

◆ 원 저 ◆

## 고속스핀에코기법을 이용한 MRI검사에서 ETL 변화에 따른 영상 blurring의 평가

권순용<sup>1</sup> · 임우택<sup>1</sup> · 강충환<sup>1</sup> · 김경수<sup>1</sup> · 김순배<sup>1</sup> · 김현수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>건국대학교병원 영상의학과 · <sup>2</sup>신구대학교 방사선과

## Evaluation of the Image Blurring in the Fast Spin Echo Technique according to Variation of the ETL

Soon-Yong Kwon<sup>1</sup> · Woo-Taek Lim<sup>1</sup> · Chung-Hawn Kang<sup>1</sup> ·  
Kyeong-Soo Kim<sup>1</sup> · Soon-Bae Kim<sup>1</sup> · Hyun-Soo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Konkuk University Medical Center ·

<sup>2</sup>Radiological Technology, Shingu College

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate image blurring according to variation of the ETL and propose the clinically appropriate ETL range. SIEMENS MAGNETOM Skyra 3.0T and 20 channel head coil were used for the study. MRI phantom was kept the lines horizontally to three direction(X,Y,Z) of the coil and T1, T2 weighted images that used the fast spin echo technique acquired. The ETL with increase of 10 was applied from 10 to 80. In addition, the ETL with increase of 1 was applied in the interval statistically significant differences occurred. And T1, T2 weighted images that used the conventional spin echo technique acquired to compare image blurring of the images that used the fast spin echo technique. The slope of lattice in the images was measured using Image J 1.47v program to evaluate image blurring. And image blurring was determined by the degree of the slope. The statistical significance of both techniques was evaluated by the Kruskal-Wallis test of the SPSS 17.0v. And the correlation of the ETL and image blurring was evaluated quantitatively by regression analysis. The slope of the T1, T2 weighted images that used fast spin echo technique decreased as contrasted with conventional spin echo technique.

Received: Received: September 2, 2013, 1st Revised: September  
30, 2013, / Accepted for Publication: October, 21, 2013.

Corresponding Author: 김현수

(462-743) 경기도 성남시 중원구 광명로 377 신구대학교 방사선과

Tel: 010-5344-8798

E-mail: hskim@shingu.ac.kr

In the result of the Kruskal-Wallis test, the T1, T2 weighted images that used fast spin echo technique made a significant difference with conventional spin echo technique. Particularly, in the Tomhane' T2 test, the T1, T2 weighted images made a significant difference from ETL 22 and 31 respectively. In the result of the regression analysis, the R-squared of the T1, T2 weighted images are 0.762 and 0.793. It is difficult to apply the long ETL in the T1 weighted image caused by the short TR and multi-slices study. Therefore, clinical impact according to variation of the ETL is very slight in the T1 weighted images. But the application of the proper ETL is demanded in T2 weighted images using the fast spin echo technique in order to prevent image blurring.

**Key word :** Fast spin echo technique, ETL, Image Blurring

## I. 서론

자기공명영상에서 영상의 질을 높이기 위해 적절한 스캔시간은 중요한 요소이다. 스캔시간이 길수록 환자로부 터 발생하는 움직임이나 영상 자체에 운동 인공물이 발생 할 수 있고 이로 인해 영상의 질은 저하될 수 있다.

스캔시간을 결정하는 인자로는 반복시간(Time Repeat; TR), 신호평균횟수(Number of Signal Averages; NEX), 위상부호화수가 있으며 스캔시간을 줄이기 위해서는 이 들 인자 중 한 가지 이상을 감소시켜야 한다.<sup>1</sup> 하지만 TR과 NEX를 감소하면 영상대조도와 신호 대 잡음 비 (Signal to Noise Ratio; SNR)에 영향을 미치고, 위상 부호화를 감소하면 공간해상도가 떨어지게 된다.<sup>2</sup>

하지만 고속스핀에코(Fast Spin Echo;이하 FSE)기법 이 소개되면서 다른 변수들의 변함없이 스캔시간을 획 기적으로 줄일 수 있게 되었다.<sup>3-7</sup> 고식적 스핀에코 (Conventional Spin Echo;이하 CSE)기법은 매 TR마다 1개의 에코를 얻는 반면, FSE기법은 한번의 TR동안 반복적인 다수의 180° 재위상화펄스를 통해 한 개 이상 의 에코를 얻어 빠른 시간 안에 k-공간을 채우는 방식

이다.<sup>8</sup> 따라서 스캔시간은 180° 재위상화펄스의 개수만 큼 줄어들게 되고 FSE기법에서 180° 재위상화펄스의 개수는 에코열 길이(Echo Train Length;이하 ETL)라 는 변수로 조절이 가능하다.<sup>9</sup>

하지만 FSE기법에서 긴 ETL을 적용하는 경우, T2붕 괴에 의해 감소된 신호의 수신이 증가하게 된다. 이로 인해 k-공간 내에 신호 강도가 불균질 해질 수 있고, 영상 흐려짐(이하 blurring)이 발생할 수 있다.<sup>6</sup>

따라서 본 연구는 FSE기법을 이용한 MRI검사에서 ETL 변화가 영상 blurring에 미치는 영향을 정량적으 로 분석하고자 하였다. 더불어 펄스열에 따라 임상적으 로 적절한 ETL의 값을 제시하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 팬텀 영상획득

장비는 MAGNETOM Skyra 3.0T MRI 장치 (SIEMENS, Erlagen, Germany)와 20채널 두부코일을 사용하였다. 검사방법은 ACR MRI Accreditation 팬텀

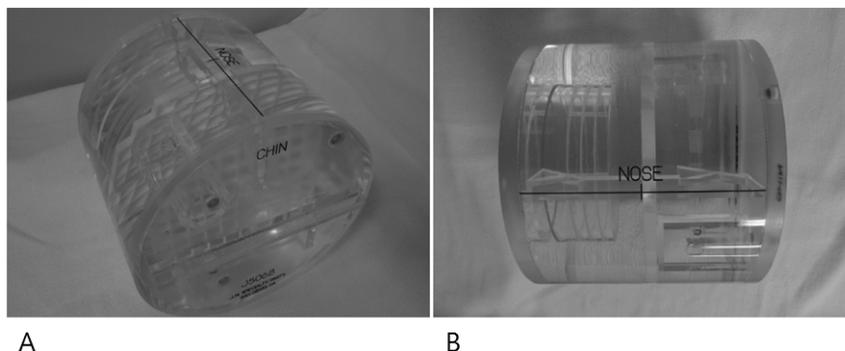


Fig. 1. Oblique(A) and lateral(B) view of the ACR MRI phantom

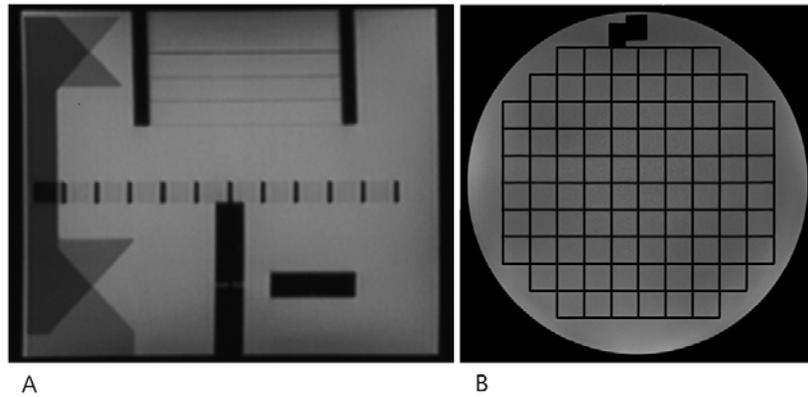


Fig. 2. Sagittal local image(A) and image plan(B) of the ACR MRI phantom

Table 1. Scan parameter

	TR (ms)	TE (ms)	FOV (mm)	ST (mm)	BW (kHz/pixel)	NEX	Matrix
T1 weighted image	850	11	200	3	501	1	512×512
T2 weighted image	4000	100	200	3	221	1	512×512

(J. M. Specialty Parts, Inc., San Diego, CA, USA) 을 두부코일 중앙부에 위치시키고 세 방향으로 수평이 되도록 고정 한 후 검사를 시행하였다(Fig. 1). 팬텀영상 위치는 기하학적 왜곡을 측정하는 영역을 선택하였다(Fig. 2).

검사는 FSE기법을 이용한 T1, T2 강조영상을 획득하였고 ETL 변화에 따른 영상 blurring의 정도를 평가하기 위해 10부터 80까지 ETL을 10씩 증가시키며 검사하였다. 좀 더 정확한 ETL 범위를 제시하고자 실험 결과 통계적으로 유의한 차이가 발생한 ETL 구간에서는 추가적으로 ETL을 1씩 증가시켜 검사하였다. 그리고 CSE

기법을 이용한 T1, T2 강조영상을 획득하여 FSE기법에서 ETL을 증가시켰을 때 발생하는 영상 blurring의 정도를 정량적으로 비교 분석하였다.

펄스열에 따른 변수들은 다음 표에 요약된 바와 같다 (Table 1).

## 2. 영상 blurring의 정량적 분석

영상 blurring의 정량적 분석은 획득된 팬텀 영상의 격자에서 측정된 경사도(slope)의 분석을 통해 이루어졌으며, 경사도가 완만할수록 blurring의 정도가 크다

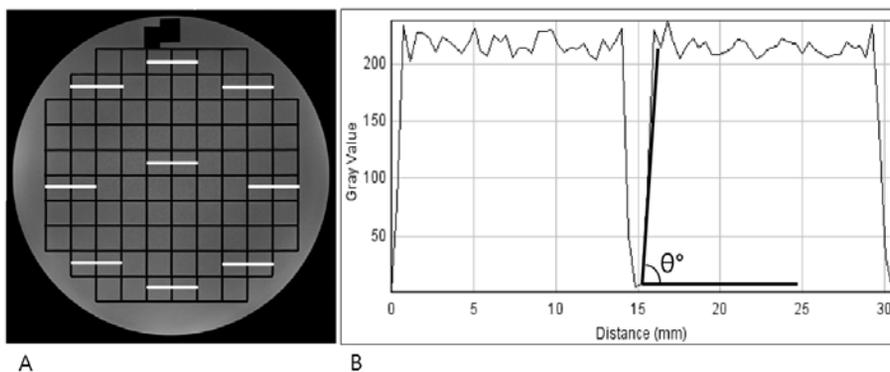


Fig. 3. ROI(A) of the image and slope analysis(B)

고 정의하였다. 경사도 측정은 image J 1.47v(Wayne Rasband National Institutes of Health, USA) 프로그램을 사용하여 분석하였고 영상에서 특정 9개의 구역을 정하여 신호 강도 profile을 획득한 후 그 경사도를 측정하였다(Fig. 3).

### 3. 통계분석 방법

측정된 경사도는 SPSS(version 17.0, Chicago, IL, USA)의 비모수 통계방법인 Kruskal-Wallis 검정을 사용하여 각각의 영상 그룹들에 대한 유의성을 평가하였다. 그리고 CSE기법을 이용한 영상을 기준으로 FSE기법을 이용한 영상 그룹들의 유의성을 평가하기 위하여 Tamhane의 T2 사후검정을 시행하였다.

또한 ETL과 영상 blurring의 관계를 정량적으로 평가하기 위해 단순 회기분석을 시행하였으며 독립변수는 ETL 그리고 종속변수는 영상 blurring으로 정하였다. 통계적 유의수준은 0.05미만으로 하였다.

## III. 결과

분석 결과, FSE기법을 이용한 T1, T2 강조영상은 CSE기법을 이용한 영상과 비교했을 때 ETL이 증가함에 따라 경사도의 평균값이 감소하였다(Fig. 4).

다음은 CSE기법과 FSE기법(ETL 80)을 이용한 T1, T2 강조영상의 확대 영상이다(Fig. 5).

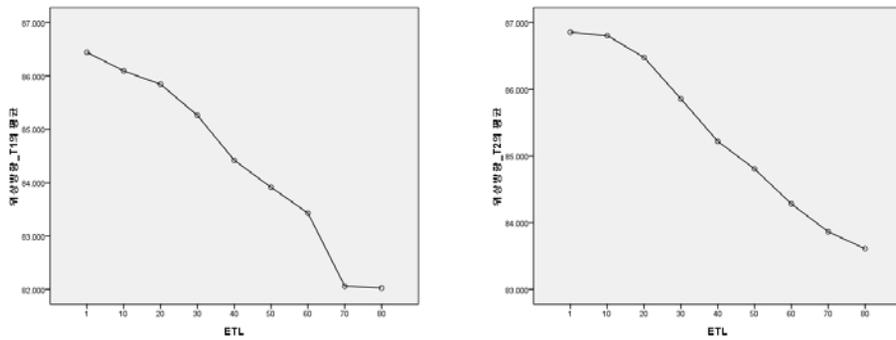


Fig. 4. Average slope of the T1, T2 weighted images

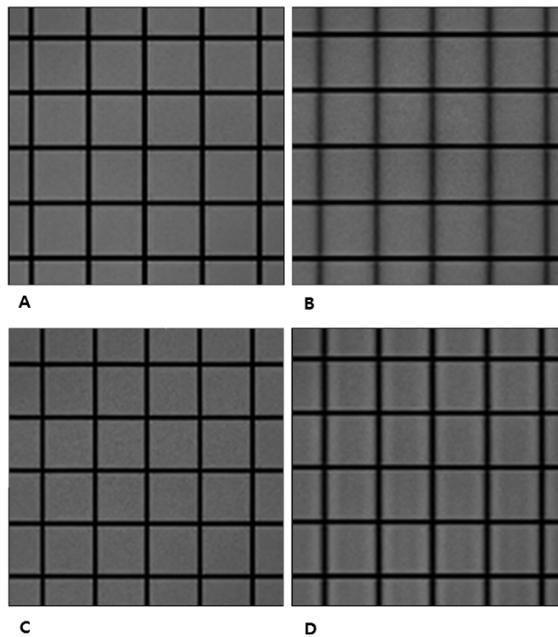


Fig. 5. CSE(A) and FSE(B)\_ETL80 in T1 weighted images  
CSE(C) and FSE(D)\_ETL80 in T2 weighted images

Kruskal-wallis 검정을 통한 분석한 결과, T1, T2 강조영상 모두 ETL의 변화에 따라 각 그룹들 간에 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). 특히, Tamhane의 T2를 통한 사후 검정결과에서는 CSE기법을 이용한 영상과 비교했을 때 FSE기법을 이용한 T1 강조영상의 경우 ETL 22 이상부터 유의한 차이가 나타났고( $p < 0.05$ ), T2 강조영상은 ETL 31 이상부터 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ )(Table 2).

단순회기분석 결과에서도 T1, T2 강조영상 모두 ETL의 변화가 경사도에 영향을 주는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). T1강조영상에서 회기계수(B)는  $-0.060$  그리고 결정계수( $R^2$ )는  $0.762$ 로 나타났다. T2강조영상에서 회기계수(B)는  $-0.046$  그리고 결정계수( $R^2$ )는  $0.793$ 로 나타났다(Table 3).

Table 2. Average slope and p-value in the Tamhane T2 test

T1 weighted image			T2 weighted image		
ETL	Average slope	p-value	ETL	Average slope	p-value
1	86.44±0.44	1.000	1	86.86±0.52	1.000
10	86.10±0.39	1.000	10	86.80±0.63	1.000
20	85.84±0.36	0.634	20	86.48±0.64	1.000
21	85.57±0.44	0.100	30	85.86±0.40	0.052
22	85.34±0.48	0.018	31	85.75±0.27	0.015
23	85.11±0.29	0.000	32	85.71±0.35	0.012
24	85.02±0.30	0.000	33	85.46±0.22	0.002
25	85.01±0.33	0.000	34	85.42±0.28	0.001
26	84.84±0.28	0.000	35	85.41±0.26	0.001
27	84.60±0.40	0.000	36	85.33±0.14	0.000
28	84.54±0.35	0.000	37	85.23±0.33	0.000
29	84.48±0.13	0.000	38	85.22±0.30	0.000
30	84.44±0.43	0.000	39	85.22±0.39	0.000
40	84.42±0.43	0.000	40	85.22±0.33	0.000
50	83.91±0.68	0.000	50	84.81±0.42	0.000
60	83.43±0.69	0.000	60	84.28±0.59	0.000
70	82.06±0.93	0.000	70	83.86±0.69	0.000
80	82.03±0.54	0.000	80	83.61±0.50	0.000

Table 3. Results of the simple regression analysis

T1 weighted images					T2 weighted images				
	B	SE	T	p		B	SE	T	p
상수	86.809	0.160	543.909		상수	87.144	0.110	793.927	
ETL	-0.060	0.003	-18.003	0.00	ETL	-0.046	0.002	-19.845	0.00
$R^2 = 0.762$ $F = 324.10$					$R^2 = 0.793$ $F = 393.838$				

#### IV. 결론 및 고찰

FSE기법은 CSE기법의 긴 영상획득시간을 극복하기 위해 1986년 Henning 등에 의해 RARE(Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement)라는 펄스열로 처음 소개된 후, 고주파 펄스의 숙임각(flip angle) 오차를 줄이기 위해 Carr-Purcell-Meiboom-Gill 펄스열을 적용하는 등의 수정을 거쳐 FSE라는 이름이 붙여졌다. 한번의 TR동안 한 번의 위상부호화 단계(phase encoding step)를 얻는 CSE기법에 비해, FSE기법은 다중 위상부호화 단계를 생성함으로써 더 빠르게 k-공간을 채워 스캔시간을 줄일 수 있다.<sup>10-11</sup> 하지만 FSE기법에서 긴 ETL을 사용할 경우 T2붕괴에 의해 신호가 감소된 신호의 수신 이 증가하게 되고, 이는 k-공간 내 신호 강도의 불균질을 초래하게 되어 영상 blurring을 증가시킬 수 있다. 본 연구는 FSE기법에서 ETL이 증가함에 따라 나타나는 영상 blurring을 정량적으로 분석하고 펄스열에 따라 적절한 ETL의 사용 범위를 제시하고자 하였다.

앞서 이루어진 연구에서는 FSE기법을 이용한 T1, T2 강조영상, 양자밀도영상, 3D영상에서 ETL이 증가함에 따라 나타난 영상의 흐려짐을 정량적으로 분석하였고 3D FSE영상을 제외한 나머지 펄스열에서는 ETL 증가가 영상 흐려짐에 미치는 영향이 유의하지 않다고 설명하였다.<sup>12</sup> 하지만 이 연구방법의 한계점은 펄스열마다 같은 ETL이 적용되지 않아 펄스열에 따른 ETL 변화가 정확히 평가되지 않았고 T1 강조영상의 경우 최대 ETL의 수를 12로 T2 강조영상의 경우 최대 ETL의 수를 22로 설정하여 그 이상의 ETL적용에서 나타날 수 있는 영향이 제대로 제시되지 않았다는 점이다.

따라서 본 연구는 이러한 한계점을 보완하여 각각의 펄스열에 같은 ETL을 적용하였고, ETL 변화에 따른 영향을 좀 더 정확히 분석하기 위해 극단적으로 ETL을 80까지 높여가며 검사를 진행하였다. 그 결과, 선행연구와 달리 FSE기법을 이용한 T1 강조영상에서는 ETL 22이상부터 그리고 T2강조영상에서는 ETL 31이상부터 CSE기법을 이용한 영상과 비교하여 경사도에 유의한 차이( $p < 0.05$ )가 나타났다. 또한 단순회기분석의 결과에서도 ETL이 영상 blurring과 비교적 높은 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었다.

본 연구의 제한점으로는 자기공명영상 팬텀을 사용하였기 때문에 조직의 이완시간 차이에 따른 영향을 알 수 없었던 점과 경사도를 측정하는 과정에서 발생할 수

있는 오차를 감안하지 못한 점이다.

임상적으로 FSE기법을 이용한 T1 강조영상에서는 짧은 TR과 복수단면검사의 시행으로 긴 ETL의 적용이 힘들다. 따라서 T1 강조영상에서는 ETL의 변화가 영상 blurring에 미치는 영향은 미미하다. 하지만 긴 TR을 사용하는 T2 강조영상에서는 긴 ETL의 적용이 가능하기 때문에 부적절한 ETL을 적용할 경우 영상 blurring을 증가시킬 수 있다. 그러므로 FSE기법을 이용한 T2 강조영상에서 영상 blurring을 방지하기 위해서는 검사자의 적절한 ETL의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Kim Yeonggeun et al, MRI in practice, Acade-my 2008:116-118.
2. Constable RT, Smith RC, Gore JC, Signal-to-noise and contrast in fast spin echo (FSE) and inversion recovery FSE imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1992;16:41-47.
3. Mirowitz SA. Diagnostic pitfalls and artifacts in abdominal MR imaging: a review. *Radiology* 1998;208:577-589
4. Wood ML, Runge VM, Henkelman RM. Overcoming motion in abdominal MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1988; 150:513-522
5. Arena L, Morehouse HT, Safir J. MR imaging artifacts that simulate disease: how to recognize and eliminate them. *Radiographics* 1995;15:1373-1394
6. Li T, Mirowitz SA. Fast T2-weighted MR imaging: impact of variation in pulse sequence parameters on image quality and artifacts. *Magn Reson Imaging* 2003;21:745-753
7. Wolff AB, Pesce LL, Wu JS, Smart LR, Medvecky MJ, Haims AH. Comparison of spin echo T1-weighted sequences versus fast spin-echo proton density-weighted sequences for evaluation of meniscal tears at 1.5 T. *Skeletal Radiol* 2009; 38:21-29
8. Listerud J, Einstein S, Outwater E, et al. First principles of fast spin echo. *Magn Reson Q* 1992; 8:199-244.

9. Kim Chiyeong, Ahn Changbeom, Enhancement of fast spin echo imaging using optimal echo arrangement and filtering. The Korean Society of Medical & Biological Engineering 1997:240.
10. Van Hoe L, Bosmans H, Aerts P, Baert AL, Fevery J, Kiefer B, et al. Focal liver lesions: fast T2-weighted MR imaging with half-Fourier rapid acquisition with relaxation enhancement. Radiology 1996;201:817-823.
11. Gaa J, Hatabu H, Jenkins RL, Finn JP, Edelman RR. Liver masses: replacement of conventional T2-weighted spin-echo MR imaging with breath-hold MR imaging. Radiology 1996;200:459-464.
12. Jong Woo Kim, Sang Hoon Lee, Namkug Kim, PhD, Kyung-Sik Cho, Jin Seong Lee. Impact of the Parameter Variation on the Image Blurring in 3T Magnetic Resonance Imaging: A Phantom Study. The Korean Society of Radiology 2013:355-362.