대한방사선의학회지 2001;44:93 - 102

신장의 정상구조 관찰을 위한 최적의 자기공명영상기법은?[1]

정환훈 · 설혜영 · 박철민 · 김정혁 · 김윤환 · 이남준 · 정규병 · 서원혁

목적: 신장구조 관찰에 유용한 자기공명 영상기법을 알아봄으로써 신장의 자기공명영상에 기본적으로 사용할 수 있는 적절한 영상기법을 선택하고자 하였다.

대상과 방법: 신질환의 병력이 없는 정상인 20명을 대상으로 하였다. 남자가 15명, 여자가 5명이었고 연령은 24 - 50세 (평균 30.4세)였다. 연구에 사용한 T1강조영상기법은 Conventional spin echo T1 (Conv - SET1), Turbo spin echo T1 (TSET1), Fast low angle shot (FLASH)이었다. T2강조영상기법은 Turbo spin echo T2 (TSET2), Half - fourier acquisition single - shot turbo spin echo (HASTE), True - fast imaging with steady - state precession (True - FISP), Echoplanar image (EPI)이었다. 영상의 분석은 정량적 방법과 정성적 방법으로 나누어 시행하였다. 1) 정량적 방법에서는 Contrast to Noise Ratio (CNR)을 이용하여 신피질 - 주위지방조직의 대조도와 신피질 - 수질의 대조도가 각 영상기법 간에 차이가 있는지를 비교하였다. 2) 정성적 방법에서는 신장윤곽의 선명성, 신피수질 경계의 선명성, 신혈관의 선명성, 신우 및 요관의 선명성, 인공물의 정도를 분석하였다. 3명의 방사선과 의사가 합의 하에 각 항목별로 영상획득기법의 순위를 결정하여 이를 비교하였다.

결과: 1) 정량적 방법에서 신피질 - 주위지방의 대조도는 T1영상기법 중 TSET1이 가장 우수하였고 그 다음으로 Conv - SET1이었다. T2강조영상기법 중에는 TSET2가 가장 우수하였다. 신피질 - 수질 대조도는 T1강조영상기법간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었고 T2강조영상기법 중에는 HASTE, EPI순이었으며 이 두 기법은 다른 T2강조영상기법보다 우수하였다. 2) 정성적 방법에서 신장 윤곽의 선명성평가는 T1강조영상기법들 중 FLASH가 가장 우수하였고 T2강조영상기법간에는 유의한 차이가 없었다. 신피수질 경계의 선명성 평가에 있어서는 T1강조영상기법 중에서 FLASH, T2강조영상기법들 중에서 HASTE가 가장 우수하였다. 신혈관의 선명성은 True - FISP이 다른 기법들보다 통계학적으로 유의하게 우수하였다. 신우 및 요관의 선명성은 HASTE가 우수하였으나 다른 T2강조영상기법인 True - FISP이나 EPI와 통계학적 유의성이 없었다. 인공물은 Conv - SET1에서 가장 심했다.

결론: 신장 형태 관찰을 위해서는 T2강조영상 중 TSET2기법이 가장 우수하였으나 T1강조영상 중에는 특정 기법을 선택할 수 없었다. 신피수질구분(Corticomedullary differentiation)을 보기 위해서는 T1강조영상에서 FLASH기법이 T2강조영상 중에서 HASTE기법이 가장 우수하였다. 신혈관은 True - FISP기법에서 가장 잘 보였다. 신우 및 요관의 평가에 있어서는 HASTE기법이 우수하였으나 True - FISP, EPI와 통계적 유의성이 없었다. 인공물은 Conv - SET1에서 가장 심했다.

신장은 호흡운동의 영향을 많이 받을 뿐만 아니라 좁은 공간에 신피질, 수질, 신우, 신동맥 및 정맥과 같은 구조물들이 밀집되어 있으므로 자기공명영상기법으로 영상화하는데 어려움이 있다. 특히 고식적 자기공명영상기법은 영상을 얻는데 걸리는 시간이 길어서 호흡운동에 의한 인공물이 많이 생겨 진단에 어려움이 있다 (1, 2). 최근 짧은 시간에 영상을 얻을 수 있는 새로운 자기공명영상기법들이 개발되어 한번의 호흡정지로 한 장기 전체의 영상을 얻을 수 있게 되었고 더욱이 단 몇 초의 호흡정지만으로도 영상을 얻을 수 있는 기법까지 개발되었다 (3 - 5). 그러나 최신 자기공명영상기법들은 영상획득시간을 줄임으로써 인공물의 발생을 현저히 감소시켰으나 이들 최

[1]고려대학교 의과대학 진단방사선과학교실
이 논문은 2000년 5월 3일 접수하여 2000년 10월 23일에 채택되었음.

신기법이 어떤 특징을 가지며 어느 장기에서 어떤 목적으로 사용할 것이지는 완전히 확립되어 있지 않으며 특정한 해부학적 구조 또는 병변의 관찰에 유용한지 등도 충분히 알려져 있지 않다. 따라서 다양한 최신 영상기법에 의한 영상의 분석과 이에 기초를 둔 임상적용의 체계화가 필요하다. 신장에 발생하는 질병에 따라 중점적으로 관찰해야하는 구조물은 다르며 이러한 구조물의 관찰에 적합한 자기공명영상기법이 서로 다를 것이다. 따라서 신장내 각각의 구조물 관찰에 가장 적합한 영상기법을 결정하는 것이 효과적인 신장의 자기공명영상에 필수적일 것으로 생각한다. 이 에 저자들은 신장의 자기공명영상을 위해 사용되는 여러 영상기법을 비교하여 신장구조의 관찰에 가장 적합한 영상기법을 결정하였고 이러한 결과는 관찰하려는 신장구조에 따른 최적의 영상기법을 선택하는데 도움이 될 것으로 생각한다.

대상과 방법

신질환의 병력이 없는 정상 지원자 20명을 대상으로하였다. 남자 15명, 여자 5명으로 연령은 24 - 50세 (평균 30.4세)였다. 모든 지원자는 소변검사와 혈액검사를 시행하여 신기능에 이상이 없음을 확인 한 후 검사 대상에 포함시켰다.

1.5 T MR (Siemens, Erlangen, Germany)을 이용하였고, 모든 지원자에게 7가지의 자기공명영상기법 을 적용하여 영상을 얻었다. T1강조영상기법은 Conventional - spine echo T1 weighted image (Conv - SET1), Turbo spin echo T1 weighted image (TSET1), Fast low angle shot (FLASH)의 3가지 기법이었다. T2강조영상기법은 Turbo spin echo T2 weighted image (TSET2), Half - fourier acquisition single - shot turbo spin echo (HASTE), True - fast imaging with steady - state precession (True - FISP), Echoplanar image (EPI)의 4가지 기법이었다. Conv - SET1을 제외한 나머지 기법들은 호흡정지상태에서 영상을 얻는 호흡정지(breath hold)기법으로 영상을 얻었다. 전 예에서 관상면영상을 대동맥의 신동맥 기시부위부터 두께 6 mm, 간격 2 mm로 신실질이 충분히 포함되도록 하여 8 - 11개의 연속된 영상을 얻었으며 사용된 MR parameter들은 Table 1과 같다 (Table 1).

20명의 정상지원자에서 7가지 기법으로 얻은 영상을 통해서 1) 신피질 - 주위지방조직 대조도와 신장윤곽의 선명성, 2) 신피질 - 수질 대조도와 신피수질 경계의 선명성, 3) 신혈관 (신동맥 및 정맥)의 선명성, 4) 신우 및 요관의 선명성, 5) 인공물의 발생정도를 각 기법별로 분석하였다.

영상분석방법은 크게 정량적 방법과, 정성적 방법으로 나누어 시행하였으며, 위 의 자료를 토대로 결과분석을 하였다.

정량적 방법

정량적 방법에서 신호강도대 잡음비(Signal to noise ratio, SNR)와 대조잡음비(Contrast to noise ratio, CNR)를 이용하여 각 영상기법간의 신피질 - 주위지방조직 대조도와 신피질 - 수질 대조도를 비교하였다. 신호강도대 잡음비는 자기공명영상기기에서 측정하려는 부위를 벗어나지 않는 범위 안에서 넓게 원형의 관심부위(Region of Interest)를 설정하여 측정하였고 오차를 줄이기 위해 각각 다른 부위에서 4번을 측정하여 그 평균을 기록하였다. 위의 방법으로 측정한 신호강도대 잡음비(SNR)를 아래의 식에 대입하여 각각의 영상획득기법에서의 신피질 - 주위지방조직 대조도(CNR)와 신피질 - 수질 대조도(CNR)를 산출하였다.

1) 신피질 - 주위지방조직 대조도
(Contrast to noise ratio between cortex and perirenal fat)

$$= \frac{(\text{신피질의 신호강도대 잡음비} - \text{주위 지방의 신호강도대 잡음비})}{\text{배경신호의 표준편차}}$$

2) 신피질 - 수질 대조도
(Contrast to noise ratio between cortex and medulla)

$$= \frac{(\text{신수질의 신호강도대 잡음비} - \text{신피질의 신호강도대 잡음비})}{\text{배경신호의 표준편차}}$$

정성적 방법

정성적 방법에서는 신장윤곽의 선명성, 신피수질 경계의 선명성, 신혈관의 선명성, 신우 및 요관의 선명성, 인공물의 발생정도를 영상획득기법별로 비교하였다. 자기공명영상기기의 모니터 상에 각 영상기법에 의해 얻은 영상을 한 화면에 볼 수 있도록 배치한 후 3명의 방사선과의사가 관찰하려는 각 항목별로 각 영상기법에 순위를 결정하였다. 영상의 질이 비슷하여 우선 순위를 결정할 수 없는 경우에는 합의 하에 동일순위를 부여하였다.

신장윤곽의 선명성과 신피수질 경계의 선명성 평가에서 T1강조영상기법 3가지 (FLASH, TSET1, Conv - SET1)에 가장 우수한 기법을 grade 1, 가장 나쁜 기법을 grade 3으로 순위를 결정하여 grade 1~3으로 나누었다. T2강조영상기법 4가지 (TSET2, HASTE, True - FISP, EPI)도 같은 방법으로 grade 1 - 4까지 순위를 결정하였다. 신혈관의 선명성, 신우 및 요관의 선명성, 인공물의 발생정도의 평가는 전체 7가지 영상기법 (T1영상기법 3가지, T2영상기법 4가지)에 grade 1~7까지 순위를 결정하였고 가장 우수한 기법을 grade 1, 가장 나쁜 기법을 grade 7로 하였다. 인공물의 발생정도의 평가에 있어서는 가장 인공물이 심한 기법을 grade 1로 가장 인공물이 적은 기법을 grade 7로 정하였다.

통계방법

정량적 방법은 랜덤화 블록 계획법(randomized block design)에 의한 분산분석을 시행하였고 영상획득기법 간의 비교는 Duncan의 다중비교방법을 사용하였으며 95%이상의 유의수준으로 검증하였다. 정성적 방법은 Friedman 검정법을 사용하여 95%이상의 유의수준으로 검증하였고 유의한 차이를 보이는 경우에는 검사방법간의 다중비교를 시행하였다.

결과의 분석

1) 신장형태의 관찰에 우수한 영상기법은 정량적 방법에서 신피질 - 주위지방조직의 대조도와 정성적 방법에서 신장윤곽의 선명성을 이용하여 결정하였다.

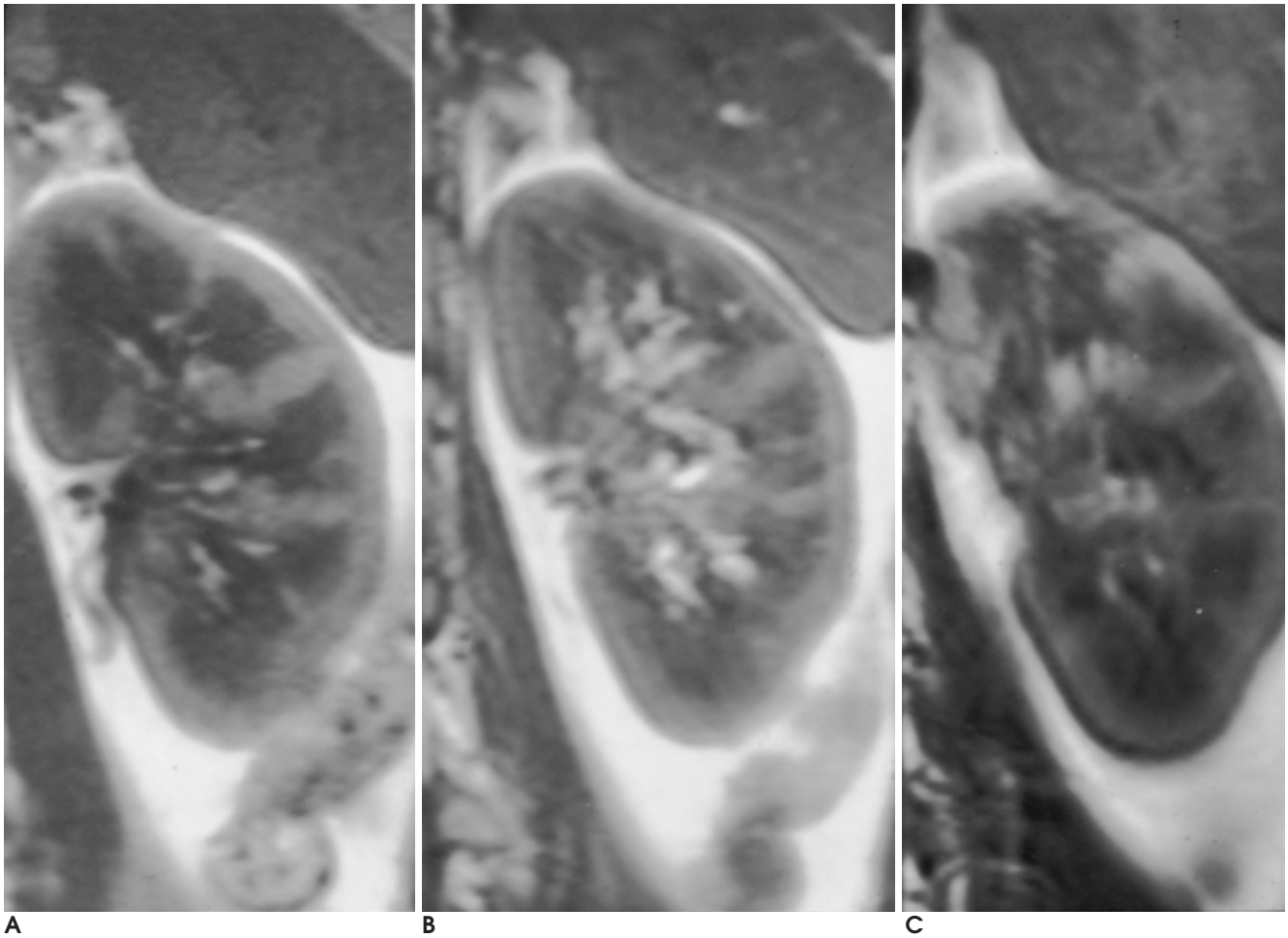
2) 신피수질 구분(Corticomedullary differentiation)의 관찰에 우수한 영상기법은 정량적 방법에서 신피질 - 수질 대조도와 정성적 방법에서 신피수질 경계의 선명성을 이용해 결정하였다.

3) 신혈관의 관찰에 우수한 영상기법은 정성적 방법에서 신혈관의 선명성을 이용하여 결정하였다.

Table 1. Parameters of MR Sequences

구 분	TR (msec)	TE (msec)	NEX	Th (mm)	TA (sec)	Matrix	FOV (mm)	Breath Hold
Conv-SET1	600	15	2	6	3:20	256 × 256	300 - 400	no
TSET1	450	12	1	6	23	256 × 256	300 - 400	yes
FLASH	120	4.1	1	6	18	256 × 256	300 - 400	yes
TSET2	3200	138	1	6	17	256 × 256	300 - 400	yes
True-FISP	4.8	2.3	1	6	7	256 × 256	300 - 400	yes
HASTE	4.4	64	1	6	13	256 × 256	300 - 400	yes
EPI	0.6	78	1	6	3	128 × 128	300 - 400	yes

TR; repetition time, TE; time of echo, NEX; number of acquisition,
Th; thickness, TA; time of acquisition, FOV; field of view
Conv-SET1; Conventional spin echo T1, TSET1; Turbo spin echo T1, FLASH; Fast low angle shot,
TSET2; Turbo spin echo T2, HASTE; Half-fourier acquisition single-shot turbo spin echo,
True-FISP ; True-fast imaging with steady-state precession, EPI ; Echoplanar image.



A B C

Fig. 1. T1 weighted MR sequences
FLASH image (**A**) shows good corticomedullary differentiation and outline of kidney than TSET1 (**B**), and Conv SET1 images (**C**). Artifacts are severe on Conv SET1 image (C) than FLASH (A) and TSET1 images (B).

4) 신우 및 요관의 관찰에 우수한 영상기법은 정성적 방법에서 신우 및 요관의 선명성을 이용하여 결정하였다.

5) 인공물이 많이 발생하는 영상기법은 정성적 방법에서 인공물 발생정도를 이용하여 결정하였다.

결 과

정량적 방법

신피질-주위지방조직 대조도

T1강조영상기법 중에서는 TSET1 (83.7±22.4)이 가장 우수하였고, 그 다음으로 Conv-SET1 (73.0±15.8)이었다. 이 두 기법은 FLASH (52.6±9.6)와 비교하여 통계학적으로 유의하게 우수하였다 (Table 2, 3).

T2강조영상기법중에서 TSET2 (50.9±10.7)가 가장 우수하였고, 다음으로는 EPI (38.6±14.0), True-FISP (30.6±12.8), HASTE (19.9±6.9)의 순이었다. 이들 각각의 영상기법의 순위는 통계학적으로 유의하였다 (Table 2, 4).

신피질-수질 대조도

T1강조영상기법 중에서 Conv-SET1 (24.9±25.2)이 가장 우수하였고, 다음으로 TSET1 (15.3±9.1), FLASH (15.1±7.4)의 순서로 나타났으나 각 기법간에 통계적 유의성은 없었다 (Table 2, 3).

T2강조영상기법 중에서 HASTE (10.8±6.6)가 가장 우수하였고, 그 다음으로는 EPI (10.6±6.9)이었으며, 이 두 기법은 다른 두 기법 (TSET2, True-FISP)보다 통계학적으로 유의하게 우수하였다 (Table 2, 4).

정성적 방법

신장윤곽의 선명성

T1강조영상기법 중에서 FLASH (1.11±0.32)가 TSET1 (1.95±0.40)과 Conv-SET1 (2.95±0.23)보다 통계적으로 유의하게 우수하였으며 (Table 2, 5) (Fig. 1), T2강조영상기법 중에서는 TSET2 (2.16±1.12)가 가장 우수하였으나 HASTE (2.21±1.13), True-FISP (2.84±1.17), EPI (2.68±1.11)와 통계적 유의성은 없었다 (Table 2, 6) (Fig. 2).

신피수질 경계의 선명성

T1강조영상기법 중에서 FLASH (1.05±0.23)가 TSET1 (2.02±0.32)과 Conv-SET1 (2.89±0.32)보다 통계적으로 유의하게 우수하였다 (Table 2, 5) (Fig. 1). FLASH 와 TSET1에서 신수질과 피질이 모든 예에서 구분되었으나 Conv-SET1 기법으로 얻은 영상 20예 중 3예에서 심한 인공물로 인해 신피질과 수질이 구분되지 않았다.

T2강조영상기법 중에서 HASTE (1.05±0.23)가 EPI (2.11±0.32), TSET2 (3.42±0.84), True FISP (4.0±0)보다 통계학적으로 유의하게 우수하였다 (Table 2, 6) (Fig. 2). HASTE에서 신피질과 수질의 구분은 전 예에서 가능하였으나, EPI중에는 17예, TSET2는 8예에서 구분이 가능하였으며, True FISP은 전 예에서 신피질과 수질이 구분되지 않았다

Table 2. Statistical Analysis of Results

		Analysis of result
Kidney shape	CNR between cortex and perirenal fat	T1WI : TSET1, Conv-SET1 > FLASH ($p < 0.05$) T2WI : TSET2 > EPI > True-FISP > HASTE ($p < 0.05$)
	Kidney outline	T1WI : FLASH > TSET1, Conv-SET1 ($p < 0.05$) T2WI : TSET2 , HASTE, EPI, True-FISP ($p > 0.05$)
Cortico-medullary differentiation	CNR between cortex and medulla	T1WI : Conv-SET1, TSET1, FLASH ($p > 0.05$) T2WI : HASTE, EPI > TSET2, True-FISP ($p < 0.05$)
	Cortico-medullary distinction	T1WI : FLASH > TSET1, Conv-SET1 ($p < 0.05$) T2WI : HASTE > EPI, TSET2, True-FISP ($p < 0.05$)
Renal vessels		True-FISP > other sequences ($p < 0.05$)
Renal pelvis/ureter		HASTE > FLASH, TSET1, Conv-SET1 ($p < 0.05$)
Artifact		Conv-SET1 > EPI > other sequences ($p < 0.05$)

Table 3. CNR between Cortex and Perirenal Fat and between Cortex and Medulla on T1 Weighted Sequences

CNR	Conv-SET1	TSET1	FLASH
Cortex and perirenal fat*	73.0±15.8	83.7±22.4	52.6±9.6
Cortex and medulla+	24.9±25.2	15.3± 9.1	15.1±7.4

CNR; contrast to noise ratio
* p value (cortex and perirenal fat) ; 0.0001
+ p value (cortex and medulla) ; 0.0781

Table 4. CNR between Cortex and Perirenal Fat, and between Cortex and Medulla on T2 Weighted Sequences

CNR	TSET2	HASTE	True-FISP	EPI
Cortex and perirenal fat*	50.9±10.7	19.9±6.9	30.6±12.8	38.6±14.0
Cortex and medulla+	4.6±8.2	10.8±6.6	0	10.6± 6.9

CNR; contrast to noise ratio
* p value (cortex and perirenal fat) ; 0.0001
+ p value (cortex and medulla) ; 0.0001

신혈관의 선명성

총 7개의 기법 중 True - FISP (1.10±0.31)이 다른 기법들보다 통계적으로 유의하게 우수하였다 (Table 2, 7) (Fig. 3).

신우 및 요관의 선명성

총 7개의 기법 중 HASTE (3.00±2.71)가 가장 우수하였으나, 다른 T2강조영상기법인 EPI (3.53±2.48)나 True - FISP (4.58±2.32)와 비교하여 통계적 유의성은 없었다. 그러나 HASTE는 T1강조영상기법인 FLASH (5.79±1.13), TSET1 (6.16±0.77), Conv - SET1 (6.63±0.68)보다 유의하게 우수하였다 (Table 2, 7) (Fig. 4).

인공물의 발생정도

총 7개의 기법 중 Conv - SET1 (1.32±0.48)이 가장 심했으며 (Fig. 5), 그 다음은 EPI (2.95±2.07)이었다 (Table 2, 7).

결과의 분석

신장형태의 관찰

T1강조영상기법중 정량적 방법에서 얻은 대조도의 평가에서 TSET1이 가장 우수하였고 정성적 방법에서 얻은 신장윤곽의 평가는 FLASH에서 가장 우수하였으며 이는 각각 통계학적으로 유의하였다. 그러므로 신장형태 평가를 위한 가장 우

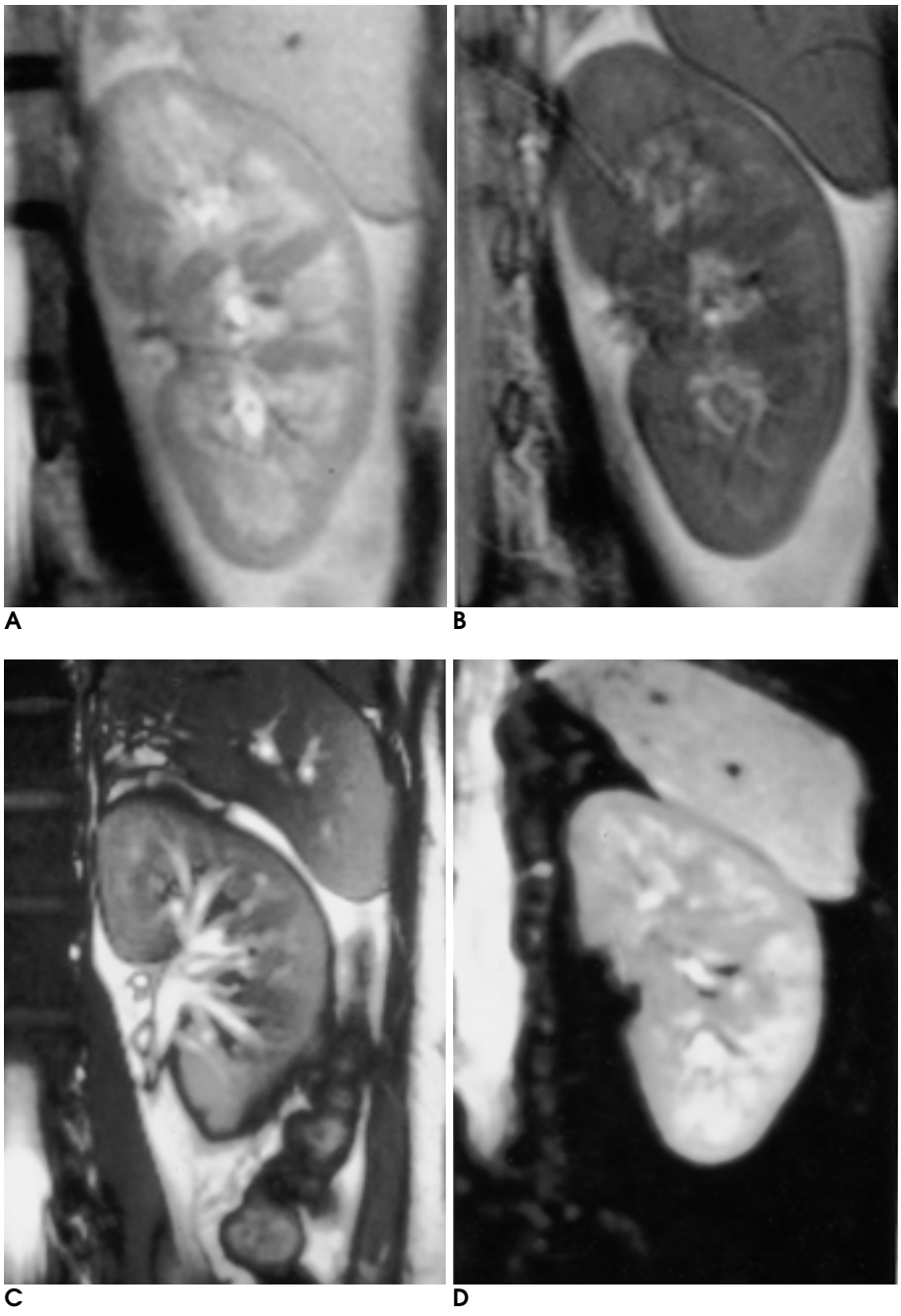


Fig. 2. T2 weighted MR sequences
Corticomedullary differentiation is the best on HASTE image (**A**) followed by EPI image (**D**). Faint differentiation is seen on TSET2 image (**B**). Corticomedullary differentiation is not seen on True-FISP image (**C**). Outline of kidney is relatively good on all T2 weighted images.

수한 T1강조영상기법을 결정하기 위해 시행한 두 방법은 일치된 결과를 보이지 않았다.

T2강조영상기법중 정량적 방법에서 얻은 대조도의 평가에서 TSET2가 가장 우수하고 정성적 방법에서 얻은 신장윤곽의 평가는 영상기법간의 통계적 유의성이 없으므로 T2강조영상으로 신장형태를 평가하려 할 때는 TSET2가 가장 유용하였다.

신피수질구분의 관찰

T1강조영상기법중 정량적 방법에 의한 신피질 - 수질 대조도의 평가에서 세가지기법간에 통계적 차이는 없었으나, 정성적 방법에 의한 신피수질 선명성의 평가에서 FLASH가 다른 두 기법보다 우수하였으므로, T1강조영상기법으로 신피수질을 관찰하려할 때는 FLASH가 가장 유용하였다.

T2강조영상기법중 정량적 방법에 의한 신피질 - 수질 대조도의 평가에서 HASTE와 EPI가 다른 기법보다 우수하였고, 정성적 방법에 의한 신피수질 경계의 선명성 평가에서도 HASTE가 가장 우수하여서, T2강조영상기법으로 신피수질구분을 관찰하려할 때는 HASTE가 가장 유용하였다.

신혈관의 관찰

총 7개의 기법을 정성적 방법으로 분석하였을 때 True - FISP이 신혈관의 관찰에 가장 우수하였다.

신우 및 요관의 관찰

총 7개의 기법 중 정성적 방법에 의한 신우 및 요관의 선명성 평가는 HASTE가 가장 우수하였다. 그러나 HASTE는 다른 T2강조영상기법인 EPI나 True - FISP와 비교하여 통계적으로 유의하지 않았다.

인공물

정성적 방법으로 인공물의 발생정도를 분석하였을 때 총 7개의 기법 중 Conv - SET1에서 인공물이 가장 심했고 그 다음은 EPI이었다.

고 찰

호흡이나 혈관운동에 의한 인공물은 복부 자기공명영상에 있어 큰 문제점중 하나이며, 이를 줄이기 위한 많은 노력이 있어 왔다. 초창기에는 인공물 자체를 줄이기 위하여 호흡보상 (6), 사전포화법(presaturation) (7), 지방신호억제기법(fat suppression) (8) 등을 이용하였고 이에 따라 이전보다 나은 영상을 얻을 수 있었으나 그 영향을 완전히 배제할 수는 없었다. 그 후 영상획득시간을 획기적으로 줄임으로서 이차적으로 인공물의 영향을 배제시킬 수 있는 영상획득기법들이 개발되었

Table 5. Grading of T1 Weighted Sequences for Kidney Outline and Cortico-Medullary Distinction.

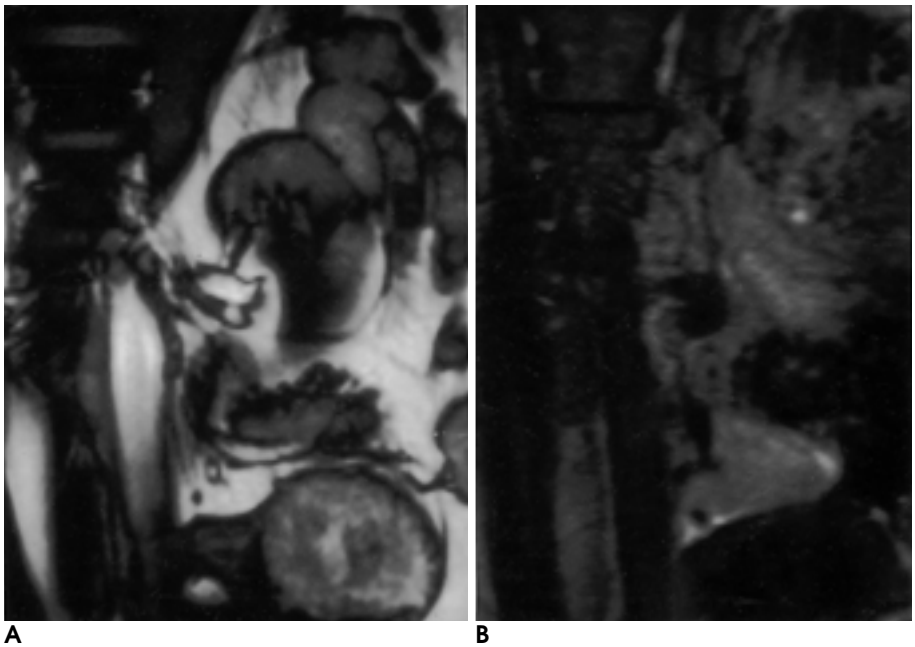
Grading	Conv-SET1	TSET1	FLASH
Kidney outline*	2.95±0.23	1.95±0.40	1.11±0.32
Cortico-medullary distinction+	2.89±0.32	2.02±0.32	1.05±0.23

* p value (kidney outline) ; 0.001
+ p value (cortico-medullary distinction) ; 0.001

Table 6. Grading of T2 Weighted Sequences for Kidney Outline and Cortico-Medullary Distinction

Grading	TSET2	HASTE	True-FISP	EPI
Kidney outline*	2.16±1.12	2.21±1.13	2.84±1.17	2.68±1.11
Cortico-medullary distinction+	3.42±0.84	1.05±0.23	4	2.11±0.32

* p value (kidney outline) ; 0.280
+ p value (cortico-medullary distinction) ; 0.001



A B

Fig. 3. Evaluation of renal vessels
Renal artery and vein are seen in bright signal intensity on True-FISP image (**A**) and margin of vessel is outlined by dark signal. On FLASH image (**B**), there is some abnormal increased intensity in vessel lumen due to flow-related artifact in normal patient.

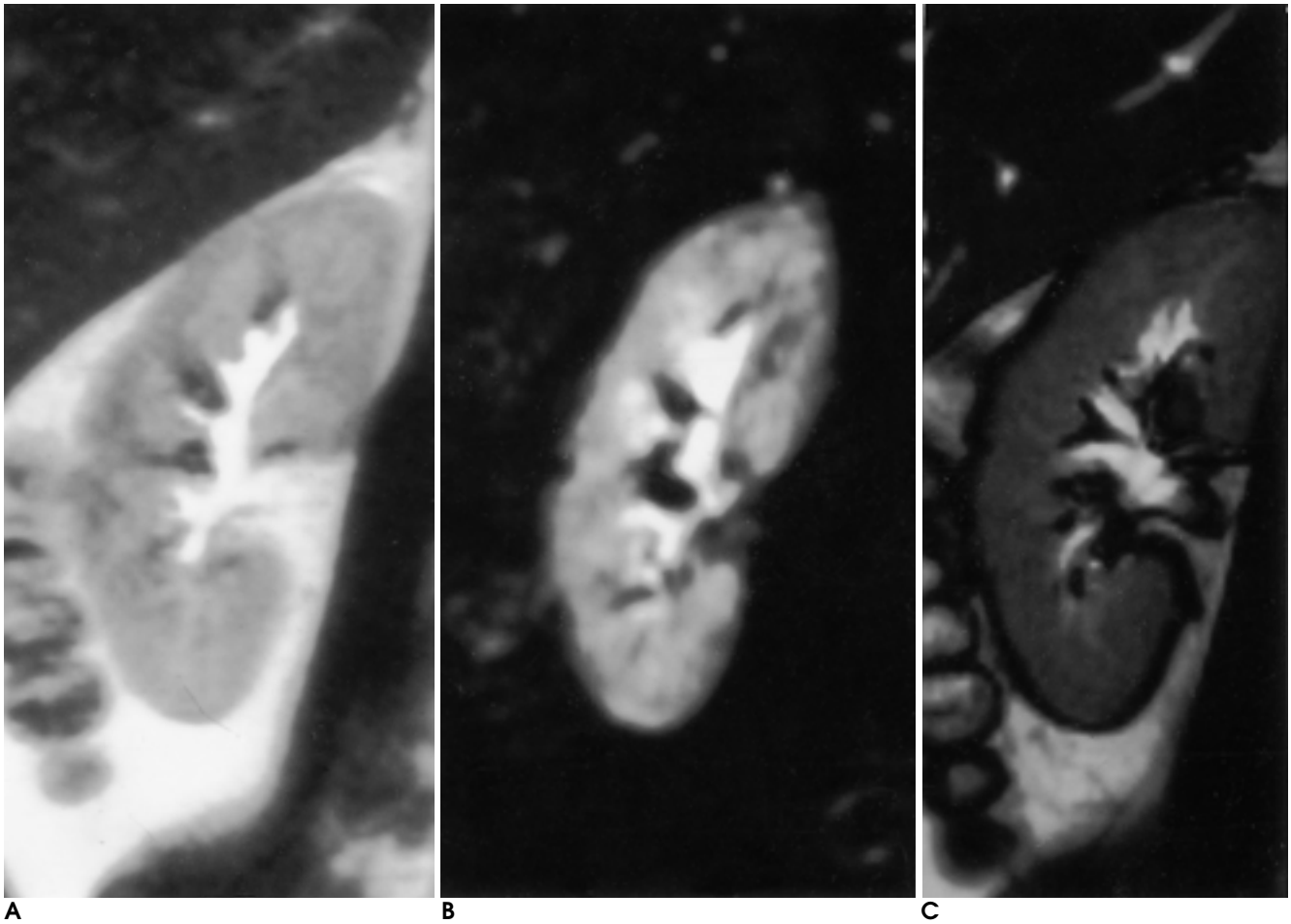
으며, 현재는 한번의 호흡정지만으로 복부 영상을 얻을 수 있어 호흡운동에 의한 영향을 거의 받지 않는 급속영상기법을 사용하고 있다. 이런 급속영상기법으로는 Siemen사의 Fast low angle shot (FLASH), Fast imaging with steady - state precession (FISP), Turbo Spin echo (TSE), Half - fourier acquisition single - shot turbo spin echo (HASTE), Echoplanar image (EPI)등이 있고 이 들은 각각 GE사의 Spoiled Gradient - Refocused acquisition in the steady state (Spoiled GRASS), Gradient - Refocused acquisition in the steady state (GRASS), Fast Spin Echo (FSE), Single Shot Fast Spin Echo (SSFSE), Echoplanar image (EPI)에 해당되는 영상기법들이다. 이 연구에서는 위의 영상기법들을 연구대상에 포함시켜 신장자기공명영상에서의 유용성을 알아보았다.

경사에코영상방법에서는 90 °보다 작은 숙임각을 사용하므로

Table 7. Grading of MR Sequences for Renal Vessel, Pelvis/Ureter, and Artifacts

Grading	T1 weighted images			T2 weighted images			
	Conv-SET1	TSET1	FLASH	TSET2	HASTE	True-FISP	EPI
Renal vessel*	5.75±0.72	4.50±1.00	4.55±0.94	3.10±1.48	3.15±1.04	1.10±0.31	7.00
Renal pelvis/ureter†	6.63±0.68	6.16±0.77	5.79±1.13	5.79±1.18	3.00±2.71	4.58±2.32	3.53±2.48
Artifact ‡	1.32±0.48	5.74±2.23	6.21±1.58	6.42±1.74	6.74±1.15	6.21±1.58	2.95±2.07

* p value (renal vessel) ; 0.001
† p value (renal pelvis/ureter) ; 0.001
‡ p value (artifact) ; 0.001



A **B** **C**

Fig. 4. Evaluation of Urinary Tract
Renal pelvis is seen as high signal intensity on HASTE (**A**), EPI (**B**), and True-FISP images (**C**). Renal pelvis and calyces are outlined the most prominently on HASTE image (A).

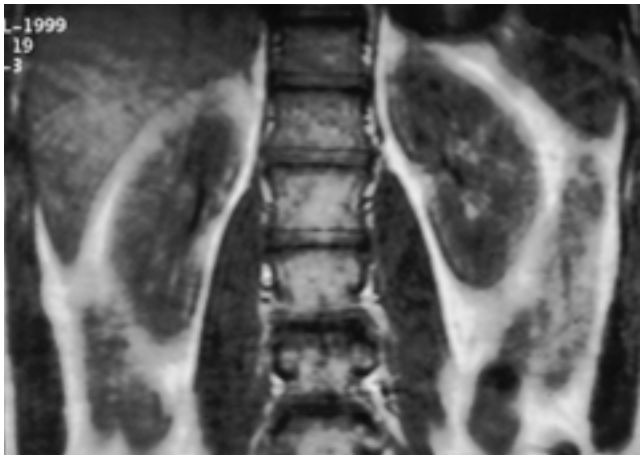


Fig. 5. Artifact
Prominent respiratory motion artifacts are seen on Conv-SET1 image.

영상 수집시간을 단축시킬 수 있다. 그러나 선형적으로 변화하는 경사 자장을 이용하는데 주 자장이 균일하지 못하면 경사자장의 선형성이 깨지면서 영상에 인공물이 생기고 국소적인 자화율의 변화나 비균일 자장에도 예민하게 반응하고 스핀에코기법에 비해 대조도가 떨어진다 (9). 이 연구에서 FLASH는 T1강조영상기법 중 하나로서 비교 평가되었고 대조도는 다른 T1강조영상기법들보다 다소 떨어지는 경향을 보였으나 인공물이 가장 적었으며, 신장윤곽의 선명성, 신피수질 경계의 선명성 등 정성적 방법에서 우수하였다. FISP영상에서는 뇌척수액과 같이 긴 T2를 갖는 성분은 밝게 나타나게되고 (9, 10), True - FISP는 FISP의 변형으로 움직임에 의한 위상차를 제거할 수 있어 움직이는 물신호가 밝게 나오는 T2영상을 얻을 수 있다. FISP의 다른 한 특징은 탈위상인공물 (out of phase artifact or phase cancellation artifact)로 장기를 둘러싸는 저신호강도의 띠로 나타나는데 이는 한 화적소 내에 물과 지방의 양성자가 같이 존재할 때 물과 지방의 양성자가 반대위상이 되어 나타나는 현상으로 알려져있다. 본 연구에서 True - FISP는 신혈관을 밝은 신호로 보여주어 다른 영상들보다 뚜렷이 신혈관의 선명성을 관찰할 수 있었으며, 전 예에서 이 특징적인 탈위상인공물이 신장의 외연에 나타났다.

TSE와 HASTE는 하나의 TR에 여러 개의 180 °RF파를 주어 영상을 얻는 방법으로서 Conv - SE영상에 비해 획기적으로 영상획득시간을 단축시킬 수 있다. 특히 HASTE는 매우 긴 에코열차길이 (64 - 128)를 갖고있기 때문에 짧은 시간 (1초 이내)에 하나의 영상절편을 얻으므로 호흡에 관계된 ghost artifact가 거의 없어 소아환자나 검사 중 숨을 쉬고 있는 환자에서 심한 영상의 질 저하를 유발하지 않는다 (11). 그러나 HASTE는 빠르게 영상을 얻을 수 있는 반면에 데이터를 받는 동안 T2감쇠가 계속되어 짧은 T2를 가지는 조직은 펄스열의 마지막에 가서는 거의 신호를 내지 못하여 신호강도대 잡음비가 낮아지며 해상도가 떨어진다 (11, 12). TSE와 HASTE는 이 연구에서 인공물이 적으면서도 깨끗한 T2영상을 제공하였으며, 특히 HASTE에서는 전 예에서 인공물에 의한 영상의 훼손이 거의 없었다.

EPI (Echoplanar image)는 1회의 RF파를 여기후 경사자장을 고속으로 반전시킴으로서 k - space의 sampling에 필요한 echo신호를 모두 수집하는 초고속 자기공명기법으로 가장 빠른 자기공명영상기법이다 (5). EPI는 1977년 Mansfield 등에 의해 개발되었으나 (13) 기술적인 문제로 사용하지 못하다가 최근에 와서 관련기술의 발달과 더불어 사용되기 시작하여 임상 적용이 시도되고 있다. 초고속 영상기법이나 기존의 스핀에코 T2강조영상이나 급속조영 T2강조영상방법에 비해 공간해상력과 신호강도대 잡음비가 떨어지며 위상부호화 방향으로 심한 화학적 이동현상(chemical shift)이 생기는 등의 문제가 있다. 따라서 현재까지 EPI는 병변의 발견보다는 병변의 특성화에 기여할 수 있는 방향으로 연구가 진행되고 있다 (14).

조영제를 사용하지 않고 신장의 피질과 수질의 구별이 가능하다는 것은 자기공명영상을 이용한 신장 영상에서의 특징중 하나이다. 신피수질의 구분은 T2강조영상에서는 힘들고 TE가 짧은 T1강조영상이나 양자밀도영상에서 구분이 가능하다고 알려져 있어서 (15) 내과적 신질환이나 이식신에서의 신피수질 구분의 소실을 보기 위해서 주로 T1강조영상이 사용되었다 (15, 16). 그러나 이 연구에서는 T2강조영상기법에서도 신피수질 구분이 되는 경우가 있었고, 특히 HASTE에서는 20예 모두에서 신피수질 구분이 되었으며 정량적 방법에 의한 신피질 - 수질 대조도와 정성적 방법에 의한 신피수질 경계의 선명성 평가에서 모두 다른 T2강조영상기법들과 비교하여 가장 우수하였다. 그 외 EPI중 17예에서 신피수질 구분이 가능하였고 TSET2중에서도 8예에서 가능하였다. True - FISP은 전 예에서 신피수질 구분이 되지 않았다. 현재까지 알려진 바와는 다르게 일부의 T2영상기법들에서도 신피수질의 구분이 되었고, 특히 HASTE는 전 예에서 구분이 가능하여 신피수질 구분의 평가에 유용할 것으로 생각한다.

정량적 방법에 의한 신장 - 주위지방조직 대조도 차이에서 T1강조영상기법 중 FLASH는 다른 두 SE기법에 비하여 대조도가 낮았다. 그러나 정성적 방법에 의한 윤곽의 평가에서는 FLASH가 다른 SE기법보다 우수하게 평가되어 대조도와는 상반된 결과를 보여주었다. 이와 같이 이 연구의 T1강조영상들간 비교에서 대조도와 윤곽의 평가가 서로 상반된 결과를 보임으로서 T1강조영상에서의 신장 형태평가에 가장 좋은 특정 영상기법 한가지를 선택할 수 없다고 결론지었다. T2강조영상기법 중에서는 신장윤곽의 평가에서 유의한 차이를 보인 영상기법은 없었으므로 다른 기법과 통계적으로 유의하게 대조도가 가장 좋았던 TSET2를 신장형태 평가에 가장 유용한 T2강조영상기법으로 결론지었다. 이는 경사에코기법과 EPI가 SE기법보다 영상의 대조도가 낮은 특성을 갖기 때문으로 생각되며, 같은 SE기법 중에서는 HASTE가 에코열차길이가 길어서 계속적인 180파 동안에 감쇄 되는 T2신호가 TSET2보다 많기 때문일 것이다.

True - FISP은 액체 성분의 움직임이 있더라도 고신호강도로 관찰되는 특징을 가지고 있어서 이 연구에서 신혈관이 뚜렷한 고신호강도로 관찰되었다. 또한 혈액의 흐름에 민감하며,

1회의 호흡정지 내에 급속촬영이 가능하다는 등의 특징 (17, 18)으로 기존의 SE기법의 문제였던 혈류와 관계된 인공물 (flow related artifact), 호흡이나 심장박동에 의한 인공물 등을 (19, 20) 획기적으로 개선할 수 있다고 알려져있다. 이 등은 (10) 간문맥의 평가에서 True - FISP이 조영증강후 FLASH보다도 영상의 질이 우수하며 문맥종양혈전의 정확한 위치를 보여주어, True - FISP이 복부 혈관 평가에 있어 조영제를 사용한 영상보다 우수한 영상을 제공할 수 있다는 가능성을 제시하였으며, 신혈관평가에도 비슷한 결과를 보일 것으로 예측된다. 따라서 신세포암의 신혈관 침범유무, 신동맥 협착, 신정맥내 혈전유무 등 신혈관질환의 진단에 True - FISP을 사용하면 조영제를 사용하지 않고도 손쉽게 혈관질환의 유무를 평가할 수 있을 것으로 생각한다.

HASTE는 인공물이 없으면서도 강한 T2강조영상을 보여준다는 점 때문에 움직임이 적은 물 성분의 영상화에 이용되어 현재 자기공명 요로조영술(MR urography)과 자기공명 담췌관조영술(MR cholangiopancreatography)에서 가장 많이 사용하고 있다 (21, 22). 이 연구에서도 요관의 평가에 HASTE 가 가장 우수하였으나 True - FISP, EPI와는 통계적 유의성이 없었다. 이 연구는 정상 신장을 대상으로하였기 때문에 요관이 확장되지 않아 전장이 보이지 않는 경우가 많았고 연동운동에 의한 직경 변화가 커서 시간 간격을 두고 시행한 다른 영상기법 간에 차이가 있는 경우가 있었다. 따라서 이 연구 결과로 신우 및 요관을 평가하기 위한 영상기법간의 차이를 완전히 평가했다고 속단할 수는 없고 폐색에 의해 요관이 확장되어 있는 환자들을 대상으로한 연구가 필요하리라 생각한다.

인공물은 Conv - SET1에서 가장 많이 발생하였으며 다른 기법들과 비교하여 통계적 유의성이 있었다. 다른 영상기법들이 한번의 호흡정지만으로 영상을 얻어 호흡에 의한 영향을 현저히 줄일 수 있었다는 점을 생각하면, 호흡운동을 극복하지 못한 Conv - SET1에서 인공물이 많이 발생한 것은 당연한 결과일 것이다. 따라서 복부의 자기공명영상에서 Conv - SE영상기법은 점차 이용이 줄어들 것으로 생각한다.

이 연구의 제한점은 첫째, 관상면만을 시행하였기 때문에 촬영 단면이 달라지거나 다른 단면과 같이 평가했을 때 평가의 결과가 달라질 수 있다는 점이다. 둘째, 모두 정상 신장을 대상으로했으므로 실제 임상에서 사용되는 비정상 신장의 평가와 차이를 보일 수 있다는 점이다.

결론적으로 신장형태의 관찰에서 가장 유용한 영상기법은 T2강조영상기법 중 TSET2이었으나 T1강조영상기법 중에는 어느 하나의 우수한 영상기법을 결정할 수 없었고, 신피수질구분의 관찰에 가장 유용한 영상기법은 T1강조영상기법 중 FLASH이었고, T2강조영상기법 중 HASTE이었다. 신혈관의 관찰에 가장 유용한 자기공명영상기법은 True - FISP이었고. 신우 및 요관의 관찰에 가장 우수한 결과를 보인 영상기법은 HASTE이었으나 EPI, True - FISP과 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 인공물은 Conv - SET1에서 가장 심하게 발생하였다.

참 고 문 헌

1. Semelka RC, Simm FC, Recht M, Deimling M, Lenz G, Laub GA. T1-weighted sequences for MR Imaging of the liver: comparison of three techniques for single-breath, whole-volume acquisition at 1.0 and 1.5 T. *Radiology* 1991;180:629-635
2. Melki PS, Argaud C, Sumniski M, Helenon O, et al. Comparison of single-breath-hold fast spin-echo sequences with routine non-breath-hold techniques: application to MRI of renal masses. *J Magn Reson Imaging* 1996;6:608-614
3. Riederer SJ. Recent technical advances in MR imaging of the abdomen. *J Magn Reson Imaging* 1996;6:822-832
4. Mitchell DG. Fast MR Imaging Techniques: impact in the abdomen. *J Magn Reson Imaging* 1996;6:812-821
5. Edelman RR, Wielopolski P, Schmitt F. Echo-planar MR imaging. *Radiology* 1994;192:600-612
6. Bailes DR, Gilderdale DJ, Bydder GM, Collins AG, Firmin DN. Respiratory ordered phase encoding (ROPE): a method for reducing respiratory motion artifacts in MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1985;9:835-838
7. Felmlee JP, Ehman RL. Spatial presaturation: a method for supressing flow artifacts and improving depiction of vascular anatomy in MR imaging. *Radiology* 1987; 164:559-565
8. Frahm J, Haase A, Hanicke W, Matthaei D, Bomsdorf H, Helzel T. Chemical shift selective MR imaging using a whole-body magnet. *Radiology* 1985;156:441-444
9. 이성우, 은충기, 문치웅, 박수성. *최신자기공명영상학*. 서울:여문각, 1998:82-151
10. 이준우, 김학진, 김건일, 나용진. 문맥계의 자기공명영상: True Fast Imaging with Steady State Precession (FISP)영상과 조영증강후 Fast Low Angle Shot (FLASH)영상의 비교. *대한방사선의학회지* 1999;41:713-718
11. Semelka RC, Kelekis NL, Thomasson D, Brown MA, Laub GA. HASTE MR imaging : description of technique and preliminary results in the abdomen. *J magn Reson Imaging* 1996;6; 698-699
12. 이경호, 김태경, 장현정등 정상췌장의 자기공명영상:급속스핀에코, 지방억제-급속스핀에코, HASTE 및 지방억제-HASTE기법을 이용한 T2-강조영상의 비교. *대한방사선의학회지* 1998;38:107-112
13. Manfield P. Multi-planar image formation using NMR spin echoes. *J Phys* C 1977; 10:L55
14. 김석, 이준우, 김창원등 소간세포암과 혈관종의 진단에 있어서 EPI의 유용성: 급속 T2WI와의 비교. *대한방사선의학회지* 1998;38:849-855
15. Leung AW-L, Bydder GM, Steiner RE, Bryant DJ, Young IR. Magnetic resonance imaging of the kidneys. *AJR Am J Roentgenol* 1984;143:1215-1227
16. Geisinger MA, Risius B, Jordan ML, Zelch MG, Novick AC, George CR. Magnetic resonance imaging of renal transplants. *AJR Am J Roentgenol* 1984;143:1229-1234
17. Spritzer CE, Sussman SK, Blinder RA, Saeed M, Herfkens RJ. Deep venous thrombosis evaluation with limited flip-angle, gradient-refocused MR imaging; preliminary experience. *Radiology* 1988;166: 371-375
18. Gehl HB, Bohndorf K, Klose KC, Gunther RW. Two-dimensional MR angiography in the evaluation of abdominal veins with gradient refocused sequences. *J Comput Assist Tomogr* 1990;14:619-624
19. Hricak H, Thoeni RF, Carrol PR, Demas BE, marotti M, Tanagho EA. Detection and staging of renal neoplasm: a assessment of MR imaging. *Radiology* 1988;166:643-649
20. Hricak H, Amparo E, Fisher MR, Crooks L, Higgins CB.

Abdominal venous system: assessment using MR. *Radiology* 1985; 156:415-422
21. Regan F, Bohlman ME, Khazan R, Rodriguez R, Schultze-Haakh H. MR urography using HASTE Imaging in the assessment of ureteric obstruction. *AJR Am J Roentgenol* 1996;167:1115-1120
22. 박미숙, 김영환, 김기황, 유정식, 조나리야. 호흡정지 HASTE기법을 이용한 췌담관 자기공명영상에서 최대신호강조영상과 단일절편영상의 비교. *대한방사선의학회지* 1997;37:95-100

J Korean Radiol Soc 2001;44:93 - 102

What is the Best MR Sequence to Evaluate Normal Structures of Kidney?[1]

Hwan Hoon Chung, M.D., Hae Young Seol, M.D., Chul Min Park, M.D., Jung Hyuk Kim, M.D., Yun Hwan Kim, M.D., Nam Jun Lee, M.D., Kyoo Byung Chung, M.D., Won Hyuck Suh, M.D.

[1]Department of Radiology, College of Medicine, Korea University

Purpose: To determine the best MR sequence for evaluation of the anatomical structures of normal kidney

Materials and Methods: Twenty normal volunteers (M:F = 15:5) took part in this study, and for each, seven sequences were performed. The T1 weighted sequences were conventional spin echo T1 (Conv-SET1), turbo spin echo T1 (TSET1), and fast low angle shot (FLASH), while the T2 weighted sequences were turbo spin echo T2 (TSET2), half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo (HASTE), true-fast imaging with steady-state precession (True-FISP), and echoplanar imaging (EPI). The study involved quantitative and qualitative analysis. In quantitative analysis, CNRs between cortex and adjacent fat tissue, and between cortex and medulla were calculated from SNR (signal to noise ratio), and the CNRs of sequences were statistically compared. In quantative analysis, three radiologists collectively evaluated kidney outline, cortico-medullary division, the renal vessels, the pelvis/ureter, and artifacts. For each sequence a grade was assigned, and for each parameter the grades were compared.

Results: Between cortex and adjacent fat, the highest CNR was shown by TSET1, followed by Conv-SET1, while among T2 sequences, the CNR shown by TSET2 was highest. Between cortex and medulla, the CNR demonstrated by the three T1 sequences showed no statistically significant difference. Among T2 sequences, however, HASTE showed the highest CNR, followed by EPI, and statistically, the findings for these two were significantly different from those of other T2 sequences. Among T1 sequences, FLASH provided the best kidney outline, though among T2-sequences there was no statistically significant difference. FLASH was also the best for cortico-medullary distinction, while for this purpose the best T2 sequence was HASTE. True-FISP was best for the evaluation of renal vessels, and HASTE for evaluating the pelvis and ureter. Artifacts were most prominent on Conv SET1.

Conclusion: For evaluating the shape of the kidney, the best T2 sequence was TSET2, but the best T1 sequence could not be determined. For cortico-medullary differentiation, the best T1 sequence was FLASH and the best T2 sequence was HASTE. For the evaluation of renal vessels, True-FISP was best, and for the pelvis and ureter, HASTE. Artifacts were most prominent on Conv-SET1.

Index words : Kidney, anatomy
Kidney, MR

Address reprint requests to : Hae Young Seol M.D., Department of Diagnostic Radiology, Korea University Hospital
80, Guro-Dong, Guro-Ku, Seoul 152-703, Korea.
Tel. 82-2-818-6784 Fax. 82-2-863-9282