

The Study on Reduction of Image Distortion by using Single-Shot Turbo Spin Echo in Brain Stem Diffusion MRI

Kwan-Woo Choi,¹ Ho-Beom Lee,¹ Sa-Ra Na,¹ Beong-Gyu Yoo,² Soon-Yong Son^{2,*}

¹Department of Radiology, Asan Medical Center

²Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University

Received: May 18, 2016. Revised: June 25, 2016. Accepted: June 30, 2016

ABSTRACT

Single-shot echo planar imaging(SS-EPI) is well established as high sensitivity for ischemic stroke. However, it is prone to susceptibility artifact in brain stem that diminish the image quality. single-shot turbo spin echo(SS-TSE) is a new DWI technique that can reduce susceptibility artifact. Thus, this research was conducted so as to reduce geometric distortion in brain stem by using single-shot turbo spin echo technique. Thirty patients without brain disease underwent diffusion MR on a 3T scanner with SS-EPI and SS-TSE. Obtained images with both sequences were analyzed for geometric distortion and error percentage as well. Image quality in terms of geometric distortion of SS-TSE were found to be significantly better than those for SS-EPI. And error percentage was considerably reduced for 2.4% of b0 image(from 11.1% to 8.7%), 1.2% of b1000 image(from 11.4% to 10.1%), respectively. In summary, diffusion MR using SS-TSE significantly reduce geometric distortion compared to SS-EPI in brain stem and may provide improved diagnostic performance.

Keyword: Distortion, Diffusion weighted image, Single-shot turbo spin echo, Single-shot echo planar imaging, Susceptibility

I. INTRODUCTION

뇌졸중은 크게 허혈성 뇌졸중(80%-85%)과 출혈성 뇌졸중(15%-20%)으로 구분 할 수 있으며, 허혈성 뇌졸중이 출혈성 뇌졸중에 비해 발생빈도가 높다.^[1] 허혈성 뇌졸중 중 11%는 뇌줄기(brain stem)에서 발생하는데,^[2] 뇌줄기는 신경다발의 통로 및 생명유지 기능을 담당하는 중요한 기관이다. 뇌졸중이 발생할 경우 편측 마비(hemiparesis), 반신 감각소실(hemisensory loss), 언어장애(dysphasia), 현기증(vertigo), 복시(diplopia) 등 비가역적 손상을 일으키기 때문에 초기에 발견하여 조치하는 것이 매우 중요하다.^[3, 4]

그러나 고식적인 자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI)으로는 초기 뇌졸중을 발견할 수 없다. 왜냐하면 비가역적으로 손상된 뇌는 최소 72시간이 지나야만 MRI 영상에서 나타나기 때문이다. 이러한 문

제점으로 인해 과거에는 뇌졸중 증상이 나타나면 전산화단층촬영 검사를 시행하였다. 그러나 낮은 대조도로 인해 초기 발견의 어려움이 있어, 물 분자의 확산을 감지할 수 있는 확산강조영상(diffusion weighted image, 이하 DWI)이 개발된 후 뇌졸중의 초기 발견과 예후를 판단하는데 MRI가 주로 시행되고 있다.^[5]

DWI는 물 분자의 확산을 감지하여 빠른 시간 내 비정상적으로 순환이 정체된 부위를 검사할 수 있는 방법으로, 허혈성 뇌졸중을 감별하는데 있어 매우 유용하다.^[6] 일반적으로 DWI는 한 번의 고주파 펄스(radio frequency pulse)와 많은 경사자장의 변화를 이용하여 k-공간의 데이터를 획득하는 single-shot echo planar imaging 기법(이하 SS-EPI)을 사용한다.^[7] 그러나 SS-EPI는 빠른 시간 내 영상을 획득 할 수 있는 장점이 있으나, 위상부호화 방향의 픽셀 당 대역폭이 작기 때문에 자화율 효과(susceptibility effect)에 민감하다는 단점이 있다.

[8,9] 이는 SS-EPI를 이용한 일반적인 DWI에서도 나타나는데, 특히 조직과 공기가 인접해 있는 뇌줄기의 경우 자화율 차이로 인해 신호감소와 영상의 기하학적 왜곡을 초래한다.[10]

영상에서 기하학적 왜곡은 경계면에서 신호를 증가시키거나 감소시켜 병소로 오인하게 만들거나, 병소를 불분명하게 하여 영상의 진단적 가치를 저하시킨다. 특히, 초기 발견이 매우 중요한 뇌졸중의 경우 적절한 조치를 늦어지게 하거나 불필요한 조치를 받게 하여 환자의 진단 및 치료에 심각한 위해를 초래한다.

이를 개선하기 위한 방법은, k-공간을 여러 구획으로 나누어 위상부호화 방향을 따라 k-공간의 횡단선 획득을 가속화 하는 multi-shot echo planar imaging 기법(이하 MS-EPI)을 사용하는 것이다. 그러나 MS-EPI의 경우 k-공간을 분리하여 획득하기 때문에, 움직임이 있을 경우 위상변화가 발생하여 재구성된 영상에 인공물이 나타난다는 문제점이 있다.[11] 특히, 뇌줄기와 같이 뇌척수액 박동(CSF pulsatile)이 발생하는 위치는 인공물이 더욱 심하게 나타날 수 있어 뇌졸중의 진단을 저해하는 요인이 된다.[12]

본 연구에서는 위와 같이 기존의 DWI 사용 시 뇌줄기에 발생하는 영상의 왜곡이나 인공물 등 진단적 가치를 저하시키는 문제점을 새로운 기법을 적용하여 개선하고자 하였다. 즉, 저자들은 turbo spin echo를 기반으로 한 single-shot turbo spin echo 기법(이하 SS-TSE)이 180도 재위상(refocusing) pulse로 인해 자화감수성에 의한 인공물과 영상의 왜곡이 덜 발생한다는 점에 착안하여,[13] SS-TSE를 뇌줄기 DWI에 적용함으로써 기존 기법 사용 시 발생하는 영상의 왜곡을 줄이고자 한 것이다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 연구대상 및 방법

연구대상은 2015년 7월부터 9월까지 DWI 검사환자 30명을 대상으로 하였다.

연구방법은 뇌줄기 중 공기와 인접해 있어 자화율 차이로 인해 왜곡이 많이 발생하는 숨뇌(medulla oblongata)를 대상으로, 기준영상인 T2 강조영상(T2 weighted image, 이하 T2 WI)과 기존의 SS-EPI와 새로운 SS-TSE

를 적용한 DWI를 획득한 후, 기법에 따른 DWI의 왜곡과 오차율을 비교평가 하였다.

2. 영상획득 및 기법

영상획득 장비로는 3.0T 초전도 자기공명영상장치(Ingenia CX, Philips medical system)와 20 channel dS HeadNeckSpine 코일을 사용하였다.

사용된 영상변수는 T2 WI의 경우 TR(반복시간) 3000msec, TE(에코시간) 80msec, FOV(영상영역) 230×180mm, matrix(화소배열수) 512×320, NEX(여기횟수) 1로 하였으며, SS-EPI DWI의 경우 TR 3000msec, TE 58msec, FOV 230×180mm, matrix 120×90, NEX 2, SENSE(병렬영상기법) factor 2.5로 하였고, SS-TSE DWI의 경우 TR 3000msec, TE 56msec, FOV 230×180mm, matrix 120×90, NEX 2, SENSE factor 2.5로 하였다. 영상은 절편두께(slice thickness) 5mm, 절편간격(gap) 2mm로 뇌줄기를 모두 포함하여 20절편(slice)을 획득 하였으며, DWI의 경우 확산경사자장이 인가되지 않는 b-value 0 영상(이하 b0)과, 확산경사자장이 인가되는 b-value 1000 영상(이하 b1000)을 획득하였다. 각 영상별 검사시간(scan time)은 T2 WI가 2분 6초, SS-EPI DWI가 1분 3초, SS-TSE DWI가 2분이었다.

3. 측정 및 분석방법

영상의 왜곡은 영상측정 프로그램(Image J, Ver. 1.47n, NIH, USA)을 사용하여 자화율 차이에 비교적 영향을 받지 않는 T2 WI의 숨뇌 면적을 측정 한 후, 이를 기준으로 SS-EPI와 SS-TSE를 사용하여 획득한 DWI(b0와 b1000)의 면적을 측정하여 비교 분석하였다.[Fig. 1]

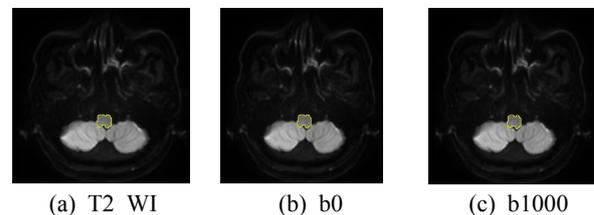


Fig. 1. ROI for measuring the distortion.

왜곡으로 인한 SS-EPI와 SS-TSE DWI의 오차율은 T2 WI의 면적을 기준으로 b0와 b1000의 면적을 NEMA(National Electrical Manufacturers Association)의 distortion 계산식에 대입하여 산출한 후 비교 분석하였다.[식 1]

$$Distortion = \frac{|A-B|}{A} \times 100 \quad (1)$$

A: Medulla area in T2 WI

B: Medulla area in DWI

통계적 분석방법은 대응표본 t-검증(paired t-test, SPS S Ver. 22)을 이용하였으며, 0.05보다 p값이 작은 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

III. RESULT

1. 대상자의 인구사회학적 특성

연구대상자의 인구사회학적 특성은 남성이 20명, 여성이 10명이었고, 평균연령은 59.58±9.48세(42세-72세)였다.[Table 1]

Table 1. Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	20	66.7
	Female	10	33.3
Age	50 under	5	16.7
	50-59	8	26.7
	60-69	12	40.0
	70 up	5	16.7

2. 기법별 DWI의 왜곡

기법별 DWI의 왜곡은 기준영상인 T2 WI(228.92±28.77)에 비해 b0의 경우 SS-TSE (213.57±23.63)가 SS-EPI(206.57±21.64) 보다 영상의 왜곡이 적었고, b1000의 경우도 b0와 마찬가지로 SS-TSE(234.83±34.97)가 SS-EPI(214.62±38.22) 보다 영상의 왜곡이 적었다.[Table 2]

Table 2. Distortion of DWI according to sequences

Category	SS-EPI(mm ²)	SS-TSE(mm ²)
T2 WI	228.92±28.77	
b0	206.57±21.64	213.57±23.63
b1000	214.62±38.22	234.83±34.97

3. 영상왜곡의 차이

기법별 영상왜곡의 차이 결과, 확산경사자장이 인가되지 않아 왜곡이 일어나지 않는 b0의 경우 통계적으로 유의하지 않아(p>0.05) 기법에 따른 왜곡의 차이가 있다고 할 수 없으며, 확산경사자장이 인가되어 왜곡이

일어나는 b1000의 경우 통계적으로 유의하여(p<0.05) 기법에 따른 왜곡의 차이가 있다고 할 수 있다.[Table 3]

Table 3. Distortion for each b-value of sequences

Category	Mean Difference	Std. Error Difference	t	Sig.
b0	-6.996	6.639	-1.054	.315
b1000	-20.207	7.028	-2.875	.015

4. DWI의 오차율

기법별 DWI의 오차율은 b0의 경우 SS-TSE(8.66±7.56)가 SS-EPI(11.09±8.82)에 비해 영상의 오차율이 적었고, b1000의 경우도 b0와 마찬가지로 SS-TSE(10.12±5.72)가 SS-EPI(11.35±7.04)에 비해 영상의 오차율이 적었다.[Table 4]

Table 4. Error percentage for each b-value of sequences

Category	SS-EPI(%)	SS-TSE(%)
b0	11.09±8.82	8.66±7.56
b1000	11.35±7.04	10.12±5.72

IV. DISCUSSION

DWI는 짧은 시간 내 초기 허혈성 뇌졸중을 감별할 수 있는 유용한 검사 방법으로,^[5] 빠른 영상획득을 위해 일반적으로 SS-EPI를 사용한다.^[8] 그러나 SS-EPI는 물과 지방 또는 공기와 같이 자화율 차이가 큰 물질이 인접해 있을 경우 자화감수성 효과에 의해 신호감소나 영상의 왜곡이 발생한다는 문제점이 있다.^[9] 특히, 자화감수성이 큰 공기와 인접해 있는 뇌졸중의 경우 자화율 차이로 인해 영상의 왜곡이 자주 발생하며 이는 진단적 가치를 저해하는 요인으로 작용한다.^[12] 이와 같은 영상의 왜곡을 해결하기 위해 여러 연구들이 진행되었다.

Zang *et. al.*^[14]과 Ishihara *et. al.*^[15]은 MS-EPI를 이용하여 k-공간의 궤적을 interleaved 방식으로 채움으로서 영상의 왜곡을 개선할 수 있다고 하였다. 그러나 MS-EPI는 k-공간 전체를 Nint 만큼 채워야 하기 때문에 검사 시간이 길고 움직임에 민감하다는 단점이 있다.^[10] 이러한 multi-shot 기법의 문제점을 개선하기 위해 Henkel^[16]과 Buonocore *et. al.*^[17]은 navigator echo를 이용한

새로운 알고리즘을 제안하였다. 그러나 위 연구는 multi-shot 자체의 긴 검사시간과 더불어 재구성에 필요한 추가적인 시간이 필요하기 때문에 허혈성 뇌졸중과 같이 신속한 검사를 필요로 할 경우 적절한 방안이 될 수 없다.

Thian *et. al.*^[7]과 Yeom *et. al.*^[9]은 주파수부호화(readout) 방향을 따라 k-공간을 여러 구획으로 나눠 촬영하는 RS-EPI를 사용할 경우 고식적인 MS-EPI에 비해 영상의 왜곡을 줄일 수 있다고 하였다. 그러나 RS-EPI 역시 single-shot 기법에 비해 움직임으로 인한 인공물이 발생할 가능성이 높다는 한계가 있으며 기본적으로 multi-shot 기법을 기반으로 하기 때문에 신속한 영상 획득을 필요로 하는 뇌졸중 DWI에서는 근본적인 대안이 될 수 없다. 이에 반해, Choi *et. al.*^[18]은 조직밀도와 유사한 실리콘 패드를 이용해 조직과 공기가 맞닿은 부위를 보상함으로써 영상의 왜곡을 감소시킬 수 있다고 하였다. 그러나 이 방법은 인체 외에 적용이 가능한 방법으로 인체 내 구조물에는 적용이 불가능하다는 제한점이 있다.

본 연구에서는 위와 같이 기존의 DWI 사용 시 인체 내 구조물에서 발생하는 영상의 왜곡을 새로운 기법을 적용하여 감소시키고자 하였다. 즉, 재위상 pulse로 인해 자화감수성에 의한 영상의 왜곡이 덜 발생하는 SS-TSE를 이용하여,^[13] 기존 기법 사용 시 발생하는 영상의 왜곡을 줄이고자 한 것이다. 연구결과, 새로운 SS-TSE 적용 시 왜곡은 b0와 b1000 모두 각각 3.1%(9.8%에서 6.7%)와 3.7%(6.2%에서 2.6%) 감소된 것을 볼 수 있으며, 오차율은 또한 왜곡과 마찬가지로 2.4%(11.1%에서 8.7%)와 1.2%(11.4%에서 10.1%) 감소된 것을 볼 수 있다.

이는 Zhuang *et. al.*^[14]의 연구결과인 13.4% (pre: 73.3 ± 22.7, post: 63.5 ± 19.4) 보다 낮은 수치지만 기법의 변화만으로 체내 구조물에서 왜곡을 감소시킬 수 있는 획기적인 개선 방법이라 할 수 있으며, SS-TSE를 사용한 De Foer *et. al.*^[13]의 증례보고(case report)나 Lövblad *et. al.*^[12]과 de Graaf *et. al.*^[19]이 왜곡의 개선정도를 수치로 표현하지 못해 얼마나 개선되었는지에 대한 구체적인 언급이 없는 연구보다 진일보한 방법이다.

본 연구는 기법의 특성 상 TE를 동일하게 설정하지 못했다는 제한점이 있다. 그러나 자화율 차이가 큰 뇌

졸중 DWI에서 SS-TSE를 최초로 적용하여 영상의 왜곡과 오차율을 수치적으로 비교하였다는 점과 기존 기법 사용 시 체내 구조물에 발생하는 영상의 왜곡을 감소시켜 진단적 가치가 높은 영상을 획득할 수 있는 방안을 제시하였다는 데에 커다란 의의가 있다.

V. CONCLUSION

본 연구는 확산강조영상에서 자화율의 차이로 발생하는 뇌졸중 영상의 왜곡을 SS-TSE를 적용하여 감소시키고자 하였다.

연구를 통하여 뇌졸중의 DWI검사 시 SS-TSE를 적용하면 기존 기법에서 발생하였던 영상의 왜곡을 획기적으로 감소시켜 진단적 가치가 높은 영상을 획득할 수 있었으므로 임상에 적용할 경우, 유용성이 높을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 연구는 2016년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해 수행됨

Reference

- [1] D. Epstein, A. Mason, A. Manca, "The hospital cost of care for stroke in nine European countries", *Health Economics*, Vol. 17, No. 1, pp. 21-31, 2008.
- [2] Bogousslavsky, M. G. Van, F. Regli, "The Lausanne Stroke Registry: analysis of 1,000 consecutive patients with first stroke", *Stroke*, Vol. 19, No. 9, pp. 1083-1092, 1988.
- [3] K. M. Burger, S. Tuhim, T. P. Naidich, "Brainstem vascular stroke anatomy", *Neuroimaging Clinics of North America*, Vol. 15, No. 2, pp. 297-324, 2005.
- [4] J. H. Lee, J. S. Lee, I. C. Im, "Evaluated the L-spine Magnetic Resonance Imaging for the Scanning Method of the Lateral Recumbent Position with to the Embarrassed Control of the Acute Low Back Pain", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 8, No. 5, pp. 255-260, 2014.
- [5] J. F. Burke, K. A. Kerber, T.J. Iwashyna, L. B. Morgenstem, "Wide variation and rising utilization of stroke magnetic resonance imaging", *Annals of Neurology*

- gy, Vol. 71, No. 2, pp. 179-185, 2012.
- [6] C. Z. Simonsen, M. H. Madsen, M. L. Schmitz, I. K. Mikkelsen, M. Fisher, G. Andersen, "Sensitivity of diffusion- and perfusion-weighted imaging for diagnosing acute ischemic stroke is 97.5%", *Stroke*, Vol. 45, No. 1, pp. 98-101, 2015.
- [7] Y. L. Thian, W. Xie, D. A. Porter, A. B. Weileng, "Readout-segmented echo-planar imaging for diffusion-weighted imaging in the pelvis at 3T-A feasibility study", *Academic Radiology*, Vol. 21, No. 4, pp. 531-537, 2014.
- [8] S. J. Holdsworth, M. U. Antonucci, J. B. Andre, J. Rosenberg, M. Aksoy, M. Straka, N. J. Fischbein, R. Bammer, S. Skare, "Diffusion-weighted imaging with dual-echo echo-planar imaging for better sensitivity to acute stroke", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 35, No. 7, pp. 1293-1302, 2014.
- [9] K. W. Yeom, S. J. Holdsworth, A. T. Van, R. M. Lober, R. Bammer, "Comparison of readout-segmented echo-planar imaging (EPI) and single-shot EPI in clinical application of diffusion-weighted imaging of the pediatric brain", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 200, No. 5, pp. 437-443, 2013.
- [10] R. Bammer, "Basic principles of diffusion-weighted imaging", *European Journal of Radiology*, Vol. 45, No. 3, pp. 169-184, 2003.
- [11] K. P. Pruessmann, M. Weiger, M. B. Scheidegger, P. Boesiger, "SENSE: sensitivity encoding for fast MRI", *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 42, No. 5, pp. 952-962, 1999.
- [12] K. O. Lövblad, P. M. Jakob, Q. Chen, A. E. Baird, G. Schlaug, S. Warach, R. R. Edelman, "Turbo spin-echo diffusion-weighted MR of ischemic stroke", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 19, No. 2, pp. 201-208, 1998.
- [13] J. P. Vercruyse, B. Pilet, J. Michiels, R. Vertriest, M. Pouillon, T. Somers, E. Offeciers, "Single-shot, turbo spin-echo, diffusion-weighted imaging versus spin-echo-planar, diffusion-weighted imaging in the detection of acquired middle ear cholesteatoma", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 27, No. 7, pp. 1480-1482, 2006.
- [14] J. S. Zhang, Y. Huan, "Multishot diffusion-weighted MR imaging features in acute trauma of spinal cord", *European Journal of Radiology*, Vol. 24, No. 3, pp. 685-692, 2014.
- [15] T. Ishihara, K. Hirata, J. Kubo, K. Yamazaki, T. Sato, "Clinical application of multi-shot diffusion EPI in neurological disease", *Rinsho Shinkeigaku*, Vol. 38, No. 5, pp. 453-456, 1998.
- [16] F. Hennel, "Image-based reduction of artifacts in multishot echo-planar imaging", *Journal of Magnetic Resonance*, Vol. 134, No. 2, pp. 206-213, 1998.
- [17] M. H. Buonocore, L. Gao, "Ghost artifact reduction for echo planar imaging using image phase correction", *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 38, No. 1, pp. 89-100, 1997.
- [18] K. W. Choi, D. K. Seo, H. B. Lee, H. J. Goh, S. R. Na, "A study on image distortion improvement using silicon device in thyroid diffusion MRI images", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 15, No. 7, pp. 4380-4386, 2014.
- [19] J. Pouwels, F. Rodjan, A. C. Moll, S. M. Imhof, D. L. Knol, E. Sanchez, J. A. Castelijns, "Single-shot turbo spin-echo diffusion-weighted imaging for retinoblastoma: initial experience", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 33, No. 1, pp. 110-118, 2012.

자기공명 확산강조영상검사 시 영상왜곡 감소에 관한 연구

최관우,¹ 이호범,¹ 나사라,¹ 유병규,² 손순룡^{2,*}

¹서울아산병원 영상의학과

²원광보건대학교 방사선과

요 약

본 연구는 DWI 검사 시 자화율 차이로 인해 뇌줄기에 발생하는 영상의 왜곡을 새로운 SS-TSE를 적용하여 감소시키고자 하였다. 연구방법은 2015년 7월부터 동년 9월까지 DWI 검사를 검사한 30명을 대상으로, 기존의 SS-EPI 기법과 새로운 SS-TSE를 적용하여 기법에 따른 뇌줄기의 왜곡과 오차율을 비교평가 하였다. 연구결과, 새로운 SS-TSE 적용 시 왜곡이 감소된 것을 볼 수 있으며, 오차율 또한 b0 영상은 2.4%(11.1%에서 8.7%), b1000 영상은 1.2%(11.4%에서 10.1%) 감소하는 것을 볼 수 있었다. 결론적으로, 뇌줄기의 DWI 검사 시 본 연구의 SS-TSE를 이용하면 기존 기법 사용 시 발생하는 영상의 왜곡을 감소시킬 수 있어 진단적 가치가 높은 영상을 획득할 수 있다.

중심단어: 영상왜곡, DWI, SS-TSE, SS-EPI, 자화율