

Comparison with 1.5Tesla and 3.0Tesla of Acoustic Noise Spectrum of DWI MR Pulse Sequence

Dae Cheol Kweon,¹ Jiwon Choi^{2,*}

¹Department of Radiological Science, College of Bioecological Health, Shinhan University

²Department of Radiological Science, Jeonju University

Received: July 13, 2018. Revised: August 25, 2018. Accepted: August 31, 2018

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the noise spectra in DWI (diffusion-weighted imaging) pulse sequences of 1.5 Tesla and 3.0 Tesla MRI. The ACR (American College of Radiology) phantom and noise spectrum were analyzed by FFT (fast Fourier transform) and TFFT (temporal frequency analysis) using WavePad sound editor version 8.13 (NCH software, Greenwood Village, CO, USA). Noise spectra, FFT and TFFT were analyzed for laboratory 1.5Tesla and 3.0Tesla DWI MR pulse sequences. The noise threshold of the frequency amplitude in the FFT and TFFT at 3.0Tesla compared to 1.5Tesla was between 1.5Tesla and -6 dB, and between 3.0Tesla and 0 dB, the DWI pulse sequence for the patient's noise reduction was appropriately MR examination needs to be applied.

Keywords: Acoustic noise spectrum, DWI pulse sequence, MRI

I. INTRODUCTION

MRI (magnetic resonance imaging) 는 영상의학의 진단에 대중적으로 이용되고 있고, 급속하게 보급되는 첨단 의료기기로, 조영제를 사용하지 않아도 CT (computed tomography)에 비해 체내 신경계 및 연부조직의 대조도가 뛰어나며 수소원자핵(proton)을 함유하고 있는 조직의 생화학적 특성에 관한 인체의 정보를 얻을 수 있다.^[1] MRI는 환자의 자세 변화 없이 환자의 원하는 방향에 따라 인체에 대해 경사 자장의 x축, y축, z축 방향으로 영상을 획득하는 장점을 가지고 있다.^[2]

MR 검사에서 발생하는 소음은 환자의 불편함과 심리적으로 영향을 미친다. MR 소음은 MRI 장비가 자기장의 방향과 세기를 조절하는 gradient coil에 전류를 흘려보내 자기장을 발생시킨다. 그때 짧은 시간 동안 많은 전류와 방향을 바꾸어 흐르면서 진동이 발생하면서 소음이 발생하게 된다. 높은 레벨의 소음과 관련된 문제는 성가심, 불안 및 환자와 운

전자 간의 구두 통신 장애를 포함한다.^[1,2] 또한, 매우 높은 소음 압력은 청력을 손상시킬 수 있다. 청력 역치의 일시적인 변화는 귀 보호 없이 부적절하게 스캔 한 환자의 43 %에서 보고되었다. 극한의 경우 영구적으로 청력 손상이 발생할 수 있다.^[3-5]

MR 시스템의 작동 중에는 소음이 환자와 의료 종사자들에게 여러 가지 문제를 일으킬 수 있는데, 성가심, 불안감, 언어 의사 소통의 어려움, 일시적인 청력 상실, 그리고 영구적인 청력 손상을 유발 할 수 있다.^[6-9]

Gradient magnetic field는 MR 절차와 관련된 음향 잡음이 소음전류의 급격한 변화 중에 발생한다. 이 전류는 MR 시스템의 정적 자기장이 그라디언트 코일에 작용하는 중요한 힘을 생성하며, 시끄러운 태핑 (tapping), knocking 또는 뽁 소리 (chirping)처럼 들리는 음향 잡음은 힘으로 인해 그라디언트 코일이 장착된 상태에 영향을 줄 때 발생한다.^[10,11] 기존 논문에서는 소음 레벨을 측정하여 보고하였고 MR 검사에서 EPI의 DWI (diffusion weighted imaging)에서

* Corresponding Author: Jiwon Choi

E-mail: jwchoi@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-3260

발표된 보고서는 소리 수준에 실질적인 영향은 없었다.^[1,2]

본 연구 목적은 1.5Tesla와 3.0Tesla의 DWI 펄스 시퀀스를 이용한 MRI 검사에서 노이즈 스펙트럼을 분석하여 MR 검사에서 환자에게 소음감소를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 재료 및 방법

MRI 검사에서 소리 스펙트럼을 측정하여 분석하기 위해 MRI (Philips Achieva Rel.2.6, The Netherlands) 기기에 ACR (American College of Radiology) 팬텀을 이용하여 소음은 sound level meter ACO-6224 (ACO Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하였다.

MR DWI 펄스 시퀀스 스캔의 매개변수는 1.5Tesla에서 DWI 펄스시퀀스에서 WFS (13.2 pix), bandwidth (16.6 Hz), TR (8,451 ms), TE (51 ms), matrix (128), 3.0T는 WFS (13.1 pix), bandwidth (16.9 Hz), TR (8,276 ms), TE (54 ms), matrix (128) 스캔 매개변수는 b-value 1,000 s/mm²로 DWI 펄스 시퀀스의 다이어그램은 Fig. 1에 나타내었다.

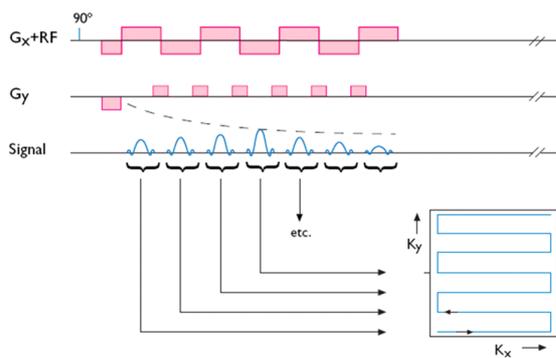


Fig. 1. Schematic diagram of DWI pulse sequence (Philips Medical Systems)

2. 노이즈 스펙트럼

팬텀을 사용하여 스캔하고 소리를 WavePad sound editor version 83.13 (NCH software, Greenwood Village, CO, USA)로 측정하고 소리 스펙트럼의 분석을 위해 FFT (Fast Fourier Transform), TFFT (time based fast

Fourier transform) 는 시간에 따른 주파수에 따른 진폭을 측정하여 분석하였다.

FFT는 DFFT (discrete fast Fourier transform)를 사용하여 현재의 오디오를 분리하여 파형의 선택된 위치를 주파수 성분으로 변환하여 주파수를 분석한다. 주파수 영역에서 스펙트럼을 계산하고 특정 부분의 소리 분석을 수행하는데 이용되고 있는 반면에 TFFT는 오디오 클립의 전체 길이를 대상으로 시간의 경과에 따라 해석하는 그래프로 다양한 분야에 이용되고 있다.^[12,13]

소리 스펙트럼의 FFT 및 시간 기반의 TFFT를 사용하여 DWI MR 펄스시퀀스에서 발생하는 소음의 주파수 노이즈 스펙트럼의 그래프를 분석하였다.

DWI MR 펄스 시퀀스의 노이즈 스펙트럼을 분석하기 위해 MRI는 1.5Tesla와 3.0Tesla MR 기기의 카우치에 소음기를 위치하고 측정하였다.

III. RESULTS

DWI 펄스시퀀스에서 발생하는 소리 스펙트럼의 FFT 그래프는 오디오의 소량의 샘플을 가지고 주파수 (x-축, Hz 단위)와 강도 (y-축, dB 단위)를 나타내는 그래프로 표시하였다. 스테레오 오디오의 경우 2개의 선, 모노의 경우 1개의 선이 표시된다.^[12,13]

소리 스펙트럼은 WavePad 프로그램을 이용하여 시간 및 주파수의 각 위치에서 진폭의 강도는 dB의 값으로 -128 dB과 0 dB 사이로 산출된다. 노이즈 스펙트럼의 TFFT 그래프는 오디오 스펙트럼 주파수의 강도를 시간의 경과를 바탕으로, 색상의 강도로 표현되어 표시한다. 그래프에서 x축은 시간과 오디오 선택의 길이를 나타내고, y축은 주파수 (Hz 단위)와 특정 시간 오디오 스펙트럼을 표시한다.^[12]

1.5Tesla DWI MR 펄스 시퀀스에서 소리 스펙트럼 및 FFT와 TFFT 그래프를 Fig. 2에서 나타내었고, Fig. 3은 3.0Tesla로 소리 스펙트럼 및 FFT와 TFFT를 표시하였다. 1.5Tesla에 비해 3.0Tesla에서 주파수 진폭의 범위가 증가하였다.

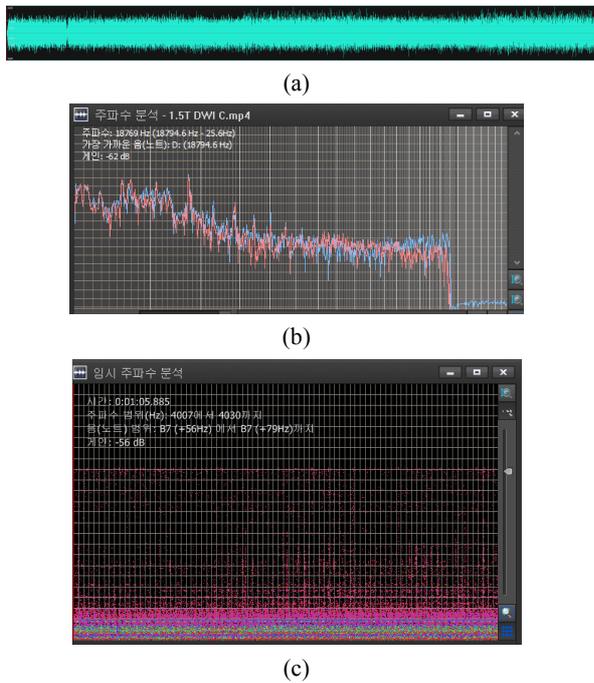


Fig. 2. Frequency spectra for induced acoustic noise generated by DWI pulse sequence (a) FFT (b) and TFFT (c) for acoustic noise in the 1.5Tesla of the MRI DWI pulse sequence.

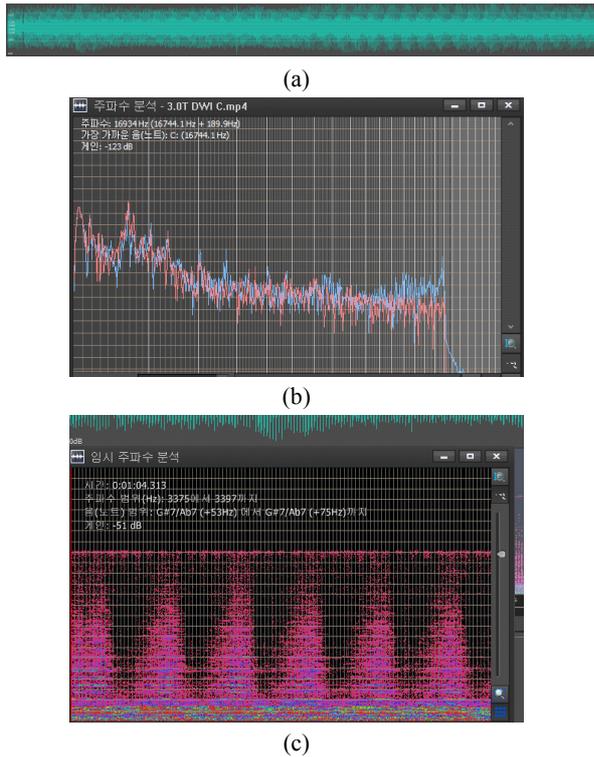


Fig. 3. Frequency spectra for induced acoustic noise generated by DWI pulse sequence (a) FFT (b) and TFFT (c) for acoustic noise in the 3.0Tesla of the closing door of MRI DWI pulse sequence.

DWI MR 검사에서 1.5Tesla의 TFFT의 소리 스펙트럼을 Fig. 4 에서 나타나고 있고, 3.0Tesla는 Fig. 5에서 1.5Tesla에 비해 시간에 따른 진폭의 범위가 증가함을 알 수 있다. 소리 게이트는 오디오 파일에서 지정된 임계값 이하의 모든 오디오 데이터를 제거한다. 대부분의 오디오 파일에 좋은 노이즈 임계값은 1.5Tesla에서 -6 dB 사이였고, 3.0Tesla에서는 0 dB 사이로 분석되었다.

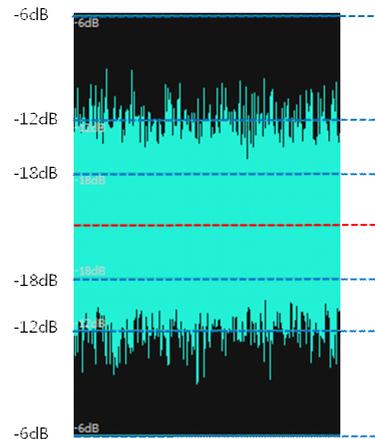


Fig. 4. Frequency responses of 1.5Tesla DWI pulse sequence noise channel with various noise in with attenuation dB and scanning time

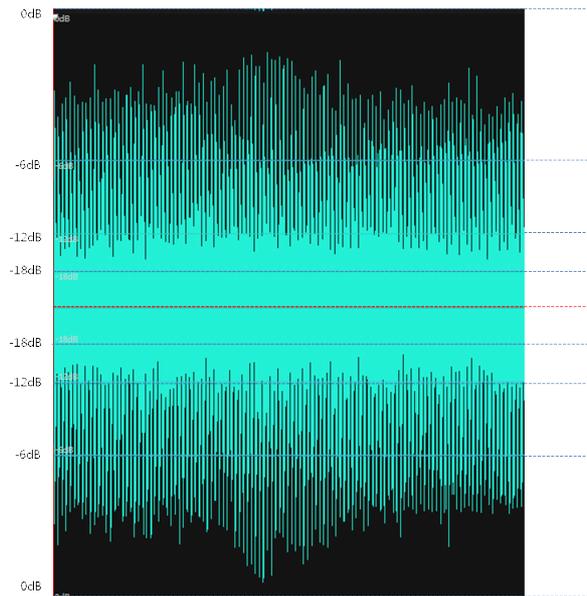


Fig. 5. Frequency responses of 3.0Tesla DWI pulse sequence noise channel with various noise in with attenuation dB and scanning time

IV. DISCUSSION

MRI 검사에서 3.0Tesla는 1.5Tesla에 비해 SNR (signal noise ratio)와 CNR (contrast to noise ratio)을 제공하고 높은 해상력과 영상획득시간을 단축할 수 있다.^[14]

Gradient magnetic field와 관련된 EPI 및 3D-FSE 기술을 사용하여 허용 수준 이내의 소음 레벨을 산출하여 보고하였다.^[11]

MR 검사 환자에서 폐쇄공포증을 동반한 환자, 소아환자, 노약자는 MRI 검사를 완료하지 못하고 . DWI MRI 검사에서 장시간 검사에 노출될 경우 일시적으로 인체의 청각손실의 보고가 있다.^[15]

소음을 감소하기 위해 검사환자에게 귀마개 및 귀 보호대를 사용하도록 하고 있으나 소음의 저감 효과는 고주파수 대역의 소음에만 적용 되고 있다.^[16]

FFT는 시간신호를 고속푸리에 변환하여 주파수 분석을 하는 방법으로 신호의 특성을 파악할 수 있다. 또한 TFFT는 x축의 시간으로 사용되고, y축은 주파수의 강도 범위를 스펙트럼을 보여주고 있다. FFT 및 TFFT의 노이즈 스펙트럼에서 DWI의 검사에서 1.5Tesla에 비해 3.0Tesla가 주파수 y축의 강도 범위가 증가하였다.

기존의 MR검사에서 소음은 70-110 dB^[8,16-17], 1.5Tesla와 3.0Tesla의 EPI 펄스 시퀀스에서 123-138 dB^[18], 그라디언트 자기 5 dB의 활성화 동안 기록된 가장 높은 소음 레벨은 114 dB (Siemens, Erlangen, Germany)와 115 dB (General Electric Healthcare, Waukesha, WI, USA)이었고 EPI 기술을MR 시스템의 중심에서 발생했다.

MR 기기에서 1.5Tesla에 비해 3.0Tesla에서 소음이 증가하였다. 이는 자장의 크기가 증가하여 소음이 증가하여 기존 보고에서 3Tesla 에서는 118.4 ±1.3 dB로 보고하여 청력 보호 중요성을 강조하여 보고하였고^[19], 4Tesla에서 130 dB를 보고하여 소음이 증가함이 일치하였다.^[20] 실험에서는 90 dB에 근접하는 소음 수치가 환자들에게 많은 불안감을 조성할 수 있으므로 이에 대한 적절한 조치가 필요해

보인다.

연구의 제한점으로는 첫째, MR의 노이즈 스펙트럼은 다양한 프로그램을 이용하여 비교하여 분석할 필요가 있다. 둘째, 다양한 펄스시퀀스를 이용하여 소음의 스펙트럼을 비교할 필요가 있다. 셋째, 스펙트럼 분석에 따른 소음과 함께 영상을 분석을 위해 추가 MR 실험에 따른 연구가 필요하다. MR 검사에서 환자의 소음 감소를 위한 기초자료로 활용하기 위한 DWI 펄스 시퀀스를 활용할 수 있다.

V. CONCLUSION

MRI 1.5Tesla 와 3.0Tesla에서 DWI 펄스 시퀀스에서 검사실에 따른 소리 스펙트럼 및 FFT와 TFFT를 분석하였다. 1.5Tesla에 비해 3.0Tesla에서 FFT 및 TFFT에서 주파수 진폭의 노이즈 임계값은 1.5Tesla에서 -6 dB 사이였고, 3.0Tesla에서는 0 dB 사이로 분석되어 환자의 소음감소를 위한 DWI 펄스시퀀스를 환자에게 적절하게 임상에서 적용할 필요가 있다.

Reference

- [1] A. Moelker, R. A. Maas, P. M. Pattynama, "Verbal communication in MR environments: effect of MR system acoustic noise on speech understanding," *Radiology*, Vol. 232, No. 1, pp. 107-113, 2004.
- [2] M. E. Quirk, A. J. Letendre, R. A. Ciottone, J. F. Lingley, "Anxiety in patients undergoing MR imaging," *Radiology*, Vol. 170, No. 2, pp. 463-466, 1989.
- [3] R. E. Brummett, J. M. Talbot, P. Charuhas, "Potential hearing loss resulting from MR imaging," *Radiology*, Vol. 169, No. 2, pp. 539-540, 1988.
- [4] P. Radomskij, M. A. Schmidt, C. W. Heron, D. Prasher, "Effect of MRI noise on cochlear function," *Lancet*, Vol. 359, No. 9316, pp. 1485-1486, 2002.
- [5] M. McJury, F. G. Shellock, "Auditory noise associated with MR procedures: a review," *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 12, No. 1, pp. 37-45, 2000.
- [6] F. G. Shellock, S. M. Morisoli, M. Ziarati, "Measurement of acoustic noise during MR imaging:

- evaluation of six "worst-case" pulse sequences," *Radiology*, Vol. 191, No. 1, pp. 91-93, 1994.
- [7] R. Hunvitz, S. R. Lane, R. A. Bell, M. N. Brant-Zawadzki, "Acoustic analysis of gradient-coil noise in MR imaging," *Radiology*, Vol. 173, No. 2, pp. 534-548, 1989.
- [8] M. McJury, A. Blug, C. Joerger, B. Condon, D. Wyper, "Acoustic noise levels during magnetic resonance imaging scanning at 1.5 T," *British Journal of Radiology*, Vol. 67, No. 796, pp. 413-415, 1994.
- [9] M. J. McJury, "Acoustic noise levels generated during high field MR imaging," *Clinical Radiology*, Vol. 50, No. 5, pp. 331-334, 1995.
- [10] R. E. Brummett, J. M. Talbot, P. Charuhas, "Potential hearing loss resulting from MR imaging," *Radiology*, Vol. 169, No. 2, pp. 539-540, 1988.
- [11] F. G. Shellock, M. Ziarati, D. Atkinson, D. Y. Chen, "Determination of gradient magnetic field-induced acoustic noise associated with the use of echo planar and three-dimensional, fast spin echo techniques," *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *Radiology*, Vol. 8, No. 5, pp. 1154-1157, 1998.
- [12] <https://www.nch.com/au/wavepad/fft.html>
- [13] NCH Software WavePad Sound Editor. Version 8.13, Greenwood Village, CO, USA.
- [14] S. E. Rha, "High field strength magnetic resonance imaging of abdominal diseases," *Journal of Medical Association*, Vol. 53, No. 12, pp. 1065-1073, 2010.
- [15] M. McJury, A. Blug, C. Joerger, B. Condon, D. Wyper, "Acoustic noise levels during magnetic resonance imaging scanning at 1.5 T," *British Journal of Radiology*, Vol. 67, No. 796, pp. 413-415, 1994.
- [16] R. E. Brummett, J. M. Talbot, P. Charuhas, "Potential hearing loss resulting from MR imaging," *Radiology*, Vol. 169, No. 2, pp. 539-540, 1988.
- [17] F. G. Shellock, M. Ziarati, D. Atkinson, D. Y. Chen, "Determination of gradient magnetic field-induced acoustic noise associated with the use of echo planar and three-dimensional, fast spin echo techniques," *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 8, No. 5, pp. 1154-1157, 1998.
- [18] S. C. Brennan, W. H. Redd, P. B. Jacobsen, O. Schorr, R. T. Heelan, G. K. Sze, G. Krol, B. E. Peters, J. K. Morrissey, "Anxiety and panic during magnetic resonance scans," *Lancet*, Vol. 332, No. 8609, pp. 512, 1988.
- [19] D. L. Price, J. P. De Wilde, A. M. Papadaki, R. I. Kitney, "Investigation of acoustic noise on 15 MRI scanners from 0.2 T to 3 T," *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 13, No. 2, pp. 288-293, 2001.
- [20] F. G. Shellock, S. M. Morisoli, M. Ziarati, "Measurement of acoustic noise during MR imaging: evaluation of six worse-case pulse sequences," *Radiology*, Vol. 191, No. 1, pp. 91-93, 1994.

1.5Tesla and 3.0Tesla에서 관류 MR의 소리 스펙트럼 분석

권대철,¹ 최지원^{2,*}

¹신한대학교 바이오생태보건대학 방사선학과

²전주대학교 의과학대학 방사선학과

요 약

1.5Tesla와 3.0Tesla의 MRI 검사의 DWI (diffusion-weighted imaging) 펄스시퀀스에서 노이즈 스펙트럼을 분석하여 MRI검사의 기초자료를 제공하여 임상에서 적용하는데 목적이 있다. MRI 검사에서 ACR (American College of Radiology) 팬텀과 노이즈 스펙트럼은 Wavepad sound editor version 8.13 (NCH software, Greenwood Village, CO, USA)로 FFT (fast Fourier transform), TFFT (time based fast Fourier transform)를 분석하였다. MR 1.5Tesla와 3.0Tesla의 DWI 펄스 시퀀스에서 검사실에 따른 노이즈 스펙트럼 및 FFT와 TFFT를 분석하였다. 1.5Tesla에 비해 3.0Tesla에서 FFT 및 TFFT에서 주파수 진폭의 노이즈 임계값은 1.5Tesla에서 -6 dB 사이였고, 3.0Tesla에서는 0 dB 사이로 분석되어 환자의 소음감소를 위한 DWI 펄스시퀀스를 환자에게 적절하게 임상에서 적용할 필요가 있다.

중심단어: 자기공명영상, 펄스시퀀스, DWI 펄스시퀀스, 노이즈 스펙트럼