Journal of Radiation Industry 11(4) : 227~233(2017)

1.5T와 3.0T MRI 검사실 문의 개폐에 따른 소음 및 영상에 대한 MR 펄스시퀀스 측정

안효웅[1] · 문정현[1] · 이다인[1] · 이태희[1] · 정진경[1] · 권대철[1,*]

[1]신한대학교 보건과학대학 방사선학과

Measurement of MR Pulse Sequence for Acoustic Noise and Image Quality of Opening and Closing Door in 1.5T and 3.0T MRI Scanning Room

Hyo Woong Ann[1], Jeong Hyeon Moon[1], Da In Lee[1], Tae Hee Lee[1], Jin Gyung Jeong[1] and Dae Cheol Kweon[1,*]

[1]*Department of Radiological Science, College of Health Science, Shinhan University, Republic of Korea*

Abstract - The acoustic noise was measured and images were evaluated in TSE (turbo spin echo), GE (gradient echo) and FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) pulse sequences according to the opening and closing of the MR test room of 1.5T and 3.0T. The 1.5T and 3.0T MR and the ACR phantom were used to measure the noise due to opening and closing of the door according to the pulse sequence. Statistical analysis of the significance test was performed using paired t-test. The images were measured by using ImageJ program to measure SNR, PSNR, RMSE, and MAE. At 1.5T the average acoustic noise is when the room door is opened TSE (61.75 dB), FLAIR (57 dB) and GE (48.7 dB) when the door was closed. At the time of opening the 3.0T room, TSE (88.35 dB), FLAIR (74.85 dB), GE (67.1 dB), TSE (60.4 dB), FLAIR (59.8 dB) and GE (46.7 dB) were closed when the door was opened. When closed, the acoustic noise reduction was decreased from 1.5T to 27.4% for GE, 25.9% for TSE, 22.6% for FLAIR, 46.2% for TSE, 43.6% for GE, and 25.1% ($p < .05$), and the pulse sequence according to the noise was statistically significant ($p < .05$). In the ACR phantom image, PSNR was 32.189 dB at 1.5T, 3.0T was 30.361 dB, and RMSE and MAE were 11.183, 6.361, and 3.0T, respectively, at 33.43 and 21.475. 1.5T, GE, TSE, FLAIR, 3.0T, TSE, GE, and FLAIR, respectively, and noise reduction was confirmed when the door was closed.

Key words : Acoustic noise, MRI, Pulse sequence

서 론

MRI (magnetic resonance imaging)는 현대의학에서 인체에 비침습성으로 통증 없이 질병의 진단으로 이용이 많이 되고 있는 검사 기기로 X선 검사 및 CT와는 달리 비전리 방사선인 RF (radiofrequency)를 이용하는 검사로 환자에게는 위해 하지 않는 장점이 있다. MRI는 자기장과 RF를 이용해 연부조직의 대조도가 뛰어나고 양성자(proton)를 함유한 조직의 특성을 수학적인 Fourier 변환을 처리하여 영상

* Corresponding author: Dae Cheol Kweon, Tel. +82-31-870-3416, Fax. +82-31-870-3419, E-mail. dckweon@shinhan.ac.kr

을 획득하여 양성자를 함유한 인체조직의 생화학적 특성에 관한 정보를 획득 할 수 있어 임상진단에 많이 이용되고 있다(Han *et al*. 2016). 이러한 MRI 검사실의 환경에 따라 환자에게 많은 영향을 미치므로 적절한 기구와 환경을 적용하여 환자의 검사에서 부작용이 발생하지 않도록 최적의 환경을 조성하여 검사하도록 해야 한다(Periyasamy *et al*. 2015; Shellock *et al*. 2015; Kim *et al*. 2016).

검사에서 발생하는 소음으로 환자에게 피해를 준다는 단점을 가지고 있다. MRI는 자기장의 방향과 세기를 조절하는 경사자장(gradient) 코일에 전류를 흘려 보내 자기장을 발생시킨다. 그때 짧은 시간 동안 많은 전류와 방향을 바꾸어 흐르면서 진동이 발생하면서 소음이 발생하게 된다. 이러한 소음은 스트레스를 유발시키기도 하며 이에 연관성이 있는 질환은 불안민감성, 소음민감성, 폐쇄공포증 등이 있다(Ye *et al*. 2015). 검사에서 발생하는 큰 소음은, 영상 획득 과정에서 약 65~90 dB의 소음이 발생하고 있으며 최근 임상에서 많이 검사에 적용되고 있는 3T MRI의 경우에는 130 dB에 이르는 소음을 발생하고 있다(Park *et al*. 2008). 밀폐된 공간에서 MR 검사시간에는 움직이지도 못함으로 인해 불안감을 조성하여 문제를 발생할 수 있다. 폐쇄공포증은 밀폐된 공간이나 좁은 공간에 들어갔을 때 심장 박동수가 빨라지고, 호흡곤란 또는 흥분되어 불안한 감정이 유발되어 공간에 오랫동안 머무를 수 없는 증상으로 인해 스캔을 중단하는 경우가 발생한다(Lee *et al*. 2014).

1.5T와 3.0T의 MR 기기를 이용하여 MR 검사실의 문의 개폐에 따라 TSE (turbo spin echo), GE (gradient echo), FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) 펄스시퀀스에서 검사 중에 발생하는 소음을 측정하고 스캔 영상을 비교하여 평가하여 환자 검사에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. MR 펄스시퀀스 스캔

MRI 검사에 펄스시퀀스에 따른 소음과 영상을 평가하기 위해 1.5T 및 3.0T MRI (Philips Achieva Rel.2.6, The Netherlands) 기기와 검사실 문의 개폐에 대한 소음기(ACO-6224, Japan)로 소음을 측정하였다(Fig. 1). MR 펄스시퀀스는 TSE (turbo spin echo), GE (gradient echo), FLAIR (fluid attenuated inversion recovery)로 스캔하여 소음의 최솟값과 최댓값을 측정하여 영상을 비교 평가하였다. 스캔은 ACR (American College of Radiology) QA팬텀으로 공간분해능 영상을 스캔하여 획득하였다.

MR parameter는 1.5에서 TSE 펄스시퀀스에서 WFS (0.999 pix), bandwidth (217.5 Hz), TR (5069 ms), TE (100 ms), matrix (256×256), slice thickness (3 mm), FOV (240 mm), GE 펄스시퀀스는 (1.002 pix), bandwidth (216.9 Hz), TR (837 ms), TE (25 ms), matrix (256×256), slice thickness (3 mm), FOV (240 mm), FLAIR은 (0.873 pix), bandwidth (248.8 Hz), TR (6383 ms), TE (50 ms), matrix (300×180), slice thickness (5 mm), FOV (240 mm)로 스캔하였다(Table 1). 3.0T MR에서 TSE 펄스시퀀스는 WFS (1.991 pix), bandwidth (218.1 Hz), TR (3000 ms), TE (100 ms), matrix (256×256), slice thickness (3 mm), FOV (240 mm), GE 펄스시퀀스는 (2.002 pix), bandwidth (217 Hz), TR (760 ms), TE (16 ms), matrix (256×256), slice thickness (3 mm), FOV

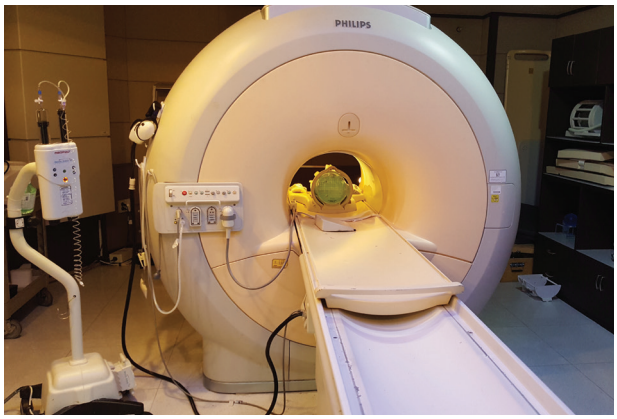

Fig. 1. ACR phantom with the MRI scanning.

Table 1. 1.5T MRI pulse sequence parameters

Sequence	WFS (pix)	BW (Hz)	TR (ms)	TE (ms)	Matrix M×P	Slice thickness (mm)
TSE	0.999	217.5	5069	100	256×256	3
GE	1.002	216.9	837	25	256×256	3
FLAIR	0.873	248.8	6383	50	300×180	5

Table 2. 3.0T MRI pulse sequence parameters

Sequence	WFS (pix)	BW (Hz)	TR (ms)	TE (ms)	Matrix M×P	Slice thickness (mm)
TSE	1.991	218.1	3000	100	256×256	3
GE	2.002	217	760	16	256×256	3
FLAIR	1.37	317	9727	120	368×216	5

(240 mm), FLAIR은(1.37 pix), bandwidth (317 Hz), TR (9297 ms), TE (120 ms), matrix (368×216), slice thickness (5 mm), FOV (240 mm)로 스캔하였다(Table 2).

2. 소음측정 및 영상평가

1.5T와 3.0T MR 검사실 문에서 소음기를 바닥에서 60 cm의 위치에서 검사실 문의 개폐에 따라서 펄스시퀀스에 따른 소음의 최솟값, 최댓값, 평균값을 산출하였다(Fig. 2). ACR팬텀의 공간분해능 영상 평가를 위해 ImageJ 프로그램(NIH, Bethesda, MD, USA)을 이용하여 SNR (signal to noise ratio), PSNR (peak signal noise to ratio), RMSE (root mean square error), MAE (mean absolute error)를 산출하여 검사실의 개폐에 따른 영상을 비교하였다.

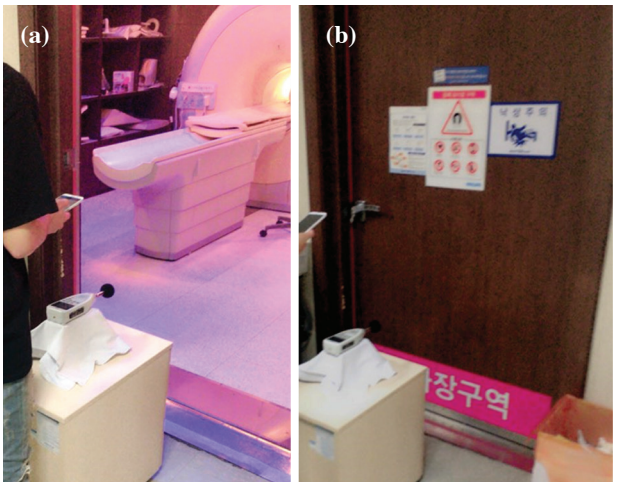

Fig. 2. Measurement of TSE pulse sequence sound noise according to opening (a) closing of door (b) of MRI room.

MR 영상을 평가하기 위한 통계적 프로그램 SPSS (Version 18, IBM, NY, USA)를 이용하였고, 검사실 문의 개폐에 따른 대응표본 t-검증(paired t-test)을 적용하여 통계처리를 시행하였고, 통계적 유의수준은 $p<.05$로 설정하였다. 통계적으로 유의한 것은 Duncan test로 구체적인 차이를 분석하였다.

결 과

1.5T와 3.0T MRI 검사실 문의 개폐에 따라 TSE, GE, FLAIR 펄스시퀀스에서 발생하는 소음 및 영상을 비교하였다. 1.5T 검사실 문을 열었을 때 소음의 평균은 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 77.75, 69.9, 62.05 dB 순으로 측정되었고, TSE 펄스시퀀스가 소음이 가장 높았고, GE 펄스시퀀스가 가장 낮은 소음으로 측정되었다. 검사실 문을 닫았을 때의 소음의 평균은 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 61.75, 57, 48.7 dB 순으로 측정되어, TSE 펄스시퀀스가 가장 높게 측정되었고, GE 펄스시퀀스가 가장 낮은 소음으로 측정되었다(Table 3). 3.0T 검사실 문을 열었을 때 소음의 평균은 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 88.35, 74.85, 67.1 dB 순으로 측정되었고, TSE 펄스시퀀스가 가장 높았고, GE 펄스시퀀스가 가장 낮은 소음으로 측정되었다. 검사실 문을 닫았을 때의 소음의 평균은 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 60.4, 59.8, 46.7 dB 순으로 측정되었고, TSE 펄스시퀀스가 소음이 가장 높았고, GE 펄스시퀀스가 가장 낮은 소음으로 측정되었다(Table 4). MR 검사실의 문의 개폐에 따른 펄스시퀀스의 소음감소는 1.5T에서 GE (27.4%), TSE

Table 3. MRI scanning door opening and closing in the 1.5T (unit: dB)

Pulse sequence	Door	Minimum	Maximum	Mean	Acoustic noise reduction (%)	*p*-value
TSE	Opening Closing	72.5 60.1	83 63.4	77.75 61.75	25.9	$p<.05$
GE	Opening Closing	60.7 47.2	65.3 50.2	62.05 48.7	27.4	$p<.05$
FLAIR	Opening Closing	55.8 52.8	84 61.2	69.9 57	22.6	$p<.05$

Table 4. MRI scanning door opening and closing in the 3.0T (unit: dB)

Pulse sequence	Door	Minimum	Maximum	Mean	Acoustic noise reduction (%)	*p*-value
TSE	Opening Closing	84.7 56.6	85.7 64.2	88.35 60.4	46.2	$p<.05$
GE	Opening Closing	61.4 43.8	72.8 49.6	67.1 46.7	43.6	$p<.05$
FLAIR	Opening Closing	61.8 54.1	87.9 65.5	74.85 59.8	25.1	$p<.05$

(25.9%), FLAIR (22.6%) 순으로 감소하였고, 3.0T에서는 TSE (46.2%), GE (43.6%), FLAIR (25.1%) 순으로 검사실의 문을 닫았을 때 소음의 감소효과가 있었다. MR 검사실의 문의 개폐여부에 따른 펄스시퀀스에 따라 소음은 유의한 차이가 있는 것으로 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p < .05$). MR 펄스시퀀스에 따른 각각의 소음의 평균을 비교하여 나타내었고 (Fig. 3), 1.5T와 3.0T에서 최댓값 및 최솟값과 평균을 비교하여 보여주고 있다 (Fig. 4).

ACR 팬텀을 영상을 획득하여 (Fig. 5), MR 영상의 비교를 위해 ImageJ를 이용하여 SNR, PSNR, RMSE, MAE에 대한 비교에서 문을 닫고 스캔 영상을 기준으로 하여 문을 닫고 한 영상을 비교영상과의 비교하였다 (Fig. 6). ImageJ 프로그

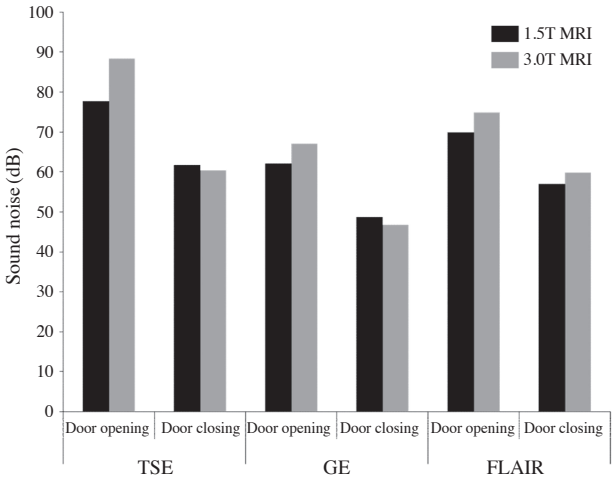

Fig. 3. Comparison between 1.5T and 3.0T. Graph showing mean sound noise in the 1.5T and 3.0T MRI TSE pulse sequence.

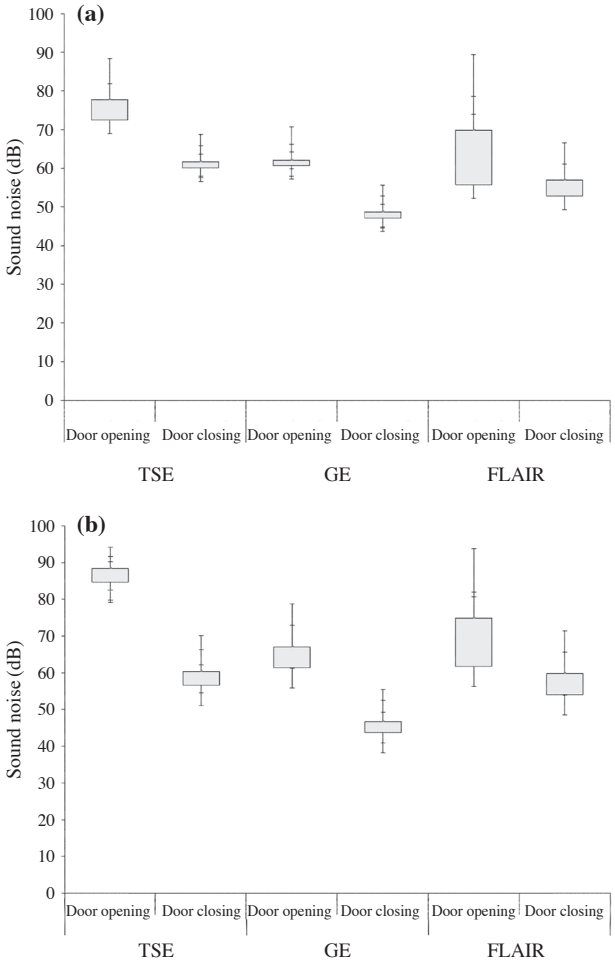

Fig. 4. The graph represents the maximum, minimum and mean values for sound noise in the 1.5T (a) and 3.0T (b) of the MRI TSE pulse sequence.

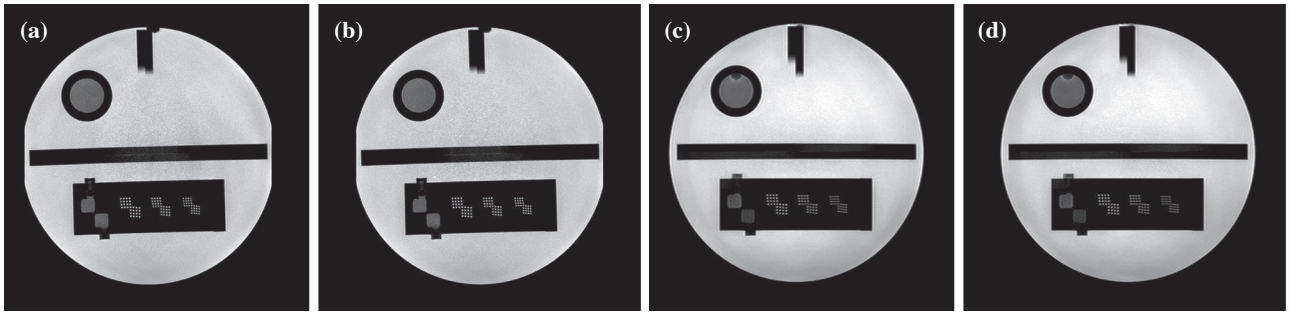

Fig. 5. 1.5T MRI scanning with the ACR phantom in the spatial resolution image of TSE pulse sequence in the closing door (a), opening door (b) and 3.0T MRI closing door (c), opening door (d) MRI scanning room.

Table 5. SNR, PSNR, RMSE and MAE in the TSE pulse sequence of 1.5T and 3.0T MRI

MRI	Reference image	Test image	SNR (dB)	PSNR (dB)	RMSE	MAE
1.5T	Close	Open	25.242	32.189	11.183	6.361
3.0T	Close	Open	24.119	30.161	33.43	21.475

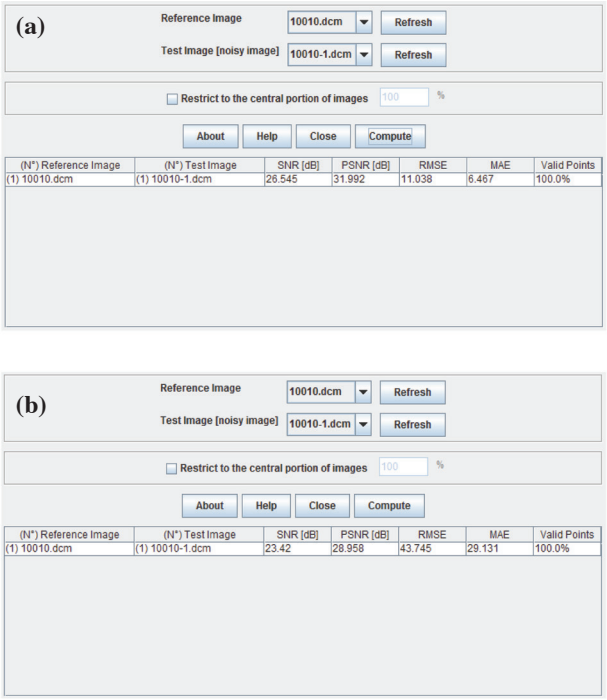

Fig. 6. 1.5T and 3.0T MRI compute data of SNR, PSNR, RMSE, MAE in the TSE pulse sequence.

램에서 측정된 PSNR은 1.5T에서 32.189 dB, 3.0T는 30.361 dB로 측정되었다. RMSE와 MAE는 1.5T에서 11.183, 6.361 이었고, 3.0T는 33.43, 21.475로 측정되었다(Table 5).

고 찰

MRI 검사는 질병의 진단을 위해 대중적으로 이용되고 있으며, 인체에 비침습성으로 검사 시 통증이 없다. 하지만 소음으로 인해 심리적 불안감과, 스트레스, 공포감을 느꼈다는 환자의 사례들은 손에 꼽을 수 없을 정도로 많다. 이러한 이유는 밀폐된 공간에서 촬영을 하고, 검사하는 동안 움직일 수 없으며, 영상을 획득하는 과정에서 소음이 발생한다. 좁은 공간과 소음은 MRI 검사 중 불안 요인으로 작용하며 폐쇄공포로 인하여 MRI 스캔을 중단하는 경우가 6.5% 이상에서 발생 한다(Nazemi *et al*. 2003). 또한 MR 검사를 완료하기 위하여 소아환자 및 성인환자에게 진정제 등을 투여하기도 한다(Francis *et al*. 2000). MR 검사 중 불안을 느끼게 되면 심박동이 빨라지고, 가슴이 두근거리며 숨이 가빠지고 답답해짐을 느낄 수 있다. MRI 검사 이후에는 영구적으로 폐쇄공포증이 발생하는 환자도 있으며, 오랜 기간 동안 정신적 치료를 받는 경우도 보고되고 있다. 또한 소음은 스트레스를 유발시키는 요인인자이며 심장 박동수를 증가시키고 혈압을 상승시킨다(McGlynn *et al*. 2007). 따라서 폐쇄공포증 환자나, 어린아이, 노인들 같은 경우는 MRI 촬영을 무사히 마치지 못하고 중단되는 경우가 허다하다. 또한 MR 검사에 장시간 노출될 경우 일시적으로 청각손실을 유발할 수 있다. 이 같은 소음을 줄이기 위해 환자에게 귀마개나 귀를 보호하는 기구를 사용하도록 하지만, 소음의 저감 효과는 고주파수 대역의 소음에만 한정 되고 있다. 또한 소음으로 인해 촬영 중에 환자의 움직임을 발생시킬 가능성이 높고, 그로 인해 영상에 지장을 초래할 수 있다. 이 소음을 줄이기 위해서 우선적으로 환자에게 할 수 있는 조치는 귀마개 또는 체감적으로 MRI 소음을 줄일 수 있도록 그에 상응하는 음악을 재생해주는 헤드셋을 제공하여 적절하게 일시적으로 검사에 착용하는 것이 가장 중요하며, 검사실 문은 항상 폐쇄해야 한다.

1.5T에서 평균소음은 검사실 문을 열었을 때 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 77.75, 69.9, 62.05 dB로 TSE가 가장 높게 측정되었고, 검사실 문을 닫았을 때 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 61.75, 57, 48.7 dB로 GE 펄스시퀀스가 가장 적게 측정되었었다. 3.0T 검사실 문을 열었을 때 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 88.35, 74.85, 67.1 dB, 검사실 문을 닫았을 때 TSE, FLAIR, GE 펄스시퀀스가 60.4, 59.8, 46.7 dB로 자기장이 높은 3.0T가 1.5T에 비해 소음이 높게 측정되었다. 기존 소음에 대한 보고에서는 TSE가 100 dB로 보고되어 있으나 본 연구에서는 검사실 문을 열었을 때 3.0T에서는 88.35 dB로 가장 높게 측정되었다. TSE 펄스시퀀스 다른 시퀀스에 비해 SNR을 증가하지만 소음을 유발하고 있어 소음을 감소하는 노력을 하고 있다(Pierre *et al*. 2014). 기존 연구는 보어 안에 소음기가 위치하였고, 본 연구에서는 소음기가 검사실문 밖에 위치하여 낮게 측정된 것으로 생각된다(McJury *et al*. 1995). 이러한 소음의 증가는 주로 높은 strength field ($B_0 > 1.5$ T) 및 고성능 switching gradient와 최대 진폭 및 slew rate에 영향을 준다(Price *et al*. 2001). 본 연구에서도 자장의 게기가 1.5T에 비해 3.0T가 높게 측정되었다. 검사실 문의 닫았을 때의 소음감소는 1.5T에서 GE (27.4%), TSE (25.9%), FLAIR (22.6%), 3.0T에서는 TSE (46.2%), GE (43.6%), FLAIR (25.1%) 소음이 감소하였다.

실험에서 3.0T의 문을 열고 소음을 측정했을 때 88.35 dB에 근접하는 소음 수치가 환자들에게 많은 불안감을 조성할 수 있으므로 이에 대한 적절한 조치가 필요해 보인다. 필수적으로 문은 차폐가 완벽한 문틈으로 소음이 새어나지 않도록 방음시설이 필요하다. 또한 환자에게는 차폐기구를 시용하도록 한다.

이러한 실험 결과로 인해 GE 시퀀스는 빠른 스캔시간과 환자에게 비교적 적은 소음 영향을 끼쳐 피해를 덜 주거나 불안감과 공포가 덜 조성되는 긍정적 영향을 미칠 수 있으나 자기장의 불균일을 보정하지는 않으므로 결과적으로 에

코에 매우 많은 T2*정보가 나타날 수 있는 반대적 영향도 미칠 수 있다.

MR 스캔 영상에서 PSNR은 영상의 화질을 측정하는 기본으로 1.5T는 32.189 dB, 3.0T는 30.361 dB로 측정되어 영상의 차이가 없었다. 일반적으로 PSNR이 30 dB 이상이면 임상적으로 영상에 대한 질적 차이를 구분할 수 없으며(Masuda *et al*. 2001), PSNR이 높을수록 영상의 질이 좋게 평가된다. 대부분의 MR 영상은 재구성된 MR 영상의 SNR에 의해 제한된다. 특히, SNR이 20 dB 이상 증가한 경우 MR 영상 진단의 진단에는 임상적으로 중요하지 않다(Hayes *et al*. 1990; Roemer *et al*. 1990). 영상의 이득 비율(gain rate)이 증가하므로 이미지 비용 및 모션을 줄이는 데 사용된다. 또한 PSNR이 20 dB 이상이 되면 임상진단에 영상의 차이가 없다는 보고도 있다(Masuda *et al*. 2001). 영상의 비교에서 MSE는 픽셀 차이의 제곱으로 표시되며 왜곡이 클수록 값이 커진다. MSE의 제곱근은 RMSE를 사용한 픽셀 오차 크기로 표현되며 객관적인 이미지 품질의 척도를 비교하는 데 유용하다. 본 연구에서는 1.5T에서 3.0T로 자기장이 증가함에 따라 RMSE가 1.5T (11.038)에서 3.0T (43.745)로 증가했다. 이러한 소음에 대하여 방사선사가 할 수 있는 몇 가지 조치들로는 MRI 소음을 발생시키는 근본적인 원인으로 펄스파형을 분석하여 특성에 기인하는 소음을 제어하기 위해서는 코일에 입력되는 전기신호자체를 참조신호로 이용하여 능동소음제어를 실시 해야 하는 분석적 연구가 필요하며, 능동소음제어 방법의 알고리즘의 안전성 및 수렴성에 대해 분석해야 한다(Lee *et al*. 2014). MR 검사에서 기존에 측정하여 보고된 소음 수준은 환자의 귀 보호 착용 필요성과 MR 검사실에 있는 방사선사는 환자의 불편 해소와 MR 영상의 질을 유지하기 위해 소음 노출을 줄이고 문을 차폐하여 안전하게 검사하도록 해야 한다(Price *et al*. 2001)

소음의 원인을 제어하고자 하는 연구, 소음 발생 후 이를 수동적으로 제어하고자 하는 연구, 능동적으로 제어하고자 하는 연구가 있다(Hennel *et al*. 1999). 적응제어란 특성이 충분히 인지되어 있지 않은 제어 대상 또는 조업 중에 특성이 변동하는 제어대상에 대하여 controller를 자동적으로 적응시켜 통상의 피드백 제어보다도 높은 성능을 얻는 것을 목적으로 하는 제어방식이다. 또한 MPP (micro-perforated panel)을 이용하여 소음을 흡입하는 기술이 적용되고 있다(Li *et al*. 2010)

외부의 RF가 특정 주파수로 실내에 들어와서 환자 몸에서 나오는 본래 약한 신호에 간섭하게 되면 zipper 인공물이 발생하게 되는데 원인은 실내 RF 차폐에 누출로 발생한다. 이러한 zipper 인공물은 영상에 진한 선으로 나타나 영상을 판독하는데 나쁜 영향을 미치므로 방사선사는 인공물이 발생하지 않게 적절한 조치를 해야 한다(Yanasak *et al*. 2014).

MR 기술에 대한 발전이 된다면 소음과 영상에 나쁜 영향을 미치는 인공물을 줄이는 펄스시퀀스를 개발과 함께 MR 검사에서 펄스시퀀스에 따른 환자에게 소음의 영향을 줄이는 노력과 함께 소음 감소에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결 론

MR 검사실 문의 개폐에 따른 펄스시퀀스의 소음감소는 1.5T에서 GE, TSE, FLAIR 순으로 감소하였고, 3.0T에서는 TSE, GE, FLAIR 순으로 검사실의 문을 닫았을 때 소음의 감소효과를 확인하였다. 소음이 미치는 영향은 매우 크기 때문에 방사선사는 환자에 따른 질환의 세부사항과 특이사항 등을 잘 숙지하고 검사하도록 하고 인공물을 예방하도록 해야 한다.

참 고 문 헌

Francis JM and Pennell DJ. 2000. Treatment of claustrophobia for cardiovascular magnetic resonance: use and effectiveness of mild sedation. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* **2**(2): 139-141.

Han YS, Lee SC, Lee DY, Choi J, Lee JW and Kweon DC. 2016. Effects of contrast agent concentration on the signal intensity and turbo factor of TSE and slice-selective IR in T1-weighted contrast imaging. *J. Magn.* **21**(1):115-124.

Hayes CE and Roemer PB. 1990. Noise correlations in data simultaneously acquired from multiple surface coil arrays. *Magn. Reson. Med.* **16**(2):181-91.

Hennel F, Girard F and Loenneker T. 1999. "Silent" MRI with soft gradient pulses. *Magn. Reson. Med.* **42**(1):6-10.

Kim JM, Han AY, Lee HY, Lee SR and Kweon DC. 2016. Measurement of MRI monitor luminance and MRI room illuminance with a light probe. *J. Korean Magn. Soc.* **26**(5):168-172.

Lee N, Park Y and Park YS. 2014. Active noise control for target point inside bore using property of MRI noise. *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.* **24**(1):62-68.

Li G and Mechefske CK. 2010. A comprehensive experimental study of micro-perforated panel acoustic absorbers in MRI scanners. *Magn. Reson. Mater Phys. Biol. Med.* **23**(3):177-18/5.

Masuda J, Nabika T and Notsu Y. 2001. Silent stroke: pathogenesis, genetic factors and clinical implications as a risk factor. *Curr. Opin. Neurol.* **14**(1):77-82.

McGlynn FD, Smitherman TA, Hammel JC and Lazarte AA. 2007. Component fears of claustrophobia associated with

mock magnetic resonance imaging. *J. Anxiety Disord*. **21**(3):367-80.

McJury MJ. 1995. Acoustic noise levels generated during high field MR imaging. *Clin. Radiol*. **50**(5):331-334.

Nazemi H and Dager SR. 2003. Coping strategies of panic and control subjects undergoing lactate infusion during magnetic resonance imaging confinement. *Compr. Psychiatry*. **44**(3):190-197.

Park YH. 2008. Comparison of claustrophobia, noise sensitivity and vital signs according to anxiety sensitivity level before and after MRI. *Korean J. Adult. Nurs*. **20**(6):950-959.

Periyasamy M and Dhanasekaran R. 2015. Interference issuses of radio frequency identification devices in magnetic resonance imaging systems and computed tomography scan. *J. Magn*. **20**(3):295-301.

Pierre EY, Grodzki D, Aandal G, Heismann B, Badve C, Gulani V, Sunshine JL, Schluchter M, Liu K and Griswold MA. 2014. Parallel imaging-based reduction of acoustic noise for clinical magnetic resonance imaging. *Invest. Radiol*. **49**(9):620-626.

Price DL, De Wilde JP, Papadaki AM, Curran JS and Kitney RI. 2001. Investigation of acoustic noise on 15 MRI scanners from 0.2T to 3T. *J. Magn. Reson. Imaging*. **13**(2):288-293.

Roemer PB, Edelstein WA, Hayes CE, Souza SP and Mueller OM. 1990. The NMR phased array. *Magn. Reson. Med*. **16**(2):192-225.

Shellock FG, Woods TO and Crues JV 3rd. 2009. MR labeling information for implants and devices: explanation of terminology. *Radiology* **253**(1):26-30.

Yanasak NE and Kelly MJ. 2014. MR imaging artifacts and parallel imaging techniques with calibration scanning: a new twist on old problems. *Radiographics* **34**(2):532-48.

Ye SY and Kim DH. 2015. Evaluation on the stress using HRV according to elapsed time of MRI noise. *J. Inst. Signal Process Syst*. **16**(2):50-66.

Received: 6 June 2017
Revised: 5 November 2017
Revision accepted: 22 November 2017