

The Study on Signal to Noise Ratio of Single-Shot Turbo Spin Echo to Reduce Image Distortion in Brain Stem Diffusion MRI

Nohyun Koo,¹ Hobeom Lee,¹ Kwanwoo Choi,¹ Soonyong Son,² Beonggyu Yoo^{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

The purpose of this study was to investigate the problems of low signal-to-noise ratio(SNR) of single-shot turbo spin echo(SS-TSE) by quantifying numerically decreased signal to noise ratio. Thirty five patients without brain disease underwent diffusion MRI in 3T scanner from July to October in 2015. Single shot echo planar imaging(SS-EPI) which is conventionally used in MRI was taken to compared SS-TSE in SNR of medulla oblongata. As a result, SNR of SS-TSE diffusion($b_0=314.41\pm 42.96$, $b_{1000}=117.33\pm 14.04$) is than SS-EPI diffusion($b_0=514.84\pm 48.97$, $b_{1000}=208.65\pm 25.70$) lower in $b=0$ image(38.9%) and $b=1,000$ image(43.8%). Thus, diffusion MR using SS-EPI of MS-EPI should be taken for diagnosis of disease in brain stem due to decreased SNR of diffusion using SS-TSE.

Keyword: Diffusion weighted image, Single-shot turbo spin echo, Single-shot echo planar imaging, Signal to noise ratio, Brain stem

I. INTRODUCTION

확산강조영상(diffusion weighted image, 이하 DWI)은 물 분자의 미세한 움직임에 측정하여 정량화 하는 자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI) 중 하나이다. 초기에는 허혈성 뇌졸중(ischemic stroke)을 감별하는데 주로 사용되었으나, 최근에는 종양의 방사선 치료반응을 평가하는데 유용성이 입증되어 뇌, 간, 생식샘 등 전신에 적용되고 있다.^[1,2]

고식적인 DWI는 한 번의 여기펄스를 이용하여 k-공간(space)의 데이터를 모두 획득하는 single-shot echo planar imaging 기법(이하 SS-EPI)을 사용한다.^[3]

SS-EPI는 영상의 데이터를 한 번의 펄스로 획득하기 때문에 영상획득 시간이 짧고 물 분자의 확산에 민감하다는 장점이 있으나,^[4] 위상부호화 방향의 픽셀 대역폭이 매우 작아 자화감수성 인공물(susceptibility artifact)로 인한 영상의 뒤틀림(distortion)이 발생한다는 문제점이

있다.^[5]

이러한 문제점을 개선하기 위해 multi-shot echo planar imaging 기법(이하 MS-EPI)이 개발되었다.^[6]

MS-EPI는 영상의 데이터를 한 번의 펄스로 획득하는 대신 여러 구획으로 나누어 반복하여 획득하는 것으로, 자화감수성 인공물로 인한 영상의 뒤틀림을 줄일 수 있다는 장점이 있다.^[7] 그러나 영상의 데이터를 여러 번 나누어 획득하기 때문에 영상획득 시간이 길어, 움직임에 의한 위상변화로 인해 인공물이 나타난다는 문제점이 있다.^[5]

최근들어 single-shot turbo spin echo 기법(이하 SS-TSE)이 개발되어 적용되고 있다. SS-TSE는 자화감수성에 민감한 EPI 기법 대신 여러 번의 재 자화 펄스를 사용하여 자화율 차이를 감소시켜 영상을 획득하는 방법으로, 자화감수성으로 인한 영상의 뒤틀림이 줄어든다는 장점이 있다.^[8] 그러나 여러 번의 재 자화 펄스는 매우 긴 에코시간을 필요로 하며 그로인해 영상획득

*Corresponding Author: Beong Gyu Yoo

E-mail: bkyou@wu.ac.kr Tel: +82-63-840-1236

시간이 길어지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 SS-TSE는 많은 에코열 길이(echo train length, 이하 ETL) 수를 설정하는데 이는 신호대잡음비(signal to noise ratio, 이하 SNR)를 저하 시킨다.

영상의 질을 평가하는데 있어서 중요한 인자는 대조도잡음비(contrast to noise ratio, 이하 CNR)이다. 그러나 CNR은 인접한 두 영역 사이에 SNR 차이를 나타내는 것으로, 결국은 SNR에 따라 좌우된다. 따라서 영상에서 가장 기본적이고 중요한 척도는 SNR인 것이다. 낮은 SNR은 병소를 불분명하게 하거나 오인하게 만들어 정확한 진단을 저하시킨다. 이러한 요인은 환자의 치료계획 및 생명에 심각한 위협을 초래 할 수 있다. 특히, 공기와 인접해 있고 뇌척수액의 박동(CSF pulsation)이 있어 신호감소와 영상의 뒤틀림이 많이 발생하는 뇌줄기의 경우,^[9,10] 뒤틀림 감소를 위한 무분별한 SS-TSE 적용은 미세 병변의 경우 낮은 SNR로 인해 진단을 저해하는 요인이 될 수 있다. 그럼에도 불구하고 SS-TSE에 대한 대부분의 선행 연구들은 SNR이 아닌 single-shot 기법의 특성으로 발생하는 영상의 뒤틀림 감소에 초점을 두어 진행되었을 뿐, 그에 따른 SNR 저하에 관한 연구는 진행된 적도 없고, 어느 정도 SNR이 감소하는지 증명된 적도 없다. 즉, 기존 연구들은 뒤틀림이 줄어든 영상일수록 우수한 것으로 평가하였으나, 우수한 영상은 SNR도 높아야 하는 것이다.

이에 저자들은 뒤틀림 개선에 초점을 둔 기존 선행 연구들과 차별을 두어 SNR의 관점에서, 기존의 SS-EPI와 새로운 SS-TSE DWI의 SNR 측정 후, 기법에 따른 SNR의 감소를 수치적으로 정량화하여, 기존 기법에 비해 낮은 SNR로 인한 SS-TSE의 문제점을 지적하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구대상 및 방법

일반적으로 뇌줄기에 병변이 있을 경우 병변의 정도에 따라 SNR이 변화한다. 이에 본 연구에서는 연구의 정확성을 높이고 기법에 따른 SNR의 순수한 차이를 알아보하고자 2015년 7월부터 10월까지 뇌줄기 DWI를 검사한 60명 중 뇌줄기에 질환이 있는 25명을 제외한 35명을 대상으로 하였다.

연구방법은 뇌줄기 중 공기와 인접해 있어 자화율 차이가 크고 뒤틀림이 많이 발생하며, 미세한 병변이 자주 발생하는 숨뇌(medulla oblongata)를 대상으로, 기존의 SS-EPI와 새로운 SS-TSE를 각각 적용하여 DWI를 획득한 후, 기법에 따른 SNR의 차이를 알아보기 위해 숨뇌의 SNR을 측정하여 비교평가 하였다.

2. 영상획득 및 기법

영상획득 장비는 3.0T 초전도 MRI 장치(Ingenia CX, Philips medical system)와 20채널 dS HeadNeckSpine 코일을 사용하였다.

사용된 영상변수는 SS-EPI의 경우 반복시간(TR) 3000msec, 에코시간(TE) 58msec, 화소배열수(matrix) 120×90, 영상영역(FOV) 230×180mm, 여기횟수(NEX) 2, 병렬영상기법(SENSE) factor 2.5로 하였고, SS-TSE의 경우 TR 3000msec, TE 56msec, matrix 120×90, FOV 230×180mm, NEX 2, SENSE factor 2.5로 하였다.

영상 획득은 절편두께(slice thickness)와 절편간격(slice thickness)을 5mm에 2mm로 하여 20절편(slice)으로 뇌줄기를 모두 포함 하였으며, DWI의 b-value는 확산경사자장이 인가되지 않은 b-value 0(이하 b=0)과, 확산경사자장이 인가된 b-value 1000(이하 b=1000)으로 설정하여 획득하였다. 각 기법 별 검사시간(scan time)은 SS-EPI가 1분 3초이었으며 SS-TSE가 2분이었다.

영상에 기본적으로 적용된 필터(Image filter)는 다중 코일을 사용하여, 각각의 코일에 따른 영상 신호의 균일도(uniformity)보정필터인 CLEAR(Contrast level appearance)가 사용되었으며, 또한 영상의 재구성시 잡음(noise)을 줄여주는 일반적인 저역통과 필터는 SS-EPI와 SS-TSE에 동일하게 system default로 적용을 하였다.

3. 측정 및 분석방법

SNR은 영상측정 프로그램(Image J, Ver. 1.47n, NIH, USA)을 이용하여 각 기법에 따른 DWI(b=0와 b=1,000)에서 숨뇌에 관심영역(region of interest, ROI)을 설정하여 측정하였으며,[Fig. 1] 통계적 분석방법은 대응표본 t-검정(paired t-test, SPSS Ver. 22)을 이용하여 p값이 0.05 보다 작은 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

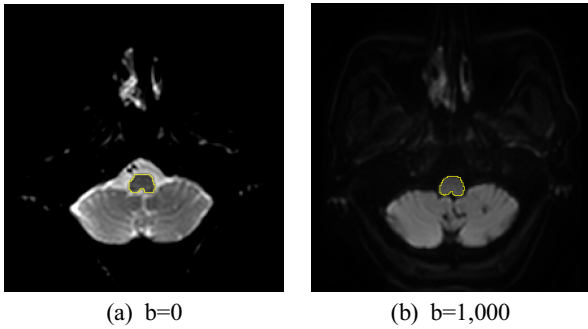


Fig. 1. Roi for measuring the SNR (a) b=0, (b) b=1,000.

III. RESULT

1. 연구대상자의 인구사회학적 특성

연구결과, 대상자의 인구사회학적 특성은 남성이 23명, 여성이 12명이었고, 평균연령은 61.39±9.76세(39세-76세)였다.[Table 1]

Table 1. Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	23	66.7
	Female	12	33.3
Age	50 under	6	16.7
	50-59	9	26.7
	60-69	14	40.0
	70 up	6	16.7

2. 기법에 따른 DWI의 SNR

DWI 기법에 따른 SNR은 b=0의 경우, SS-TSE가 314.41±42.96으로 SS-EPI의 514.84±48.97 보다 영상의 SNR이 38.9%(200.43) 감소하였고, b=1,000의 경우도 b=0와 마찬가지로 SS-TSE가 117.33±14.04로 SS-EPI의 208.65±25.70 보다 영상의 SNR이 43.8%(91.32) 감소하였다.[Table 2]

Table 2. SNR of DWI according to sequences

Category	SS-EPI	SS-TSE
b=0	514.84±48.97	314.41±42.96
b=1,000	208.65±25.70	117.33±14.04

3. 기법에 따른 SNR의 대응표본 t-검정

DWI 기법에 따른 SNR의 대응표본 t-검정 결과, b=0의 경우 통계적으로 유의하여(p<0.05) 기법에 따른 SNR의 차이가 있다고 할 수 있으며, b=1,000의 경우도 b=0와 마찬가지로 통계적으로 유의하여(p<0.05) 기법에 따른 SNR의 차이가 있다고 할 수 있다.[Table 3]

Table 3. SNR for each b-value of sequences by paired t-test

Category	Mean Difference	Std. Error Difference	t	Sig.
b=0	200.43	8.57	23.390	.000
b=1,000	91.32	4.06	22.493	.000

4. 기법에 따른 DWI

기법에 따른 DWI를 윈도우 폭(window width)과 윈도우 레벨(window level)을 동일하게 하여 비교한 결과, b=0와 b=1,000 모두 SS-TSE가 SS-EPI에 비해 SNR이 감소함을 육안으로 확인 할 수 있다.[Fig. 2]

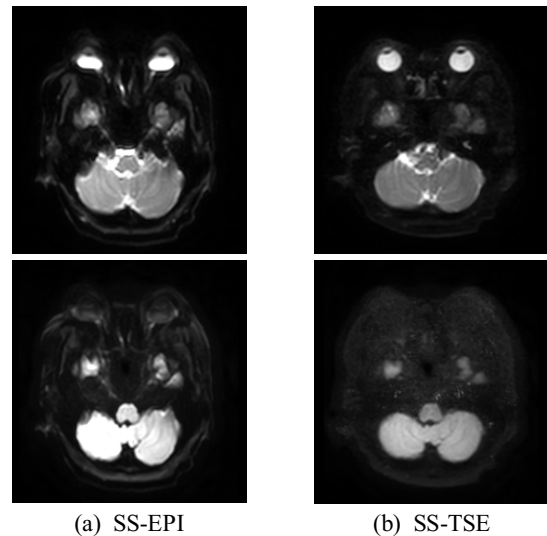


Fig. 2. DWI according to sequences (a)ss-EPI, (b)SS-TSE.

IV. DISCUSSION

영상을 평가하는데 있어 가장 기본적이고 중요한 척도는 SNR이다. SNR은 일반적으로 관심영역의 평균 신호강도 값에 배경영역 잡음의 표준편차로 나누어 산출한다. 따라서 신호강도의 값이 낮아지거나 잡음이 높아지면 SNR은 저하된다. 즉, SNR이 낮은 영상은 목적

부위의 신호강도가 낮아지거나 잡음이 증가된다는 의미로 결과적으로 진단적 가치를 저해하는 요인이 된다.^[11,12]

SS-TSE는 여러 번의 재 자화 펄스로 인해 DWI 검사 시 가장 문제가 되는 뒤틀림을 개선할 수 있다. 그러나 여러 번의 재 자화 펄스로 인한 매우 긴 에코시간과 그로인한 영상획득 시간의 증가, 그것을 해결하기 위한 많은 ETL 수의 설정은 SNR을 저하 시킨다. 왜냐하면, 에코시간이 길 경우 T2 붕괴가 전부 일어난 후 신호를 획득하기 때문에 SNR이 저하되고, 시간을 줄이기 위해 ETL 수가 많아지면 영상의 흐려짐이 발생(blurring)하여 영상의 SNR을 저하시키기 때문이다. 특히 공기가 인접해 있는 조직의 경우 위 문제점과 더불어 자화감수성 효과로 인해 영상의 SNR이 더욱 저하된다.

이러한 현상은 영상화 할 수 있는 크기가 작고 공기와 인접해 있는 부위에서 많이 나타나는데, 특히, 뇌줄기와 같이 작은 구조물에 허혈성 뇌졸중이 발생하여 그것을 진단하기 위해 SS-TSE를 적용할 경우, 낮은 SNR 인해 병소를 오인할 수 있어 병소의 진단 및 치료에 심각한 위해를 초래할 수 있는 것이다.

많은 선행 연구들을 통해 SS-TSE의 유용성을 평가하려는 시도가 있었다. Graaf *et. al.*^[13]과 Foer *et. al.*^[8]은 연속적인 재자화 펄스를 사용하는 SS-TSE가 뒤틀림 없이 안구나 귓속 병소를 잘 관찰할 수 있다고 하였고, Lövsblad *et. al.*^[10]은 허혈성 뇌졸중 환자를 대상으로 SS-TSE가 효용성이 있는 진단적 가치를 제공한다고 평가하였다. 또한 Verhappen *et. al.*^[14]은 두경부 병소에 대하여 SS-EPI와 SS-TSE의 유용성을 평가할 경우, SS-EPI를 사용하는 것이 원발성 두경부 암과 림프절의 묘사에 우수하다고 언급하였다. 그러나 위 연구들은 모두 자화율 감수성에 대한 뒤틀림 개선에 관한 연구로, 각 영상획득 기법에 따른 SNR을 비교한 본 연구와는 접근방법에서 차이가 있다.

본 연구는 SS-TSE를 적용한 DWI 획득 시 낮은 SNR이 진단적 정보를 제공하는데 있어 영향을 미칠 것으로 판단하여, 해부학적으로 크기가 작은 뇌줄기에 대하여 SS-EPI와 SS-TSE의 SNR을 비교평가 하였다. 연구 결과, b=0의 경우, SS-TSE(314.41±42.96) 적용 시 SS-EPI(514.84±48.97) 보다 영상의 SNR이 38.9%(200.43) 감소하였으며, b=1,000의 경우도 b=0와 마찬가지로 SS-T

SE(117.33±14.04) 적용 시 SS-EPI(208.65±25.70) 보다 43.8%(91.32) 감소하였다(p<0.05).

본 연구는 SS-TSE기법을 적용한 DWI 획득 시 SNR의 저하를 구체적인 수치로 정량화하여 증명한 최초의 연구로, 두경부 병소에 대하여 SS-EPI 보다 SS-TSE의 유용성을 주관적 평가에 의존한 Verhappen *et. al.*^[14]의 연구보다 진일보한 연구이다.

또한, Graaf *et. al.*^[13]과 Foer *et. al.*^[8] Lövsblad *et. al.*^[10]의 기존 연구들이 SS-TSE를 관자엽(temporal lobe)과 대뇌반구(cerebral hemisphere)와 같이 넓은 부위에 발생한 허혈성 병소의 뒤틀림 개선에 초점을 두었다면, 본 연구는 낮은 SNR이 문제가 되는 뇌줄기나 속섬유막(internal capsule)과 같이 작은 부위에서 SS-TSE의 낮은 SNR로 인하여 발생할 수 있는 진단적 가치의 저하를 지적하였다는 것이다.

본 연구는 기법의 특성 상 에코시간을 동일하게 설정하지 못했다는 점과, 병변의 정도에 따라 SNR이 크게 변화하는 문제로 인해, 허혈성 뇌졸중 환자를 대상으로 평가하지 못했다는 제한점이 있다. 그러나 영상의 뒤틀림 개선에만 초점을 둔 기존 선행연구들과 달리, 본 연구는 작은 해부학적 구조물을 대상으로 SS-TSE의 적용 시 SNR의 감소는 진단적 가치를 저하할 수 있는 요인이 될 수 있는 문제를 실제 수치를 통하여 제시하였다는데 커다란 의의가 있다. 따라서 미세 병변을 진단하기 위한 뇌줄기의 DWI 검사 시 뒤틀림을 줄이기 위해 SS-TSE 기법을 적용할 경우 SNR이 저하됨으로, 기존의 SS-EPI나 MS-EPI를 병행하여 검사하는 것이 진단의 정확성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

V. CONCLUSION

SNR의 관점에서, 기존의 SS-EPI와 새로운 SS-TSE DWI의 SNR 측정 후, 기법에 따른 SNR의 감소를 수치적으로 정량화하여, 기존 기법에 비해 낮은 SNR로 인한 SS-TSE의 문제점을 지적하고자한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

미세 병변을 진단하기 위한 뇌줄기의 DWI 검사 시 뒤틀림을 줄이기 위해 SS-TSE 기법을 적용할 경우 SNR이 저하되기 때문에 기존의 SS-EPI나 MS-EPI를 병행하여 검사하는 것이 진단의 정확성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 연구는 2016년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해 수행됨

Reference

- [1] 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.
- [2] J. H. Lee, Y. S. Yu, J. S. Lee, I. C. Im, Application of the Orally Inserted Guiding Device for the Improved Motion Artifacts of the Cervical Spine MRI", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 8, No. 6, 2014.
- [3] 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.
- [4] S. J. Holdsworth, M. U. Antonucci, J. B. Andre, J. Rosenberg, M. Aksoy, M. Straka, N. J. Fischbein, R. Bammer, M. E. Moseley, G. Zaharchuk, 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] H. Tokoro, Y. Fujinaga, A. Ohya, K. Ueda, A. Shiobara, Y. Kitou, H. Ueda, M. Kadoya, "Usefulness of free-breathing readout-segmented echo-planar imaging (RESOLVE) for detection of malignant liver tumors: comparison with single-shot echo-planar imaging (SS-EPI)", *European Journal of Radiology*, Vol. 83, No. 10, pp. 1728-1733, 2014.
- [8] B. D. Foer, J. P. Vercruyssen, B. Pilet, J. Michiels, R. Vertriest, M. Pouillon, T. Somers, J. W. Casselman, 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.
- [9] R. Bammer, "Basic principles of diffusion-weighted imaging", *European Journal of Radiology*, Vol. 45, No. 3, pp. 169-184, 2003.
- [10] 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.
- [11] International Atomic Energy Agency, Available from: http://www-pub.iaea.org/MTC/D/Publications/PDF/Pub1642_web-16821314.pdf, accessed Feb, 10, 2016.
- [12] A. J. McCann, A. Workman, C. McGrath, "A quick and robust method for measurement of signal-to-noise ratio in MRI", *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 58, No. 7, pp. 3775-3790, 2013.
- [13] P. D. Graaf, P. 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.
- [14] M. H. Verhappen, P. J. Pouwels, R. L. Jumanovic, D. L. Knol, R. De Bree, J. A. Castelijns, "Diffusion-weighted MR imaging in head and neck cancer: comparison between half-fourier acquired single-shot turbo spin-echo and EPI techniques", *American Journal of Neuroradiology*, Vol. 33 No. 7, pp. 1239-1246, 2012.

뇌줄기 확산강조 자기공명영상검사 시 뒤틀림을 줄이기 위한 SS-TSE 기법의 신호대잡음비 연구

구노현¹, 이호범¹, 최관우¹, 손순룡², 유병규^{2,*}

¹서울아산병원 영상의학과

²원광보건대학교 방사선과

요 약

본 연구는 뇌줄기 확산강조영상검사 시 뒤틀림을 줄이기 위한 SS-TSE 기법의 신호대잡음비 감소를 수치적으로 정량화하여, 낮은 신호대잡음비로 인한 SS-TSE 기법의 문제점을 지적하고자 하였다. 연구방법은 2015년 7월부터 10월까지 뇌줄기 확산강조영상검사를 검사한 35명을 대상으로 하였으며, 기존의 SS-EPI 기법과 SS-TSE 기법을 적용하여 기법별 숨뇌의 신호대잡음비를 비교하였다. 연구결과 $b=0$ 영상의 신호대잡음비는 새로운 SS-TSE 기법(314.41 ± 42.96) 적용 시 SS-EPI 기법(514.84 ± 48.97) 보다 38.9% 감소하였으며, $b=1,000$ 영상의 경우도 SS-TSE 기법(117.33 ± 14.04) 적용 시 SS-EPI 기법(208.65 ± 25.70) 보다 43.8% 감소하였다. 결론적으로, 미세 병변을 진단하기 위한 뇌줄기의 확산강조 자기공명영상 검사 시 뒤틀림을 줄이기 위해 SS-TSE 기법을 적용할 경우 신호대잡음비가 저하됨으로 기존의 SS-EPI 기법이나 MS-EPI 기법을 병행하여 검사하는 것이 진단의 정확성을 높일 수 있으리라 사료된다.

중심단어 : 확산강조영상, SS-TSE, SS-EPI, 신호대잡음비, 뇌줄기