

Evaluation of Image Quality using SE-EPI and SSH-TSE Techniques in MRDWI

Eun-Hoe Goo*

Department of Radiological Science, Cheongju University

Received: December 02, 2021. Revised: December 27, 2021. Accepted: December 31, 2021

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the image quality of the SE-EPI and SSH-TSE technique for MR DWI. Data were analyzed for 35 PACS transmission datum (Normal part: 12 males, 13 females, Cerebral Infarction: 10 (5 males and 5 females), and average age 68 ± 7.32), randomly selected patients who underwent MRDWI tests. The equipment used was Ingenia CX 3.0T, SSH-TSE and SE-EPI pulse sequence and 32 Ch. head coil were used for data acquisition. Image evaluation was performed on the paired t-test and Wilcoxon tests, and was considered significant when the p value was 0.05 or less. As a result of quantitative analysis of SNR for DWI images, the mean and standard deviation values of 4 parts (WM, GM, BG, Cerebellum) in ADC (s/mm^2), Diffusion $b=0$, 1000 images were higher in SE-EPI techniques (ADC: 120.50 ± 40 , $b=0$: 54.50 ± 35.91 , $b=1000$: 91.61 ± 36.63) than in SSH-TSE techniques (ADC: 99.69 ± 31.10 , $b=0$: 43.52 ± 25.00 , $b=1000$: 60.74 ± 24.85) ($p < 0.05$). The CNR values for GM-WM, BG-WM sites were also higher in SE-EPI technique (ADC: 116.08 ± 43.30 , $b=0$: 27.23 ± 09.10 , $b=1000$: 78.50 ± 16.56) than in SSH-TSE (ADC: 101.08 ± 36.81 , $b=0$: 23.96 ± 07.79 , $b=1000$: 74.30 ± 14.22). As a visual evaluation of observers, ghost artifact, magnetic susceptibility artifacts and overall image quality for SE-TSE and SSH-TSE all yielded high results from SSH-TSE techniques (ADC: 3.6 ± 0.1 , 2.8 ± 0.2 , $b=0$: 4.3 ± 0.3 , 3.4 ± 0.1 , $b=1000$: 4.3 ± 0.2 , 3.5 ± 0.2 , $p=0.000$). In conclusion, the SE-EPI technique obtained a superiority in SNR and CNR measurements using SSH-TSE, SE-EPI. In the qualitative analysis, the SSH-TSE pulse sequence was obtained a high result according to the pulse sequence characteristics.

Keywords: MRDWI, SSH-TSE, Spin Echo-EPI.

I. INTRODUCTION

EPI (Echo Planar Imaging)은 영상화를 위해 필요한 Phase Encoding 단계를 한 TR 동안에 모두 측정하는 방법이며 현재 사용되는 Sequence 중에서 가장 빠른 영상법이다^[1]. 기본적인 EPI Pulse 파형은 양자를 여기 시킬 수 있는 RF Pulse를 비롯하여 Positive, Negative 극성이 매우 신속하게 바뀔 수 있는 주파수 부호화 경사자계 (Frequency Encoding Gradient) 그리고 작고 크기가 변하지 않는 여러 개의 위상부호화 경사자계 (Phase Encoding Gradient)의 조합

으로 구성되어 있다. EPI은 단 한번의 RF Pulse를 가해 주어서 한번의 TR 동안에 모든 공간 정보를 획득할 수 있기 때문에 1초당 10~20여 개의 영상을 얻을 수 있는 초고속 영상획득 기법이다. 또한 물 분자의 확산에 민감하다는 장점이 있어 혈관조영술과 뇌, 심장, 복부의 초고속 촬영에도 적용되는 부위가 확대되고 있다. EPI Pulse Sequence를 이용하는 DWI의 임상적 적용범위는 다양하게 적용되고 있다^[2]. 특히 Ischemic Stroke, Neoplasms, Intracranial Infections, Hemorrhage, Demyelinating Disease 등에서 DWI 기법의 효과를 보여주고 있다^[3,4].

* Corresponding Author: Eun-Hoe Goo

E-mail: gooeh@cju.ac.kr

Tel: *** - **** - ****

그러나 EPI기법의 영상에는 Susceptibility Artifact가 많이 나타나고 Distortion이 발생하여 영상의 품질이 저하되는 문제가 있다^{5,6}. 이러한 보완점으로 TSE(Turbo Spin Echo)영상 기법을 적용하기도 한다. 본 연구에서는 인공물의 영향이 적은 기법을 적용하기 위하여 TSE 방식에 SSFSE(Single Shot Fast Spin Echo)을 혼합하여 DWI 영상을 획득하게 되었다^{7,8}. SSFSE 방법은 TSE와 같이 여러 개의 ETL의 사용과 Half Fourier Acquisition 방법을 병용하여 영상을 획득하게 된다. 한번의 TR 동안에 64~126개의 Echo를 얻어 K-space의 절반만을 채워서 영상을 얻기 때문에 몇 초 안에 영상을 얻을 수 있다. 이 기법은 매우 빠르기 때문에 Motion Artifact에 민감한 복부 영상에 주로 이용하고 있다. 이러한 SSFSE 기법은 한번에 TR 동안에 영상을 구성되기 때문에 T2 효과가 높은 영상을 얻을 수 있으며 Echo와 Echo 간의 간격, 즉 ESP(Echo Spacing)가 짧아야만 효과가 높다. MRI 영상평가는 일반적으로 SNR, CNR 척도로 영상을 평가하고 있다. 낮은 SNR, CNR은 병소를 불분명하게 하거나 오인하게 만들어 정확한 진단을 저하시키는 요인이 되기 때문에 높은 척도의 평가를 요구하고 있다. 본 연구의 주안점으로는 신경계분야 평가에서 DWI 기법을 EPI 기법으로 획득하는 기존연구의 단점을 보완할 필요성이 있다. 이에 본 연구는 기존에 적용되고 있는 SE-EPI 기법으로 획득한 영상을 TSE 병용기법인 SSH-TSE의 뇌 MRI 영상을 획득하여 각 영상에서 정량적 평가와 정성적 평가로 영상의 질을 분석하여 높은 진단적 정보를 제공하는 기법을 알아보고 기초자료로 제공하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구대상

2020년 3월부터 12월 까지 충북소재 대학병원에서 MRI 검사 후 PACS로 전송된 데이터를 무작위로 선택한 환자 총 35명을 대상으로 분석하였다. 분석 대상은 남자 12명, 여자 13명(정상 위치), 뇌경색 10명(남자 5명, 여자 5명)로 구성되어 있으며 평균나이는 68 ± 7.32세였다.

2. 자료 수집

모든 대상데이터는 검사 전 본 연구에 대한 목적을 설명한 후 검사 동의를 받았으며 검사 후 결과를 구도로 전달하였다. 검사에 이용된 영상획득 장비로 Imgenia CX 3.0T(Philips Healthcare, Best, Netherlands)를 사용하였고, Data 획득은 32 Channel Dstream Head Coil을 사용하였다. 본 연구에 사용한 SE-EPI와 SSH-TSE 적용된 스캔 매개변수(parameter)는 Table 1과 같이 적용하였다.

Table 1. Scanning Parameters for two pulse sequences

Parameters	Pulse Sequences	
	SE-EPI ^{a)}	SSH-TSE ^{b)}
TR(ms)	4096	8986
TE(ms)	71	65
FOV(mm)	220	220
Matrix	120x120	120x120
Slice thickness(mm)	3	3
b-values(s/mm ²)	0,1000	0,1000
Fat suppression	SPIR	SPIR
Averages	2	2
Scan Time	1:26	3:48

a)SE-EPI: Spin Echo Echo-Planar Imaging , b)SSH-TSE: Single Shot Turbo Spin Echo.

3. 분석방법

본 연구는 MRI 검사를 통해 얻은 영상의 백색질(White Matter), 회백질(Grey Matter), 대뇌기저핵(Basal Ganglia), 소뇌(Cerebellum), 소뇌경색(Cerebellar Infarction)에 대하여 평가를 하였다. 데이터 분석에 ‘INFINITY’ 프로그램을 이용해 관심영역(Region of Interest; ROI)을 설정하고, 데이터 값을 구하였다. 배경잡음(Background Noise)은 주변 관심영역 4곳을 설정하여 평균값으로 측정하였고 SNR과 CNR값을 계산하였다. 측정부분 ROI의 신호강도(Signal Intensity; SI)의 평균값을 측정한 후, 백그라운드의 신호강도 표준편차(Standard Deviation; SD)를 이용하여 다음의 Eq. (1)을 이용하여 SNR값을 측정하였다.

$$SNR = \frac{\text{measurement SI}}{\text{backgroundnoise SD}} \quad (1)$$

INFINITY' 프로그램을 이용하여 측정부분 신호 강도의 평균값과 ROI를 제외한 신호상태가 균일한 인접부위에 신호강도 평균값을 측정한 후, 백그라운드 신호강도 표준편차를 이용하여 다음의 Eq. (2)을 이용하여 CNR값을 측정하였다.

$$CNR = \frac{(measurement\ SI - adjacent\ SI)}{background\ noise\ SD} \quad (2)$$

정성적 평가는 5점 척도로 영상의 질을 평가하였고, EPI와 TSE기법으로 얻은 ADC, b=0, b=1000영상을 각각 독립적으로 국제 MRI 전문방사선사와 학생 3명이 1에서 5단계로 점수를 주어 실시하였다. 평가의 단계는 영상의 유령인공물(Ghost Artifact), 자기감수성 인공물(Susceptibility Artifact), 전반적 화질(Overall image Quality)에 따라 매우불량(Very poor:1), 불량(Poor:2), 보통(acceptable:3), 좋음(Good:4), 훌륭함(Excellent:5)로 구분하였고 각 영상에 대하여 얻어진 점수를 평균화 하여 비교하였다.

4. 통계처리

본 연구에 사용된 장비에 대한 두 기법에 대한 정량적 평가는 paired t-test를 하였으며, ADC(s/mm²), b=0, 1000으로 나누어 실시하였다. 정성적인 분석으로는 Wilcoxon Ranking Test로 통계적 유의성을 검증하였다. 모든 실험 데이터는 p 값이 통계적 유의성을 가지려면 0.05이하일 경우만 인정한다. 본 연구에 대한 데이터를 분석하기 위해 사용된 프로그램은 SPSS ver. 24.0 로 통계학적 분석을 실행하였다.

통계분석으로는 SPSS(Version 14.0 for windows software package, Chicago, IL, USA)를 사용하였다.

III. RESULT

1. SE-EPI, SSH-TSE의 SNR 분석

본 데이터 분석에 적용된 35명에 대한 SE-EPI, SSH-TSE 펄스시퀀스로 획득한 데이터를 분석하였다. Table 2에서 알 수 있듯이 ADC, b=0, 1000 영상에서 WM, GM, Cerebellum의 SE-EPI가 평균 SNRs

이 12.50 ± 40.00, 54.50 ± 35.91, 91.61 ± 36.63으로 높게 나타났다(p=0.000). 그러나 Infarction 부위에서만 평가했을 때 ADC 값은 SE-EPI 기법이 163.54, 121.55로 유의성 있는 결과를 얻었지만(p=0.000), b=0, 1000에서 SE-EPI, SSH-TSE: 80.6, 76.65, 103.99, 98.24로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다(p=0.65, 0.79). 이러한 결과는 전반적으로 SE-EPI 기법이 전반적으로 높은 결과를 나타냈지만 정성적인 부분에서는 영상의 기법에 따른 Noise, 인공물 형성이 발생되기 때문에 평가를 고려하는 결과를 얻었다.

Table 2. Results of SNR in ADC(s/mm²) and Diffusion b=0, 1000, n=35

	ADC		b=0		b=1000	
	EPI	TSE	EPI	TSE	EPI	TSE
^{a)} WM	164.3	141.24	102.47	77.22	141.07	86.46
^{b)} GM	103.42	93.06	26.96	24.94	81.94	77.80
^{c)} BG	80.52	68.94	18.27	15.73	40.49	28.66
Cereb.	91.74	73.68	44.22	40.75	88.57	70.09
Infar.	162.54	121.55	80.6	76.65	103.99	98.24
Mean ± SD	120.50 ± 40.00	99.69 ± 31.10	54.50 ± 35.91	43.52 ± 25.00	91.61 ± 36.63	60.74 ± 24.85

Numbers: Average values ± standard deviation.

^{a)}WM: White Matter, ^{b)}GM: Gray Matter,

^{c)}BG: Basal Ganglia Cereb: Cerebellum, Infar.: Infarction, Significant Differences p<0.05, p=0.000, p=0.65, p=0.79.

2. SE-EPI, SSH-TSE의 CNR 분석

두 기법에 대한 대조도 부분을 확인하기 측정한 CNRs 결과는 Table 3과 같다. ADC, b=0, b=1000영상에서 CNRs의 평균 및 표준편차 측정값이 SE-EPI(116.08 ± 43.30, 27.23 ± 09.10, 78.50 ± 16.56 이 SSH-TSE(101.08 ± 36.81, 23.96 ± 07.79, 74.30 ± 14.22)보다 전체적으로 높게 나타났다(p=0.000). b=0, 1000의 대조도 측정에서 Infarction과 Cerebellum의 차이는 SE-EPI, SSH-TSE에서 큰 차이를 보이지 않았지만 ADC 영상은 SE-EPI 값이 월등하게 높게 나타났다.

Table 3. Quantitative assessment of contrast to noise

	ADC		b=0		b=1000	
	EPI	TSE	EPI	TSE	EPI	TSE
^{a)} G-W	164.3	141.2	36.4	31.2	93.1	86.4
^{b)} B-W	103.4	93.1	26.9	24.9	81.9	77.8
^{c)} I-C	80.5	68.9	18.2	15.7	60.4	58.6
Mean	116.8	101.8	27.2	23.9	78.5	74.3
± SD	± 43.3	± 36.8	± 09.1	± 07.7	± 16.5	± 14.2

Numbers: Average values ± standard deviation.

^{a)}G-W: White Matter-Gray Matter, ^{b)}B-W: Basal Gangila-White Matter,

^{c)}I-C: Infarction-Cerebellum, Significant Differences $p < 0.05$, $p = 0.000$.

3. 정성적 분석

정성적 분석에 적용된 2 펄스시퀀스에 대하여 5 등급으로 평가했을 때 Table 4와 같이 나타났다. ADC 영상을 비롯하여 Gradient Factor로서 b=0, 1000 영상에 대하여 Ghost Artifact, Susceptibility Artifact, Overall Image Quality 모두 정량적 분석과 다르게 SSH-TSE(ADC, b=0, 1000, 3.6 ± 0.1 , 4.3 ± 0.3 , 4.3 ± 0.2)기법이 높은 점수를 획득하였다.

Table 4. Qualitative analysis for scoring on ADC and DWI(b=0, 1000) in brain structures(n=500)

	ADC		b=0		b=1000	
	EPI	TSE	EPI	TSE	EPI	TSE
^{a)} GA	2.7 ± 0.9	4.2 ± 1.1	2.9 ± 0.4	4.0 ± 0.8	3.3 ± 0.5	4.5 ± 0.7
^{b)} SA	3.1 ± 1.0	3.6 ± 0.9	3.4 ± 0.5	4.4 ± 0.7	3.2 ± 0.8	4.1 ± 0.9
^{c)} OIQ	2.8 ± 0.5	3.0 ± 0.8	3.9 ± 0.2	4.5 ± 0.4	3.7 ± 1.1	4.3 ± 0.5
Mean	2.8	3.6	3.4	4.3	3.5	4.3
± SD	± 0.2	± 0.1	± 0.1	± 0.3	± 0.2	± 0.2

Note-Numbers are mean ± standard deviation.

^{a)}GA: Ghost Artifact, ^{b)}SA: Susceptibility Artifact,

^{c)}OIQ: Overall Image Quality, Significant Differences $p < 0.05$, $p = 0.000$.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 Brain Diffusion(Region) 검사에서의 SE-EPI기법과 SSH-TSE기법의 영상의 질을 비교하여 SNR, CNR에 대해 분석하였다. SE-EPI와 SSH-TSE 기법을 이용하여 DWI를 시행한 Infarction 환

자에 대하여 ADC, b=0, 1000에 대하여 병소위치를 정확하게 확인할 수가 있었다. 오른쪽 Basal Gangli a와 Temporal Lobe 쪽에 Fig. 1에서 알 수 있듯이 뚜렷하게 관찰할 수 있다. 두 종류의 영상을 비교해 볼 때 영상의 질적인 면에서는 병변주변의 신호강도가 높고 전반적으로 선명한 영상을 얻었다. 확산정도측면에서도 CSF 부분이 SS-TSE 기법이 좀 더 물성분이 많이 포함되어 영상에서 확산정도가 크게 보였다. SE-EPI 영상과 비교해 볼 때 SSH-TSE의 ADC, b=0, 1000 영상을 통하여 확산의 정확성을 확인할 수 있는 영상 이었다. ADC 영상에서 Infarction 부분의 병변묘출은 SE-EPI 기법에서 더 Low Signal Intensity보여 큰 차이를 나타냈지만 b=0, 1000에서는 차이를 볼 수가 없는 특징이 있었다.

본 데이터 분석에서 데이터 수집 중 발생하는 Nyquist Ghost Artifact 가 Fig. 2와 같이 나타났다.

모든 영상은 Artifact 발생여부를 확인하기 위해 Figure와 같이 Window Width와 Level를 넓고 좁게 설정한 영상으로 인공물 여부를 정확하게 확인할 수가 있었다. 두 기법을 비교해 볼 때 K-space에서 Echo가 중심에서 이동되어 Nyquist Ghost Artifact가 SI 방향으로 SE-EPI(b=0, 1000, a, b) 기법이 심하게 나타나는 것을 알 수 있는 영상 이었다. 이러한 결과는 SE-EPI와 SSH-TSE에서 RF 인가에 따른 위상 값이 다르기 때문에 영상의 왜곡이 발생된 것이다.

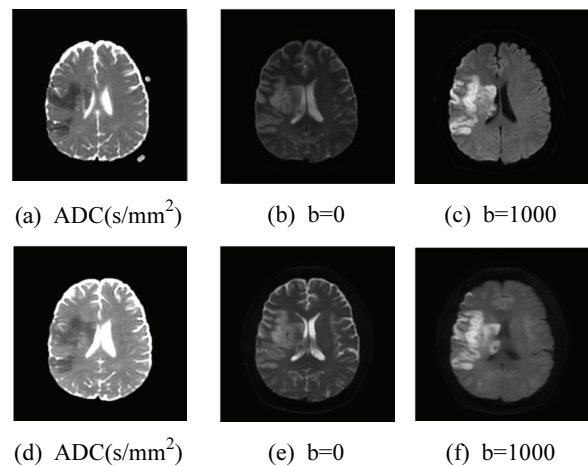


Fig. 1. Acute infarct in the right basal ganglia and temporal lobe. The low and high intensity lesion are well visualized in both methods. The top row: SE-EPI(a,b,c), The bottom row: SSH-TSE(d,e,f).

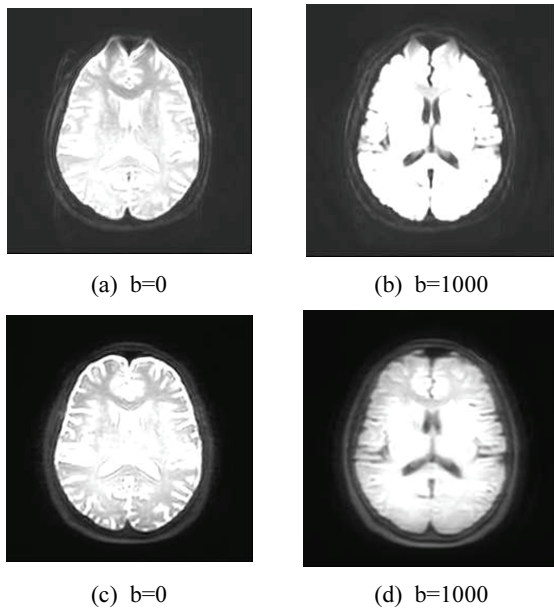


Fig. 2. Ghost artifact with occurring two methods. a, b. SE-EPI images(b=0, 1000), c, b. SSH-TSE(b=0, 1000). Two methods image show a irregular artifact(n/2) at superior(SI) to inferior directions in DWI.

DWI 영상에서 Magnetic Susceptibility Artifact가 Fig. 3과 같이 나타났다. Lateral ventricle scan level로서 영상을 평가한 것이다. ADC 영상에서는 큰 차이를 보이지 않았지만 b=0, 1000로서 SE-EPI 영상에서 보면 알 수 있듯이 Superior Frontal Lobe 쪽에 자화율의 차이로 Signal Loss가 발생한 영상이다. SSH-TSE Images는 ADC 영상을 포함하여 전반적으로 Susceptibility Artifact가 없는 영상이다. 이 영상에서 알 수 있는 것은 SE-EPI 기법이 강한 Frequency Encoding Gradient로 인하여 전두엽 부분에 많은 신호감소를 보였다. SSH-TSE 경우는 Gradient 인가방법과 Single-Shot의 데이터 획득방식으로 인하여 신호 손실이 없는 영상을 획득한 경우이다.

영상의 전반적인 질에 대한 평가는 Fig. 4와 같은 영상으로 두 기법에 등급을 주어 평가를 하였다. 먼저 ADC 영상에서 Ghost Artifact 차이를 확인 할 수가 있다. b=0, 1000에서도 전두엽 쪽에서 발생하여 전반적인 영상의 질적인 측면에서 SSH-TSE 영상에서 우의가 있는 것을 평가한 것이다. 전두엽쪽 GM에 SNR, CNR 값이 떨어지는 결과이기도 하다

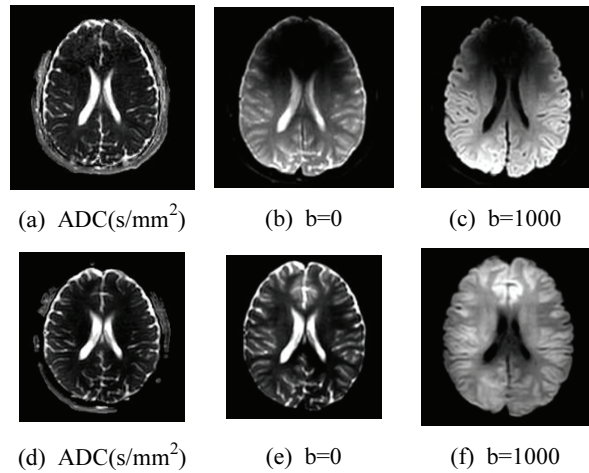


Fig. 3. Magnetic susceptibility artifact with occurring two methods. a, b, c. SE-EPI images(ADC, b=0, 1000), d, e, f. SSH-TSE(ADC, b=0, 1000). SE-EPI image shows a signal los artifact(n/2) at superior Frontal lobe in DWI.

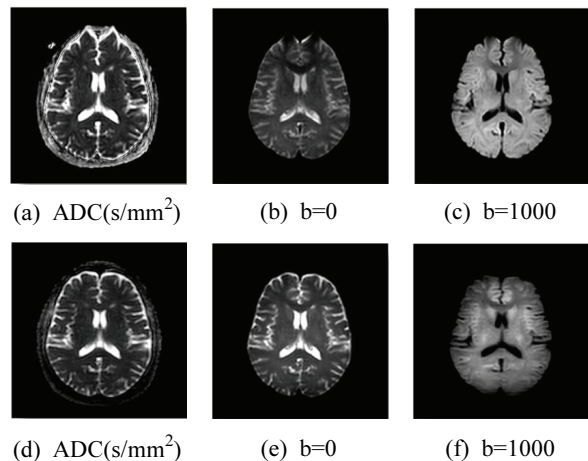


Fig. 4. The results of overall image quality in DWI. a, b, c. SE-EPI images(ADC, b=0, 1000), d, e, f. SSH-TSE(ADC, b=0, 1000). SSH-TSE image show high image quality without ghost artifact including superior frontal lobe in DWI.

앞에서 나타난 결과와 같이 화질 평가에서 SNR과 CNR은 중요한 결정적인 요소이다^[9]. 본 연구를 통해서 발생하는 기법의 차이에 따라 영상의 질이 다르게 나타날 것이라고 생각한다. 이에 각각 기법에 따라 방지대책이 필요할 것이다. 첫째 SE-EPI에서 발생하는 Nyquist ghost artifact 이다^[10]. EPI Pulse Sequence를 사용할 때 K-space를 채워가면서 위상

부호화를 단계에 대하여 echo가 중심점에서 약간씩 이동되어져 나타나는 인공물이다. Wide Receive Bandwidth를 사용하여 인공물을 제거할 수 있으며 보통 임상에서 16 khz을 62.5 khz로 대처하여 사용한다. 또한 Phase Correction Algorithm을 사용하여 인공물을 다소 제거하기도 한다. 현재 임상에서는 초고속 EPI 영상기법에 내재되어 있는 인공물들을 제거하는 보정방법인 위상보정방법과 주자장의 균일성, 자화율의 변화 등에 민감도가 많이 개선되어 Nyquist Artifact 발생률이 현저히 떨어진 것으로 진행되고 있다. 둘째로 정성적 분석에서 나타나는 Susceptibility artifact이다^[11]. 조직의 자화정도를 나타내는 현상으로 본 연구 기법에서 잘 나타나는 현상이다. 조직의 자화율에 따른 경계면에서 자화율의 차이로 인하여 국소자기장이 왜곡되어 세차 주파수와 위상의 차이를 유발시켜 세기를 다르게 되고 신호의 중심이 TE에서 벗어나 경계면에서의 신호의 감소 또는 증가를 초래하는 현상으로 전두엽, 측두엽 등 본 연구에서 공기와 지방 물과 지방물과 공기 부위에서 나타났다. 이러한 부위에서 영상의 질적 측면에서 SNR, CNR 이 떨어져 발생하였다. 또한 이러한 현상은 자기장의 강도가 높으면 높을 수록 심하게 나타나기 때문에 낮은 자기장을 권장한다. 펄스시퀀스의 경우는 GE 보다는 SE를 일반적으로 임상에서는 가능한 180도 Refocusing Pulse를 권장하며 반대로 GE는 자화감수성을 이용하여 Small Hematoma을 진단하는데 이용한다. 저자는 두 기법에 대한 특징적인 장점이 있다는 것을 알았다. CT 검사에서 잘 보이지 않는 Skull Base부위에 있는 질환이 있는 경우^[12], 뇌경색의 환자의 경우 Fig. 5에서 알 수 있듯이 ADC 영상과 b= 1000값에서 SE-EPI 영상(Low Signal, (a))과 SSH-TSE 영상(High Signal, (f))에서 뚜렷하게 확인할 수가 있었다.

따라서 정량적 분석에서는 일반적으로 SE-EPI 기법이 우위의 값이 나왔지만 뇌경색을 대상으로 평가했을 때 크게 차이가 있다고 할 수 없었다. 또한 정성적 평가에서 전반적인 영상의질, 자화율의 차이, Ghost Artifact를 비교해 볼 때 임상적 스캔 Level로서 전두엽, 측두엽 주변부에서의 병변에서는 고려할 부분으로 평가를 할 수 있었다. 이에 본 연구에 제한점이 있다면 다양한 질환을 대상으로

평가하지 못한 점이였다. 향후 이러한 점을 고려하여 후속 연구를 통해 본 연구의 질을 높일 계획이다.

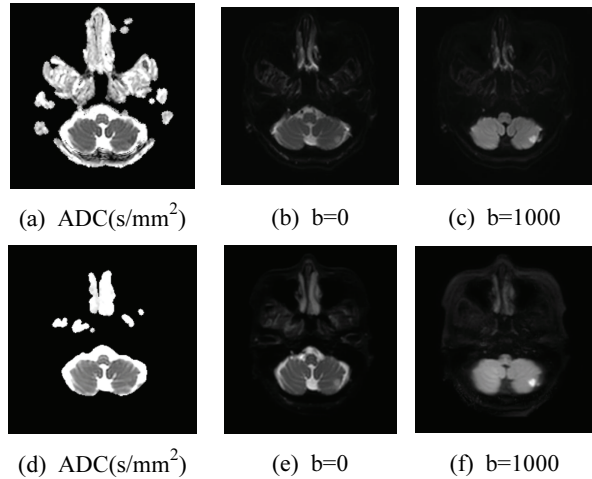


Fig. 5. Diffusion weighted MRI. SE-EPI images(a, b, c), SSH-TSE image(d, e f). Infarction of ADC and b= 1000 image show high signal intensity in cerebellar infarction and low signal intensity b =0.

V. CONCLUSION

본 연구 결과 두 기법에 대한 데이터 분석 결과 정량적 평가 부분에서는 SE-EPI 기법이 높게 나타났으며 정성적 평가에서는 SSH-TSE가 높게 나타났다. 따라서 자기장의 세기와 병변에 위치에 고려하여 펄스시퀀스를 선정한다면 진단적인 정보를 제공하는데 기초자료로 제공될 것이다.

Reference

- [1] G. Widmann, B. Henninger, C. Kremser, W. Jaschke, "MRI Sequences in Head & Neck Radiology - State of the Art", *RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Vol. 189, No. 5, pp. 413-422, 2017. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0043-103280>
- [2] S. C. Partridge, N. Nissan, H. Rahbar, A. E. Kitsch, E. E. Sigmund, "Diffusion-weighted breast MRI: Clinical applications and emerging techniques", *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 45, No. 2, pp. 337-355, 2017. <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.25479>
- [3] M. Schlamann, "Diffusionsgewichtung in der

- Neuroradiologie", *Radiologe*, Vol. 51, No. 3, pp. 180-185, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00117-010-2058-x>
- [4] Andrea Romano, Alessandro Bozzao, Michela Bonamini, Fabrizio Fasoli, Michele Ferrante, Roberto Floris, Claudio Colonnese, Luigi Maria Fantozzi, "Diffusion-weighted MR Imaging: clinical applications in neuroradiology", *La Radiologia Medica*, Vol. 106, No. 5-6, pp. 521-548, 2003.
- [5] Soan T. M. Duong, Son L. Phung, Abdesselam Bouzerdoun, Mark M. Schira, "An unsupervised deep learning technique for susceptibility artifact correction in reversed phase-encoding EPI images", *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 71, pp. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2020.04.004>
- [6] Angela Albi, Antonio Meola, Fan Zhang, Pegah Kahali, Laura Rigolo, Chantal M W Tax, Pelin Aksit Ciris, Walid I Essayed, Prashin Unadkat, Isaiah Norton, Yogesh Rathi, Olutayo Olubiyi, Alexandra J Golby, Lauren J O'Donnell, "Image Registration to Compensate for EPI Distortion in Patients with Brain Tumors: An Evaluation of Tract-Specific Effects", *Journal of Neuroimaging*, Vol. 28, No. 2, pp. 173-182, 2018. <https://doi.org/10.1111/jon.12485>
- [7] A. Nozaki, "Single shot fast spin echo (SSFSE)", *Nihon Rinsho*, Vol. 56, No. 11, pp. 2792-2797, 1998.
- [8] G. Schuierer, P. Reimer, T. Allkemper, P. E. Peters, "Fast and ultra-fast MRI of the brain", *Radiologe*, Vol. 35, No. 12, pp. 894-901, 1995.
- [9] A Y Oner, H Celik, T Tali, S Akpek, N Tokgoz, "Thin-section diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the brain with parallel imaging", *Acta Radiologica*, Vol. 48, No. 4, pp. 456-463, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1080/02841850701297506>
- [10] Jessica A McKay, Steen Moeller, Lei Zhang, Edward J Auerbach, Michael T Nelson, Patrick J Bolan, "Nyquist ghost correction of breast diffusion weighted imaging using referenceless methods", *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 81, No. 4, pp. 2624-2631, 2019.
<https://doi.org/10.1002/mrm.27563>
- [11] Toshiyuki Okubo, Shigeki Aoki, Osamu Abe, Yoshitaka Masutani, Kuni Ohtomo, Masaaki Hori, Keiichi Ishigame, Tsutomu Araki, "Principles of diffusion-weighted MR imaging and application to clinical neurology", *Rinsho shinkeigaku*, Vol. 44, No. 11, pp. 954-956, 2004.
- [12] J. W. Casselman, "The skull base: tumoral lesions", *European Radiology*, Vol. 15, No. 3, pp. 534-542, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00330-004-2532-9>

자기공명확산강조영상에서 SE-EPI 와 SSH-TSE 기법을 이용한 영상의 질 평가

구은희

청주대학교 보건의료과학대학 방사선학과

요 약

본 연구의 목적은 뇌 자기공명영상에서 확산강조 검사에 대한 SE-EPI 기법과 SSH-TSE 기법에 대한 영상의 질을 알아보려고 한다. MRDWI 검사를 시행한 환자를 무작위로 선정한 PACS 전송 데이터 35명 중 정상 남자 12명, 정상 여자 13명, 뇌경색 10명 중 남자 5 여자 5, 평균나이 68 ± 7.32 를 대상으로 데이터를 분석하였다. 사용된 장비는 Ingenia CX 3.0T을 사용하였고 데이터 획득을 위하여 SSH-TSE, SE-EPI 펄스시퀀스와 32 Channel Head Coil를 이용하였다. 영상평가는 paired t-test와 Wilcoxon 검정을 하였으며 p 값이 0.05 이하 일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다. DWI 영상에 대한 SNR대한 정량적 분석 결과 ADC(s/mm²), Diffusion b =0, 1000영상에서 4 부위(WM, GM, BG, Cerebellum)의 평균 및 표준편차 값이 SE-EPI기법(ADC:120.50 ± 40, b=0: 54.50 ± 35.91, b=1000: 91.61 ± 36.63)이 SSH-TSE(ADC:99.69 ± 31.10, b=0: 43.52 ± 25.00, b=1000: 60.74 ± 24.85) 보다 높게 나타났다(p<0.05). GM-WM, BG-WM 부위에 대한 CNR 값 또한 SE-EPI기법(ADC:116.08 ± 43.30, b=0: 27.23 ± 09.10, b=1000: 78.50 ± 16.56)이 SSH-TSE(ADC:101.08 ± 36.81, b=0: 23.96 ± 07.79, b=1000: 74.30 ± 14.22) 보다 높게 나타났다(p<0.05). 관찰자의 시각적 평가로서 SSH-TSE, SE-TSE에 대한 Ghost 인공물, 자화율 인공물, 전반적인 영상의 질 모두 SSH-TSE 기법이 높은 결과를 얻었다(ADC:3.6 ± 0.1, 2.8 ± 0.2, b=0: 4.3 ± 0.3, 3.4 ± 0.1 b=1000: 4.3 ± 0.2, 3.5 ± 0.2, p=0.000). 결론적으로, SSH-TSE, SE-EPI를 사용한 SNR, CNR 측정에서 SE-EPI 기법이 우위의 결과를 얻었다. 정성적 분석에서는 펄스시퀀스 특성에 따라 SSH-TSE 펄스시퀀스가 높은 결과를 얻었다.

중심단어: MRDWI, SSH-TSE, SE-EPI.

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	구은희	청주대학교 보건의료과학대학 방사선학과	교수