 획득하여 비교하여야 하나, 실제로는 3분과 4분에 얻은 영상을 비교하였기 때문에 조영증강 정도에 차이가 있을 수 있다. 하지만, 3 - 4분 영상은 신실질이 거의 비슷한 정도의 조영증강을 보이는 시기이어서 이 점이 영상의 질을 비교하는 데 큰 영향을 주었으리라고는 생각하지 않는다. 또한, 대상 환자의 수가 다소 적은 점과 일부 환자에서는 병리적 확진이 이루어지지 않은 점이 제한점이다. 따라서, 실제 신종양의 부분절제술의 대상 환자나 고주파 열치료의 대상환자에 있어 임상적 유용성을 평가하기 위해서는 향후 좀 더 작은 악성 신종양을 가진 환자를 대상으로 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 3D - VIBE MR영상은 기존의 지방억제 2D - FLASH영상과 비교하여 비슷하거나 약간 우월한 영상을 제공하였으며, 신실질 검사와 동시에 MR혈관조영술과 요로조영술 등의 유용한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 비록 좀 더 많은 환자를 대상으로 비용효율성(cost effectiveness)에 관한 연구가 필요하나, 3D - VIBE기법을 이용한 MR영상은 1회 검사로 신종양의 술 전 평가에 대한 모든 정보를 얻을 수 있어 기존의 여러 영상 매체의 복합적 이용을 대신할 수 있는 유용한 검사이다.

참 고 문 헌

1. Rofsky NM, Weinreb JC, Bosniak MA, Libes RB, Birnbaum BA. Renal lesion characterization with gadolinium-enhanced MR imaging: efficacy and safety in patients with renal insufficiency. *Radiology* 1991;180:85-89
2. Yamashita Y, Miyazaki T, Hatanaka Y, Takahashi M. Dynamic MRI of small renal cell carcinoma. *J Comput Assist Tomogr* 1995; 19:759-765
3. Licht MR, Novick AC. Nephron sparing surgery for renal cell carcinoma. *J Urol* 1993;149:1-7
4. Provet J, Tessler A, Brown J, Golimbu M, Bosniak M, Morales P. Partial nephrectomy for renal cell carcinoma: indications, results and implications. *J Urol* 1991;145:472-476
5. Ciancio G, Politano VA, Ferrell S, Block NL. Renal parenchyma-sparing surgery as conservative treatment of renal cell carcinoma. *Br J Urol* 1994;74:422-430
6. Gschwend JE, Vogel U, Bader C, Mattfeldt T, Hautmann RE. Predictive value of magnetic resonance imaging and computerized tomography for conservative renal surgery in an ex vivo tumor enucleation study followed by step-sectioning. *J Urol* 1996;155: 451-454
7. Chernoff DM, Silverman SG, Kikinis R, et al. Three-dimensional imaging and display of renal tumors using spiral CT: a potential aid to partial nephrectomy. *Urology* 1994;43:125-129
8. Semelka RC, Shoenut JP, Kroeker MA, MacMahon RG, Greenberg HM. Renal lesions: controlled comparison between CT and 1.5 T MR imaging with nonenhanced and gadolinium-enhanced fat-suppressed spin-echo and breath-hold FLASH techniques. *Radiology* 1992;182:425-430
9. Rofsky NM, Bosniak MA. MR imaging in the evaluation of small (< or = 3.0 cm) renal masses. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1997; 5:67-81
10. Semelka RC, Hricak H, Stevens SK, Finegold R, Tomei E, Carroll PR. Combined gadolinium-enhanced and fat-saturation MR imaging of renal masses. *Radiology* 1991;178:803-809
11. Krestin GP, Steinbrich W, Friedmann G. Adrenal masses: evaluation with fast gradient-echo MR imaging and Gd-DTPA-enhanced dynamic studies. *Radiology* 1989;171:675-680
12. Huch Boni RA, Debatin JF, Krestin GP. Contrast-enhanced MR imaging of the kidneys and adrenal glands. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1996;4:101-131
13. Eilenberg SS, Lee JK, Brown J, Mirowitx SA, Tartar VM. Renal mass: evaluation with gradient-echo Gd-DTPA-enhanced dynamic MR imaging. *Radiology* 1990;176:333-338
14. Rofsky NM, Lee VS, Laub G, et al. Abdominal MR imaging with a volumetric interpolated breath-hold examination. *Radiology* 1999; 212:876-884
15. Choyke PL, Walther MM, Wagner JR, Rayford W, Lyne JC, Linehan WM. Renal cancer: preoperative evaluation with dual-phase three-dimensional MR angiography. *Radiology* 1997;205: 767-771
16. Heiss SG, Shifrin RY, Sommer FG. Contrast-enhanced three-dimensional fast spoiled gradient-echo renal MR imaging: evaluation of vascular and nonvascular disease. *RadioGraphics* 2000;20:1341-1352
17. Scattoni V, Colombo R, Nava L, et al. Imaging of renal cell carcinoma with gadolinium-enhanced magnetic resonance: radiological and pathological study. *Urol Int* 1995;54:121-127
18. Soyer P, Bluemke DA, Bliss DF, Woodhouse CE, Fishman EK. Surgical segmental anatomy of the liver: demonstration with spiral CT during arterial portography and multiplanar reconstruction. *AJR Am J Roentgenol* 1994;163:99-103
19. Carlson J, Crooks L, Ortendahl D, Kramer DM, Kaufman L. Signal-to-noise ratio and section thickness in two-dimensional ver-

sus three-dimensional Fourier transform MR imaging. *Radiology* 1988;166:266-270
20. Glockner JF. Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography: applications for abdominal imaging. *RadioGraphics* 2001;21: 357-370
21. Du YP, Parker DL, Davis WL, Cao G. Reduction of partial-volume artifacts with zero-filled interpolation in three-dimensional MR angiography. *J Magn Reson Imaging* 1994;4:733-741
22. Gervais DA, McGovern FJ, Wood BJ, Goldberg SN, McDougal WS, Mueller PR. Radio-frequency ablation of renal cell carcinoma: early clinical experience. *Radiology* 2000;217:665-672
23. Miao Y, Ni Y, Bosmans H, et al. Radiofrequency ablation for eradication of renal tumor in a rabbit model by using a cooled-tip electrode technique. *Ann Surg Oncol* 2001;8:651-657
24. Duque JL, Loughlin KR, O 'Leary MP, Kumar S, Richie JP. Partial nephrectomy: alternative treatment for selected patients with renal cell carcinoma. *Urology* 1998;52:584-590

J Korean Radiol Soc 2002;47:635 - 642

Contrast-Enhanced Three-Dimensional MR Imaging Using a Volumetric Interpolated Breath-hold Examination (VIBE): Clinical Utility in the Evaluation of Renal Tumors[1]

Young Hwan Lee, M.D., Jeong Min Lee, M.D.[2], Chong Soo Kim, M.D.

[1]*Department of Diagnostic Radiology, Chonbuk National University Hospital, Chonbuk*
[2]*Department of Radiology, Seoul National College of Medicine and the Institute of Radiation Medicine, SNUMRC*

Purpose: To compare, in terms of technical feasibility, image quality and clinical efficacy, contrast-enhanced three-dimensional (3D) MR imaging using volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE) with two-dimensional gradient-echo MR imaging for the evaluation of renal masses.

Materials and Methods: Twenty-three patients with 25 renal masses underwent dynamic MR imaging using a 1.5-T MR system and the 3D VIBE, 2D fast low angle shot (FLASH), and combined fat saturation techniques after the injection of 20 ml of Gd-DTPA. We compared postcontrast 2D FLASH and 3D VIBE images with precontrast 2D FLASH images. For quantitative analysis, the signal-to-noise and lesion to kidney contrast-to-noise ratio of the images were calculated using the three different techniques. For qualitative analysis, two experienced radiologists analyzed the images in terms of artifacts, lesion conspicuity and delineation, and general image quality. Delineation of the anatomy of renal vasculature and pelvocalyceal systems on reconstructed 3D VIBE MIP images was also assessed.

Results: Quantitative analysis showed that the SNR of a renal mass was slightly higher at postcontrast 2D FLASH than at 3D VIBE imaging, and the SNR of renal cortex was higher at 3D VIBE than at postcontrast 2D FLASH imaging. The differences were, though, statistically insignificant ($p > 0.05$). The CNR of a renal mass was, however, significantly higher at 3D VIBE than at 2D FLASH imaging ($p < 0.05$). Qualitative analysis showed that general image quality was best at postcontrast 3D VIBE, followed by 2D FLASH and precontrast 2D FLASH imaging, and image artifacts were worst at post-contrast 2D FLASH image ($p < 0.05$). In terms of lesion conspicuity and delineation, 3D VIBE gave the best results and postcontrast images were better than precontrast ($p < 0.05$). Reconstructed angiographic and urographic images using the VIBE technique provided information about the anatomy of the renal vasculature and pelvocalyceal system.

Conclusion: 3D VIBE MR imaging offers comparable or superior image quality to 2D FLASH, and because it can provide angiograms and urograms may be more useful in the staging work-up of renal malignancies.

Index words : Kidney, MR
Kidney, neoplasms

Address reprint requests to : Jeong-Min Lee, M.D., Department of Radiology, Seoul National University Hospital, 28 Yongon-dong, Chongno-gu, Seoul 110-744, Korea.
Tel. 82-2-760-2514 Fax. 82-2-743-6385 E-mail: leejm@radcom.snu.ac.kr