

## 조영증강 급속 스핀에코 T1 강조영상: 조영증강 병소의 대조도 향상

최성욱 · 이기재 · 심재찬 · 이영주 · 정세형 · 김호균

**목 적 :** 급속 스핀에코(turbo spin-echo : TSE) MR영상에서는 많은 양의 off-resonance pulse가 유발되어 자화전이(magnetization transfer : MT) 효과가 생긴다. 따라서 조영증강 후 TSE T1 강조영상에서 조영증강되는 뇌병변의 대조도 증가가 고식적 T1 강조영상에 비하여 얼마나 나타나는가에 대하여 알아 보고자 하였다.

**대상 및 방법 :** 조영증강되는 뇌병변을 가진 19명의 환자 (남 : 여=9 : 10), 26개의 뇌병소를 대상으로 하였다.

1.0T 초전도 자기공명 영상장치를 사용하여 조영증강 후 spin-echo(SE) T1 강조영상 (TR=600 msec, TE=12 msec, NEX=2, Acquisition time=4분27초)과 TSE T1 강조영상 (TR=600 msec, TE=12 msec, NEX=2, Acquisition time=1분 44초)을 얻은 후, 조영증강되는 뇌병소와 주변부 백질의 동일 부위에서 신호강도를 측정하였다. 각 예에서 조영증강되는 뇌병소와 주변부 백질의 신호대 잡음비 (signal-to-noise ratio : SNR), 대조도 대 잡음비(contrast-to-noise ratio : CNR), 그리고 병소에 배경 대조도(lesion-to-background contrast : LBC)를 계산하여 paired t-test로 비교 분석하였다.

**결 과 :** 조영증강 후 TSE T1 강조영상에서 주변부 백질의 SNR은 SE T1 강조영상에 비해 32% 감소하였으며(p<0.01), 조영증강되는 뇌병소의 SNR은 18% 감소하였다(p<0.01). 조영증강되는 뇌병소의 CNR은 16% 증가하였고(p<0.05), LBC는 66% 증가하였다(p<0.01).

**결 론 :** 조영증강 후 TSE T1 강조영상은 종래의 SE T1 강조영상에 비해, 짧은 시간으로도 TSE 기법에 의해 유발된 MT 효과에 의한 주변부 백질의 신호감쇄로 조영증강되는 뇌병소의 높은 대조도를 얻을 수 있으므로 유용한 방법이라 사료된다.

급속 스핀에코(turbo spin-echo : TSE)는 한 번의 repetition time(TR)동안 2회 내지 16회의 서로 다른 위상부호를 갖은 에코를 얻어 각각 다른 k-space를 채우는 방식으로, 짧은 시간내에 고식적 스핀에코 강조영상과 유사한 대조도를 보이는 MR 영상법이다(1). 최근 TSE는 스캔시간이 긴 spin-echo (SE) T2 강조영상을 대신하여 널리 사용되고 있으나 상대적으로 스캔시간이 짧은 SE T1 강조영상에서는 그 이점을 크게 발휘하지 못하고 있는 실정이다.

TSE는 한 TR당 많은 재초점 펄스(refocusing pulse)로 인접 절편들에 off-resonance irradiation을 많이 유발시켜 그로 인해 자화전이(magnetization transfer : MT)효과가 생긴다(2). TSE T2 강조영상에 대한 연구는 Mitchell 등(3)과 최 등(4)을 비롯하여 다수가 보고되었으나, TSE의 MT 효과에 의한 T1 강조영상에 대한 연구는 최근 Melhem 등(5)에 의해 보

고된 바 외에는 국내에는 이와같은 보고가 없다. 이에 저자들은 조영증강 TSE T1 강조영상에서 MT 효과에 의하여 조영증강되는 병소의 대조도 증가에 대하여 알아보고자 하였다.

### 대상 및 방법

1996년 9월부터 1997년 4월까지 조영증강되는 뇌병변을 가진 19명의 환자에서 26개의 뇌병소를 대상으로 하였으며, 남녀비는 9 : 10 이었고 평균연령은 49.7세였다. 환자의 질환별로는 일차뇌종양이 10예, 전이암 3예, 뇌경색 4예, 뇌좌상 1예, 그리고 결핵종이 1예였다. 일차뇌종양은 뇌수막종 4예, 다형성 교아종 1예, 성상세포종 1예, 회돌기교종(oligodendroglioma) 1예, 두개인두종(craniopharyngioma) 1예, 림프종 1예, 그리고 배세포종(germinoma) 1예였으며, 일차뇌종양과 결핵종은 모두 병리학적으로 확진되었으며 그외의 증례들은 방사선학적 소견과 임상 및 검사실 소견등으로 확진 또는 추정진단하였다.

<sup>1</sup>인제대학교 서울백병원 진단방사선과학교실  
이 논문은 1997년 6월 11일 접수하여 1997년 7월 16일에 채택되었음

MR영상은 모두 1.0T 초전도 자기공명 영상장치(Magnetom Impact, Siemens, Germany)를 사용하였으며 모든 증례에서 조영증강 후 spin-echo(SE) T1 강조영상과 TSE T1강조영상에서 TR/TE를 600/12msec로 일정하게 하여 얻었다. 각 영상의 제원(parameter)에 있어서 FOV(field of view)는 성인에서는 220mm 어린이는 200mm로 하였고, matrix는 SE에서는 200~220×256, TSE에서는 252×256, slice thickness 5mm, gap 1mm, acquisition은 2회로 하였고, acquisition time은 SE가 4분 27초 TSE가 1분 44초였다. 조영제는 환자체중당 0.1mmol의 Gd-DTPA(Magnevist, Schering, Germany)를 정맥 주사하였다. 모든 예에서 조영증강후 먼저 SE T1 강조영상을 얻어 조영증강되는 병소가 있음을 확인한 후 연속하여 TSE T1 강조영상을 얻었다.

정량적 분석은 19예중 측정이 가능한 18예에서, 26개의 병소에서 시행했고, 4예에서는 주변 뇌막의 조영증강 정도를 시각적으로 분석하였다. 두 영상에서 조영증강되는 뇌병소와 주변부 백질의 동일 부위에서 0.2cm<sup>2</sup>의 원형 cursor를 이용하여 2회씩 신호강도를 측정하였고(Fig. 1), 추가적으로 phase-encoding방향의 공기의 신호강도를 측정하여 조영증강되는 병소와 주변부 백질의 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio : SNR)를 구하였고, 다음과 같은 공식으로 대조도 대 잡음비(contrast-to-noise ratio : CNR)와 병소대 배경 대조도(lesion-to-background contrast : LBC)를 구하였다.

$$CNR = (SI_L - SI_{WM}) / NSD$$

$$LBC = (SI_L - SI_{WM}) / SI_{WM}$$

(SI<sub>L</sub> : mean signal intensity of enhancing lesion,

SI<sub>WM</sub> : mean signal intensity of white matter,

NSD : standard deviation of noise)

신호강도 측정시 관심영역(region of interest)의 크기, 모양 및 위치를 한 환자의 측정에 있어서 항상 일정하게 유지하였으며, 양측에서 얻어진 조영증강되는 병소와 주변부 백질의

SNR, CNR, 그리고 LBC를 paired t-test로 비교 분석하였다.

## 결 과

총 19명중에서 조영증강되는 병소가 결절 또는 종괴모양을 보인 경우는 15명, 결절형과 선형이 같이 있었던 경우는 3명, 그리고 선형만 있었던 경우는 1명이었다.

정량적 분석의 결과는 Table 1에 요약하였다. 조영증강되는 병소의 SNR은 SE가 78.5±17.5(평균±표준편차), TSE가 64.0±13.6으로 TSE에서 SE에 비해 18% 감소하였고(p<0.01), 26예중 22예(85%)에서 SE가 더 높았고 4예(15%)에서 TSE가 더 높게 나왔다. 주변부 백질의 SNR은 SE가 55.4±12.0, TSE가 37.4±5.9로 TSE에서 SE에 비해 32% 감소하였고(p<0.01), 26예중 25예(96%)에서 TSE가 SE 보다 더 낮았다. CNR은 SE가 23.0±12.4, TSE가 26.6±11.5로 TSE에서 SE에 비해 16% 증가하였고(p<0.05), 26예중 18예(69%)에서 TSE가 SE 보다 더 높았다. LBC는 SE가 0.44±0.24, TSE가 0.73±0.34로 TSE에서 SE에 비해 66% 증가하였고(p<0.01), 26예 전부(100%)에서 TSE가 SE보다 더 높았다. SE T1 강조영상에서 보이지 않던 병소가 TSE T1 강조영상에서 새로이 발견된 예는 없었다.

선형으로 보였던 4명을 대상으로 뇌막의 조영증강 정도에 대해 시각적 분석을 하였는데 총 4명중 3명은 TSE가 SE에 비해서 더 많은 부분이 조영증강되어 보였고(Fig. 2), 1명에서는 비슷한 정도를 보였다.

## 고 찰

영상촬영 시간의 감소, 환자처리 능력의 증가, 그리고 영상질의 개선 등에 대한 요구는 다양한 빠른 영상기법들을 발전시켰다(6). 그중 고속 스핀에코(fast spin-echo : FSE) 혹은 TSE

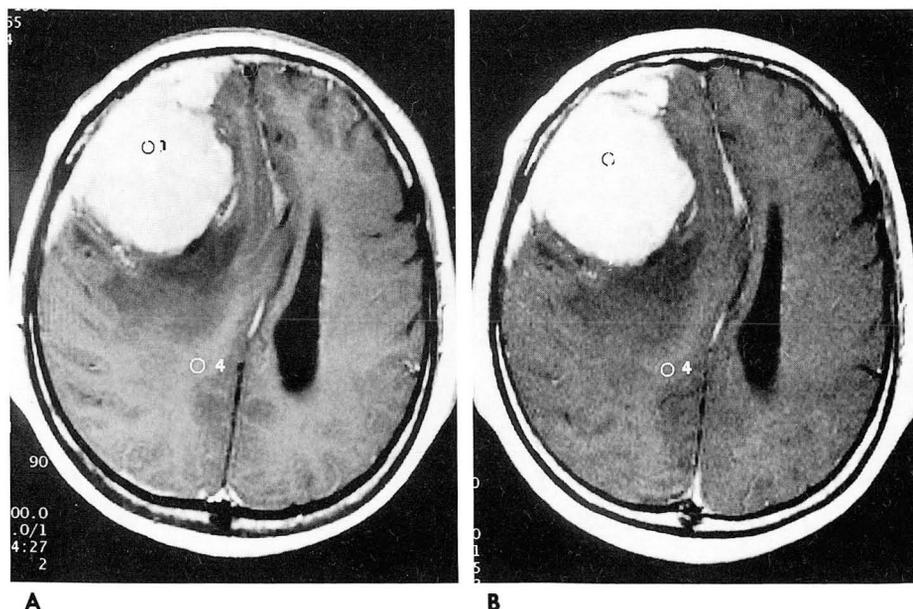


Fig. 1. Meningioma of a 64-year-old woman.

Contrast-enhanced SE T1-weighted image(A) shows a homogeneous, strong enhancing lesion with dural tail sign at right frontal area. On contrast-enhanced TSE image (B), background signal intensity decreases due to MT effect resulting in improvement of lesion contrast. Signal intensities were measured in an enhancing lesion and adjacent white matter by circular cursor.

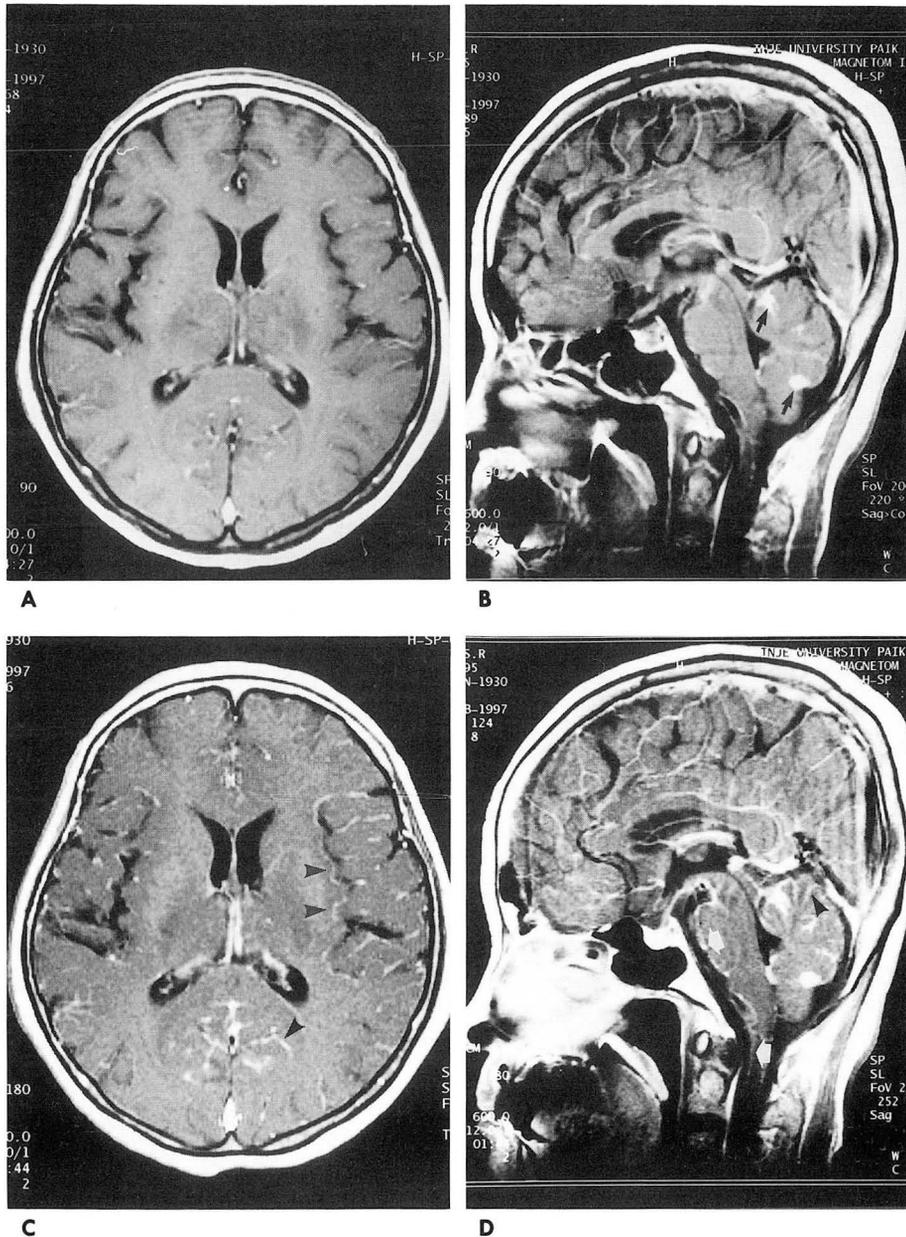
**Table 1.** Comparison of Signal-to-Noise Ratio(SNR), Contrast-to-Noise Ratio(CNR), Lesion-to-Background Contrast(LBC) between Contrast-Enhanced T1-Weighted MR Images with Spin-Echo(SE) and with Turbo Spin-Echo(TSE) Techniques

	SE	TSE	p-value*
SNR of enhancing lesion	78.5 ± 17.5	64.0 ± 13.6	<0.01
SNR of white matter	55.4 ± 12.0	37.4 ± 5.9	<0.01
CNR**	23.0 ± 12.4	26.6 ± 11.5	<0.05
LBC***	0.44 ± 0.24	0.73 ± 0.34	<0.01

\* p-values were obtained with paired t-test

\*\* CNR=SIEnhancing Lesion - SIWhite Matter/Standard Deviation of Noise

\*\*\* LBC=SIEnhancing Lesion - SIWhite Matter/SIWhite Matter



**Fig. 2.** Probable leptomeningeal metastasis from unknown primary cancer of a 67-year-old woman. Contrast-enhanced SE T1-weighted axial(A) and sagittal(B) images show two enhancing nodules in vermis(black arrows) and subtle linear enhancement along cerebral sulci. On contrast-enhanced TSE axial(C) and sagittal(D) images, subtle linear enhancement in cerebral and cerebellar sulci(arrow heads) and along the anterior surface of the brain stem and upper cervical spinal cord(white arrows) is seen more obviously.

는 Hennig 등(7)에 의하여 1984년에 RARE(Rapid Acquisition with Refocused Echoes)라는 이름으로 처음 기술되었다. TSE는 180° RF pulse를 사용하여 한 TR동안에 다수의 재초점반향(refocused echoes)을 발생시켜 각 반복시간동안 k-space의 여러개의 line을 채운다(1). 한 TR동안 최대 16개의 에코를 만들 수 있으므로, 따라서 영상시간을 16배 감소시킬 수 있다. TSE의 장점은 정보수집시간이 감소되어 영상획득시간이 감소되고, 그로 인하여 더 긴 TR과 TE를 가능하게 하여 신호강도와 대조도를 증가시키고, 큰 matrix를 사용하여 공간분해능을 더 좋게 하고, 더 많은 신호평균(signal averaging)을 가능하게 하여 영상의 질을 향상시킬 수 있는 것이다(8).

TSE에는 두가지 효과가 있는데, 그중 첫 번째는 susceptibility 인공물의 감소(6, 9)로서 출혈성 혈액성분의 발견율이 감소되는 단점을 갖는 반면, 장점으로는 부비동, 두개골기저부, 의치, 혈관류 클립등에 의한 인공물을 감소시킨다(10). 두 번째 효과는 MT 효과로서, 고식적인 SE 기법에서는 한 TR당 하나의 180° 재초점 펄스를 사용하나 TSE에서는 2개내지 16개의 서로 다른 주파수를 갖는 180° 재초점 펄스를 사용함으로, 이것이 인접한 절편에 off-resonance irradiation으로 작용하여 MT 효과를 갖게 된다(2). 한 TR당 여러 절편의 영상을 동시에 얻는 multislice 기법에서도 10% 이상의 MT 효과를 갖는 것도 같은 원리이다(11). Mitchell 등(3)은 TSE T2 강조영상에서 MT 효과에 의하여 상당히 영향을 받는 간의 고형종괴는 현저도를 상대적으로 낮게 만들고 대신 혈관종같은 낭성병소는 MT 효과에 거의 영향을 받지 않기 때문에 높은 현저도를 나타낼 수 있다고 하였고, 최 등(4)은 TSE T2 강조영상과 SE T2 강조영상간의 차이가 없다고 하였다. T1 강조영상에서도 TSE의 MT 효과에 의해 조영증강되는 뇌병소 주변백질의 신호강도를 감소시킴으로 병소의 대조도를 증가시킬 수 있는데 이는 최근 Melhem 등(5)에 의해 보고된 바 있고, Tsuno 등(12)은 echo train length(ETL)를 크게 할수록 MT 효과는 증대된다고 하였다.

MT 영상은 Forsen과 Hoffman에 의해서 처음 기술된 포화전이기법(saturation transfer technique)으로부터 파생되었는데(13) 이는 거대분자의 양자만을 여기시키는 넓은 폭의 RF pulse(물 양자의 frequency peak로부터 5-10kHz 떨어진 off-center RF)를 주면 거대분자에 결합된 수소핵을 선택적으로 포화시키고 거대분자와 물사이의 상호작용(dipolar interaction)을 통해서 포화된 자유수(free water)의 신호강도가 기존의 영상보다 떨어지는 현상이다(14-16). 따라서 Gadolinium 조영증강시 MT 효과는 조영증강이 되지 않는 주변조직의 신호강도를 낮추는 반면에 조영제의 T1 단축효과에 의하여 얻어진 고신호강도는 거대분자의 상호작용에 의한 영향을 받지 않아 그 신호강도가 거의 낮아지지 않게 되므로 조영증강되는 병소와 주변조직 사이의 신호강도의 차이를 증가시켜서 상대적인 대조도를 상승시키는 것으로 알려져 있다(16,17). 조영증강에 있어서 자화전이 효과는 Elster 등(18)은 정상 뇌구조물의 조영증강이 더 뚜렷해 진다고 하였고, Finelli 등(19)과 Mathew 등(20)의 연구에서는 3배 용량의 조영제를 사용하고

식적인 SE 영상과 같은 정도의 조영증강을 나타낸다고 보고 하였다.

조 등(21)은 MT pulse를 이용하여 조영증강되는 병소를 갖는 27예의 두개강내 종양에서 CNR의 차이를 연구하였는데 MT 조영증강 영상은 일상의 뇌MR영상의 판독에 있어 중요하다고 할 수 있는 조영증강이 덜 되는 병변의 발견이나 감별진단에 커다란 도움이 되지 못한다고 하였고, 정량적 분석의 결과와 시각적 분석의 결과를 비교해 보았을 때 CNR의 상승이 50% 이내일 경우에는 적절한 시각적인 효과를 얻을 수 없다고 하였다. 또한 MT 영상을 나중에 얻었을 때 조영증강의 지연효과가 가중되어 대조도의 차이가 증대되었을 가능성에 대해 고려하였으나, TSE에서 동반되어 생기는 MT 효과에 의한 조영제의 조영증강 효과를 SE와 정량적으로 비교분석한 본 연구에서는 오히려 조영증강되는 뇌병소의 SNR이 85%(22/26)에서 TSE가 SE 보다 더 낮았는데 이는 연구대상이 조 등(21)의 연구와는 다른 이유 때문일 수도 있을 것이다. 본 연구에서는 조영증강 SE T1 강조영상에서 조영증강되는 병변이 있을 시에만 TSE T1 강조영상을 얻었는데 좀 더 정확한 분석을 위해서는 더 많은 예를 대상으로 TSE T1 강조영상을 SE T1 강조영상 전에 얻어 비교한 결과를 종합하여 분석하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 조영증강되는 뇌병소의 SNR이 떨어졌음에도 불구하고 CNR이 TSE에서 SE에 비해 16%( $P < 0.05$ ) 증가하고 LBC가 66%( $P < 0.01$ ) 증가한 것은 TSE에서 SE에 비해 뇌병소의 조영증강 감소가 18%( $p < 0.01$ )인데 비해서 주변부 백질의 신호(SNR)감소는 32%( $p < 0.01$ )로서, 조영증강되지 않은 주변부 백질이 MT 효과에 의해서 신호강도가 뇌병소보다 더 많이 감소했기 때문이다. 본 연구에서는 LBC가 CNR에 비해 좀더 의미있게 상승되었는데 이는 LBC가 CNR보다 조영증강되는 뇌병소의 주변백질에 대한 높은 대조도를 반영하는데 좀 더 예민한 지표이기 때문인 것으로 생각된다. 조영증강 TSE T1 강조영상의 제한점으로는, 고식적인 SE와 같은 제원을 사용할 때에는 11개의 절편상을 얻을 수 밖에 없으므로 전체 뇌의 MR 영상을 얻기 위해서는 TR이나 thickness를 늘리거나, 두 번에 나누어 검사하는 방법이 있을 수 있다. 설사 두 번에 나누어 검사하더라도 총 검사시간은 SE 방식에 비해서 여전히 짧을 것이다.

결론적으로 조영증강 후 TSE T1 강조영상은 종래의 SE T1 강조영상에 비해, 짧은 시간내 조영증강되는 뇌병소와 주변백질 사이에 높은 대조도의 영상을 얻을 수 있는 유용한 영상기법으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Zoarski GH, Mackey JK, Anzai Y, et al. Head and neck: Initial clinical experience with fast spin echo MR imaging. *Radiology* 1993; 188: 323-327
2. Melki PS, Mulkern RV. Magnetization transfer effects in multislice RARE sequence. *Magn Reson Med* 1992; 24: 189-195
3. Mitchell DG, Outerwater EK, Vinitzki S. Hybrid RASE: Implementations for abdominal MR imaging. *J Magn Reson*

- Imaging* 1994; 4: 109-117
4. 최필식, 김명진, 김도중, 이종태, 유형식, 정재준. 국소적 간병변에 대한 자기공명영상에서의 고식적 스핀 에코방식과 fast spin echo 및 fast multiplanar spoiled gradient recalled 영상의 비교. *대한방사선의학회지* 1995; 32: 447-454
  5. Melhem ER, Guidone PL, Jara H, Yucler EK. Improved contrast of enhancing brain lesions using contrast-enhanced T1-weighted fast spin-echo MR imaging. *AJR* 1997; 168: 1091-1095
  6. Jones KM, Mulkern RV, Mantello MT, et al. Brain hemorrhage: Evaluation with fast spin-echo and conventional dual spin-echo images. *Radiology* 1992; 182: 53-58
  7. Hennig J, Naureth A, Friedburg H. RARE imaging: a fast imaging method for clinical MR. *Magn Reson Med* 1986; 3: 823-833
  8. Nghiem HV, Herfkens RJ, Francis IR, et al. The pelvis: T2-weighted fast spin-echo MR imaging. *Radiology* 1992; 185: 213-217
  9. Melki PS, Mulkern RV, Panych LS, Jolesz FA. Comparing the FAISE method with conventional dual-echo sequences. *J Magn Reson Imaging* 1991; 1: 319-326
  10. Jones KM, Mulkern RV, Schwartz RB, et al. Fast spin-echo MR imaging of the brain and spine: Current concepts. *AJR* 1992; 158: 1313-1320
  11. Dixon WT, Engels H, Castillo M, Sardashti M. Incidental magnetization transfer contrast in standard multislice imaging. *Magn Reson Imaging* 1990; 8: 417-422
  12. Tsuno Y, Tonami H, Kuginuki Y, Nakagawa T, Okimura T, Yamamoto I. Use of multisection fast SE for improved contrast of enhancing brain lesions at postgadolinium MR imaging. (abstr.) Presented at the 34th annual meeting of American Society of Neuroradiology, Seattle, June, 1996; 309
  13. Forsen S, Hoffman RA. Study of moderately rapid chemical exchange reactions by means of nuclear magnetic double resonance. *J Chem Phys* 1963; 39: 2892-2901
  14. Dousset V, Grossman RI, Ramer KN, et al. Experimental allergic encephalomyelitis and multiple sclerosis: lesion characterization with magnetization transfer imaging. *Radiology* 1992; 182: 483-491
  15. Wolff SD, Balaban RS. Magnetization transfer contrast(MTC) and tissue water proton relaxation in vivo. *Magn Reson Med* 1989; 10: 135-144
  16. Eng J, Ceckler TL, Balaban RS. Quantitative H+ magnetization transfer imaging in vivo. *Magn Reson Med* 1991; 17: 304-314
  17. Tantt JI, Sepponen RE, Lipton MJ, et al. Synergistic enhancement of MRI with Gd-DTPA and magnetization transfer. *J Comput Assist Tomogr* 1992; 16: 19-24
  18. Elster AD, King JC, Mathews VP, Hamilton CA. Cranial tissue: gadolinium-enhanced and nonenhanced MR imaging with magnetization transfer contrast. *Radiology* 1994; 190: 541-546
  19. Finelli DA, Hurst SC, Gullapali RP, Bellon EM. Improved contrast of enhancing brain lesions on postgadolinium, T1-weighted spin-echo images with use of magnetization transfer. *Radiology* 1994; 190: 553-559
  20. Mathews VP, King JC, Elster AD, Hamilton CA. Cerebral infarction: Effects of dose and magnetization transfer saturation at gadolinium-enhanced MR imaging. *Radiology* 1994; 190: 547-552
  21. 조정연, 장기현, 이재영, 이환경, 유인규, 한문희. Gadolinium 조영증강 뇌자기공명영상에서 자화전이의 효과. *대한방사선의학회지* 1996; 35: 19-25

## Contrast-Enhanced Turbo Spin-Echo(TSE) T1-weighted Imaging : Improved Contrast of Enhancing Lesions

Sung Wook Choi, M.D., Ghi Jai Lee, M.D., Jae-Chan Shim, M.D.,  
Young Ju Lee, M.D., Se Hyung Jeong, M.D., Ho Kyun Kim, M.D.

<sup>1</sup>Department of Diagnostic Radiology College of Medicine, Inje University

**Purpose:** The purpose of this study was to evaluate the effect of contrast improvement of enhancing brain lesions by inherent magnetization transfer effect in turbo spin-echo(TSE) T1-weighted MR imaging.

**Materials and Methods:** Twenty-six enhancing lesions of 19 patients were included in this study. Using a 1.0T superconductive MR unit, contrast-enhanced SE T1-weighted images(TR=600 msec, TE=12 msec, NEX=2, acquisition time=4 min 27sec) and contrast-enhanced TSE T1-weighted images(TR=600 msec, TE=12 msec, NEX=2, acquisition time=1min 44sec) were obtained. Signal intensities at enhancing lesions and adjacent white matter were measured in the same regions of both images. Signal-to-noise ratio(SNR) of enhancing lesions and adjacent white matter, and contrast-to-noise ratio(CNR) and lesion-to-background contrast (LBC) of enhancing lesions were calculated and statistically analysed using the paired t-test.

**Result:** On contrast-enhanced TSE T1-weighted images, SNR of enhancing lesions and adjacent white matter decreased by 18%( $p < 0.01$ ) and 32%( $p < 0.01$ ), respectively, compared to contrast-enhanced SE T1-weighted images. CNR and LBC of enhancing lesions increased by 16%( $p < 0.05$ ) and 66%( $p < 0.01$ ), respectively.

**Conclusion:** Due to the proposed inherent magnetization transfer effects in TSE imaging, contrast-enhanced T1-weighted TSE images demonstrated a statistically significant improvement in CNR and LBC, compared to conventional contrast-enhanced T1-weighted SE images, and scan time was much shorter.

**Index Words:** Magnetic resonance(MR), technology  
Magnetic resonance(MR), rapid imaging  
Magnetic resonance(MR), magnetization transfer contrast

Address reprint requests to: Ghi Jai Lee, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Seoul Paik Hospital, College of Medicine, Inje University. # 2-85, Jur-dong, Chung-ku, Seoul, 100-032 Korea.  
Tel. 82-2-2700-134 Fax. 82-2-266-6799