

<원저>

3.0T 자기공명영상을 이용한 잡음전력스펙트럼 특성 평가

민정환¹⁾·정회원²⁾·김승철³⁾¹⁾신구대학교 방사선학과·²⁾백석문화대학교 방사선학과·³⁾고려대학교 보건과학연구소

Evaluation of Noise Power Spectrum Characteristics by Using Magnetic Resonance Imaging 3.0T

Jung-Whan Min¹⁾·Hoi-Woun Jeong²⁾·Seung-Chul Kim³⁾¹⁾Department of Radiological technology, Shingu University²⁾Department of Radiological Science, Baekseok Culture University³⁾Institute of Health Sciences Reserch, Korea University

Abstract This study aim of quantitative assessment of Noise Power Spectrum(NPS) and image characteristics of by acquired the optimal image for noise characteristics and quality assurance by using magnetic resonance imaging(MRI). MRI device was (MAGNETOM Vida 3.0T MRI; Siemens healthcare system; Germany) used and the head/neck shim MR receive coil were 20 channels coil and a diameter 200 mm hemisphere phantom. Frequency signal could be acquired the K-space trajectory image and white image for NPS. The T2 image highest quantitatively value for NPS finding of showed the best value of 0.026 based on the T2 frequency of 1.0 mm^{-1} . The NPS acquired of showed that the T1 CE turbo image was 0.077, the T1 CE Conca2 turbo image was 0.056, T1 turbo image was 0.061, and the T1 Conca2 turbo image was 0.066. The assessment of NPS image characteristics of this study were to that could be used efficiently of the MRI and to present the quantitative evaluation methods and image noise characteristics of 3.0T MRI.

Key Words: Magnetic resonance imaging, Noise power spectrum, Modulation transfer function, Quality assurance, Noise

중심 단어: 자기공명영상, 잡음전력스펙트럼, 변조전달함수, 품질보증, 잡음

1. 서론

자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI)은 영상의학과 내에서 유용하게 환자 정보를 제공하는 의료장비이다[1]. 현재 의료영상에 대한 영상 품질관리(Quality Assurance; QA)를 위해서, MRI장치를 이용한 효율성에 대해서 다양한 방법으로 연구하고 있는 실정이며, 그 중에서도 정량적 평가에 대한 방법을 어떻게 하면 효율적으로 확인할 수 있는 방법에 대해서 연구하고 있다[1, 2]. 정량적 평가의 효율적인 최적화 방법에는 변조전달 함수(Modulation Transfer Function; MTF)가 있는데, MRI장비의 영상 품질관리를 위해서 영상의 물리적인 공간 해상력을 확인할 수 있는 방법에서도 가장 많이 쓰이고 있는 방법이다[1-5]. 다른 한편으로 공간 해상력에 대한 정보와는 달리 좀 더 의료영상에 대한 균일성에 대한 영향 및 잡음 특성에 대해서 확인해 볼 수 있는 방법으로는 잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum; NPS)이 있다[1, 2, 6-9]. NPS는 의료영상 전체에 대한 균일성을 측정하는 항목으로서 MRI 의료영상의 평가를 위해서는 먼저 3차원적으로 생각해 볼 필요가 있다[1, 2, 10]. 여기에서 중요한 평가 내용은 3차원적인 MRI 의료영상을 만들기 전에 일반적으로 K-space 트라젝토리(Trajectory)를 거쳐 의료영상으로 나타낸다[1, 2, 5].

This study was supported by from the Shingu University Industry-Academic Cooperation Foundation Grant 2021.

Corresponding author: Jung-Whan Min, Dept. of Radiological Technology, The Shingu University, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, 13174, Republic of Korea / Tel:+82-31-740-1361 / E-mail: pmpmpm@daum.net

Received 14 January 2021; Revised 1 February 2021; Accepted 24 February 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

이때 3차원적 공간정보의 균일성 및 잡음을 확인할 수 있는 유용성 및 정량적 평가의 효율성을 가지고 있는 방법이 NPS이다[1, 2]. 그리고 K-space의 Echo Train Length(ETL)는 turbo factor라고도 불리는데 의료영상을 평가하는데 있어서 중요한 역할을 하며, ETL에 따라서 의료영상 균일도 및 잡음 특성이 틀려질 수 있는 장점 및 단점이 있다[2, 5]. 이때 균일도에 대한 정량적 평가를 위해서 NPS는 유용성이 있는 정량적 평가방법으로서, 기존 연구에서는 MRI장비에 대한 정량적인 평가방법으로 품질관리 연구가 진행되고 있었다[1, 6]. 또한, 다른 연구에서는 ACR-PH1 팬텀을 이용하여 균일성에 관련하여 효율적인 평가방법을 제안하고 있다[1, 5, 10]. 그리고 디지털 의료영상의 공간 해상력 및 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR) 등의 항목을 여러 가지 디지털 의료장비를 이용해서 연구하고 있는 동향이 다[11-17]. 따라서, MRI 의료영상의 품질관리를 위한 잡음 특성을 확인하고 균일성에 대한 정량적인 평가를 확인하는 것이 필수라고 생각을 한다.

본 논문에서는 시퀀스 별로 3차원적 공간상의 균일성을 확인하고 잡음 특성을 확인하기 위해서 3.0T MRI장치를 이용하여 NPS의 특성을 연구하였다.

II. 대상 및 방법

1. 실험도구

3.0T MRI장치(MAGNETOM Vida 3.0T MRI, Siemens healthcare system, Germany)를 사용하였다. Head/neck 20 shim MR coil을 이용하여, 200 mm 반구 직경 팬텀을 설치하였으며, 20 channel을 사용하였다[Fig. 1]. 그리고 3.0T에서 사용되는 receive 코일을 사용하였다. Normal saline(NS) 1,000 cc를 반구 직경 안에 채운 상태로 실험하여, 의료영상을 획득하였다[Fig. 1]. 그리고 영상분석은 Image J(Wayne Rasband National Institutes of Health, USA), MATLAB R2019a (MathWorks, USA)를 사용하였다.

2. 실험배치 및 영상 분석 방법

잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum; NPS) 측정에 대한 영상을 얻기 위해서 200 mm 반구 직경인 팬텀을 이용하여 normal saline(NS) 1,000 cc를 채우고 receive 코일을 사용하였으며, 20 channel인 head/neck coil을 사용하였다. 재현성을 확보하기 위해 움직임 없이 고정하였으며, 코일의

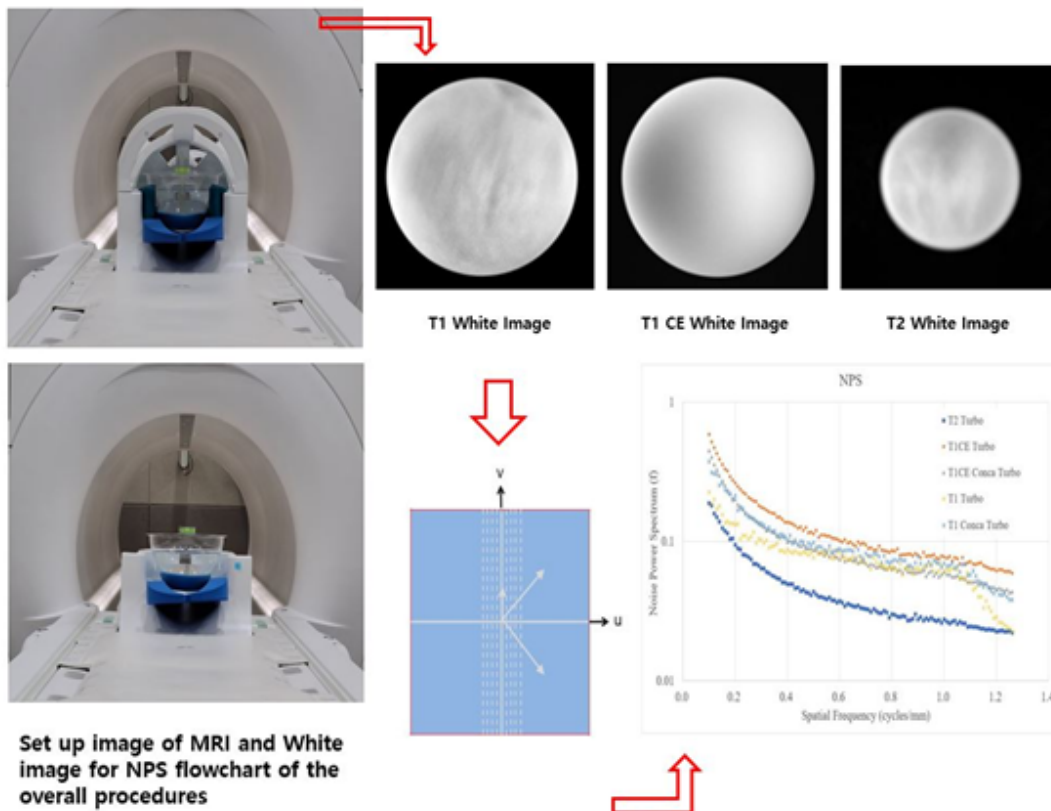


Fig. 1. Frequency signal should be obtained the K-space trajectory image and white image for NPS flowchart of the overall procedures.

정 중앙에 위치하도록 하였다. 또한, 수평계를 사용하여 수평 및 수직에 맞추어서 고정시켰다. 반구 팬텀 안에 들어가는 NS은 auto-injector를 사용함으로써 실험의 재현성을 높였다. 그리고 NS의 물결 방지를 위해서 10분 이후부터 영상을 얻기 시작하였다[Fig. 1]. NPS 측정평가를 하기 위해서 512×512 Matrix의 2D Image들을 얻었으며, white image로부터 K-space 트라젝토리(Trajectory)로 변환되는 과정들을 확인하였으며, 이는 Fourier transform(FT)해서 NPS를 측정하였다[Fig. 1], [1, 2]. 이때 재현성을 위해서 transverse 방향 및 vertical 방향을 확인 후에 frequency encoding 위치를 확인하여 시퀀스별로 NPS에 대한 주파수대별로 정량적인 평가를 하였다. 여기에서 K-space의 2차원적인 영상들을 확인하며, 이때, [Fig. 1]에서 보듯이 가로 방향과 세로 방향을 확인할 필요가 있다. 그 후에 frequency encoding 방향을 영상에서 확인 후에 주파수별로 확인하였다.

3. 영상획득 및 기법

잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum; NPS) 측정을 위해서 제작된 팬텀은 의료영상 파라미터들은 Table 1과 같다. T1강조영상 그리고 조영제 15 cc(Gadovist, 1.0 mmol/ml)를 사용한 T1 CE(Concatenation) Conca2강조영상 그리고 Conca2를 적용한 T1(Concatenation)강조영상이다. 마지막으로 T2강조영상을 얻었다[Fig. 1], [Table 1]. 다양한 에코 신호(spin echo와 inhomogeneity echo)의 간섭 및 인공물에 의한 보정(Linear Gradient Component; Shimming)을 한 후 의료영상을 얻으며, 반복하였다. 여기에서 Conca2의 기법의 특징으로 는 일반적인 검사 시 숨을 참으며 검사하므로, breath hold 스캔시간을 줄일 수 있는 장점이 있으므로, 잡음전력스펙트럼을 이용한 노이즈에 대한 정량적인 평가에 있어서 유효할 것 이라 생각을 했다. 또

한, cross-talk에 대한 방지를 하는데 도움이 되는데, 이유는 슬라이스 gap이나, interval을 작게하는 특징이 있으므로 영상을 얻는데 도움을 줄 수 있다.

III. 결과

1. T1 강조영상과 T1 CE 영상과의 NPS 비교

NPS 비교 결과값은 T1 강조영상과 T1 CE 영상에서 head coil내의 중앙에 있는 영상을 선택해서 frequency encoding 방향을 확인하였다. 주파수 1.0 mm⁻¹에서 T1영상의 NPS값은 Turbo factor 1, 2, 3에 따라서 0.046, 0.059, 0.090이며, T1 CE 영상의 NPS값은 Turbo factor 1, 2, 3에 따라서 0.109, 0.064, 0.056이다. Turbo factor별로 T1영상의 NPS값이 정량적으로 좋아 보이며, 주파수 1.0 mm⁻¹보다 높은 주파수에서는 T1영상의 NPS값이 전체적으로 낮아 보인다 [Table 1], [Fig. 2]. 결과적으로 T1영상의 NPS값이 낮다는 것은 잡음이 전체적으로 적음을 나타내며, 균일성이 T1 CE 영상보다 좋다는 것을 의미한다.

2. T1 Conca2 영상과 T1 CE Conca2 영상과의 NPS 비교

NPS 비교 결과값은 T1 Conca2 영상과 T1 CE Conca2 영상에서 head coil내의 중앙에 있는 영상을 선택해서 frequency encoding 방향을 확인하였다. 주파수 1.0 mm⁻¹에서 T1 Conca2 영상의 NPS값은 Turbo factor 3, 4, 5에 따라서 0.074, 0.067, 0.060이며, T1 CE Conca2 영상의 NPS값은 Turbo factor 3, 4, 5에 따라서 0.062, 0.061, 0.053이다. Turbo factor별로 NPS값이 정량적으로 비슷한

Table 1. Parameters of image sequence

Parameters	TSE T1	TSE T1 CE Conca2	TSE T1 Conca2	TSE T2
No. slice	10	10	10	10
S,T (mm)	4	4	4	4
FOV (mm)	200 × 200	200 × 200	200 × 200	200 × 200
Matrix	512 × 512	512 × 512	512 × 512	512 × 512
Flip angle	150	150	150	150
TR (ms)	600	600	600	3,000
TE (ms)	15	15	15	101
BW (Hz/px)	121	121	121	121
Acq. time	20:31	20:31	20:31	07:05
Turbo factor_ETL	1~3	3~6	3~6	15~20

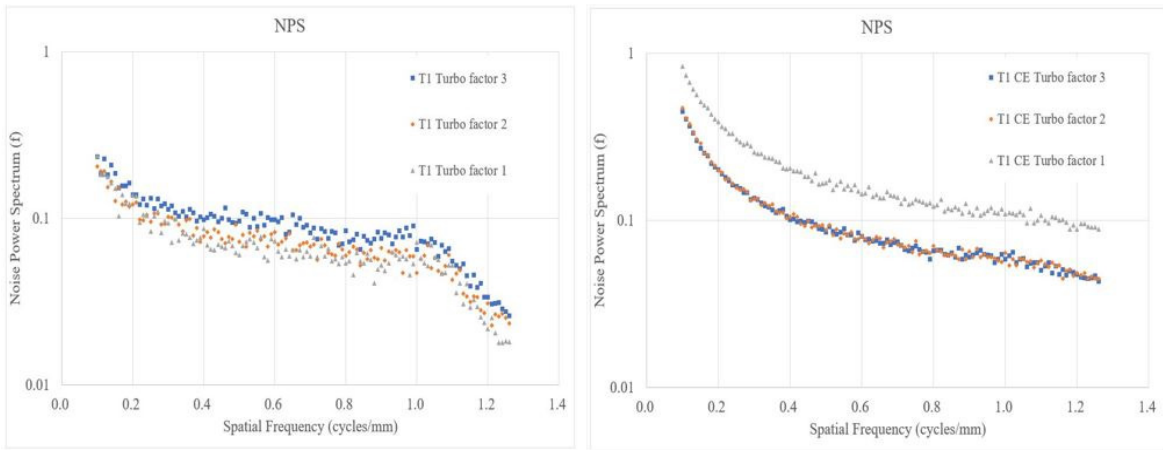


Fig. 2. Comparison of NPSs spectrum of the T1 images for turbo factor and T1 CE images for turbo factor by using MRI

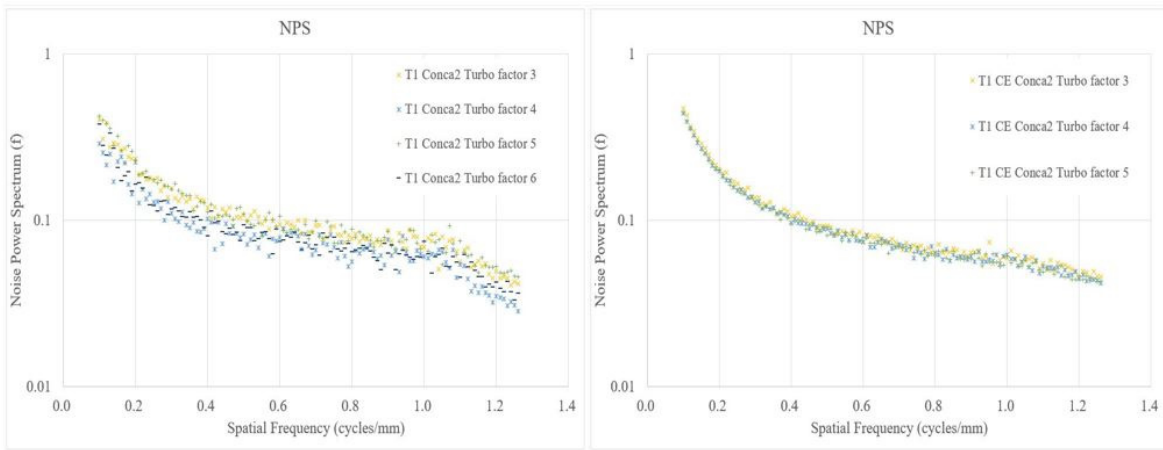


Fig. 3. Comparison of NPSs spectrum of the T1 Conca2 images for turbo factor and T1 CE Conca2 images for turbo factor by using MRI

경향성을 보이며, 주파수 1.0 mm^{-1} 보다 높은 주파수에서는 T1 Conca2 영상의 NPS값이 전체적으로 낮아 보인다[Table 1], [Fig. 3]. 결과적으로 T1 Conca2 영상의 NPS값이 낮다는 것은 잡음이 전체적으로 적음을 나타내며, 균일성이 T1 CE Conca2 영상보다 좋다는 것을 의미한다.

3. T1 강조영상과 T1 CE 전체 영상과의 NPS 비교

NPS 비교 결과값은 T1 강조영상과 T1 CE 영상 그리고 T1 Conca2 영상과 T1 CE Conca2 영상에서 head coil내의 중앙에 있는 영상을 선택해서 frequency encoding 방향을 확인하였다. 주파수 1.0 mm^{-1} 에서 T1 NPS값은 0.047이며, T1 CE NPS값은 0.052이다. 그리고 주파수 1.2 mm^{-1} 에서 T1 NPS값은 0.021이며, T1 CE NPS값은 0.044이다. NPS 값이 주파수 1.0 mm^{-1} 보다 1.2 mm^{-1} 높은 주파수에서는 T1 NPS값이 전체적으로 낮아 보인다[Table 1], [Fig. 4]. 결과

적으로 T1 NPS값이 낮다는 것은 잡음이 전체적으로 적음을 나타내며, 균일성이 T1 CE 영상들보다 좋다는 것을 의미한다.

4. T2 강조영상 Turbo factor별 NPS 비교

NPS 비교 결과값은 T2 강조영상 head coil내의 중앙에 있는 영상을 선택해서 frequency encoding 방향을 확인하였다. 주파수 1.0 mm^{-1} 에서 T2 강조영상들의 turbo factor 15부터 20까지의 NPS값은 0.032부터 0.023 사이에 분포한다 [Table 1], [Fig. 5]. 결과적으로 T2 NPS값이 turbo factor별로 낮다는 것은 잡음이 전체적으로 적음을 나타내며, 균일성이 T1 강조영상들보다 좋다는 것을 의미한다. 따라서, turbo factor가 높을수록 T2 강조영상은 T1 강조영상들보다는 NPS 값이 좋다는 것을 의미한다.

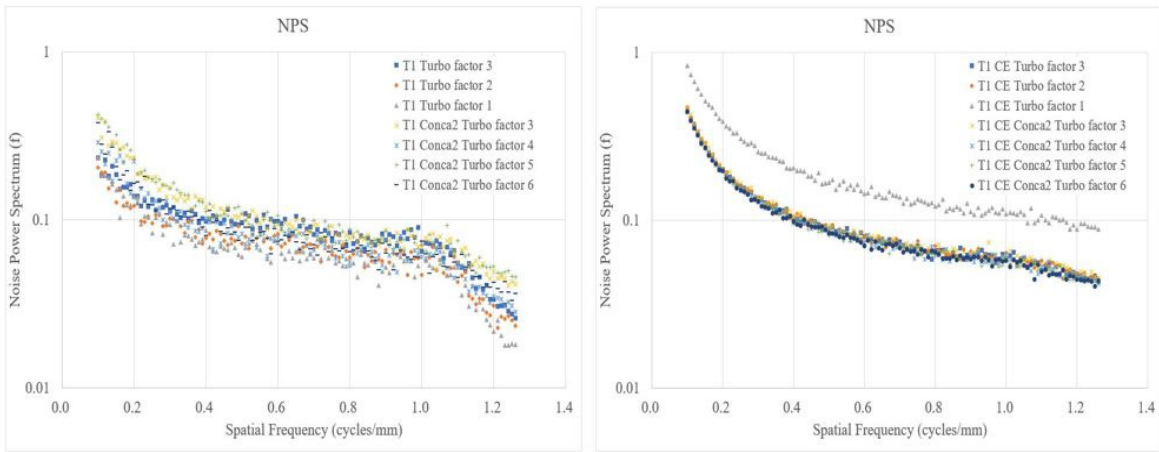


Fig. 4. Comparison of NPSs spectrum of the T1 images for turbo factor and T1 CE images for turbo factor by using MRI

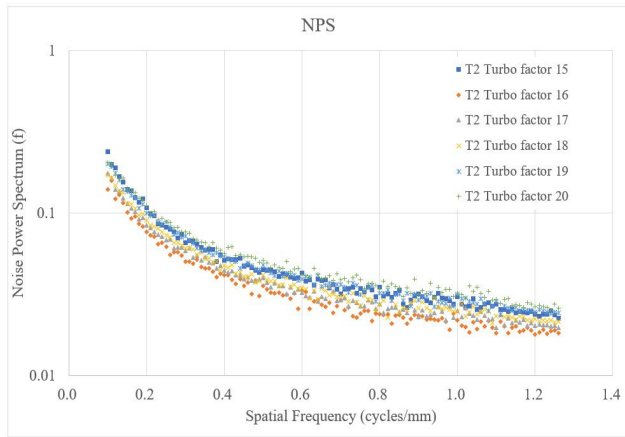


Fig. 5. Comparison of NPSs for the T2 turbo factor images by using MRI

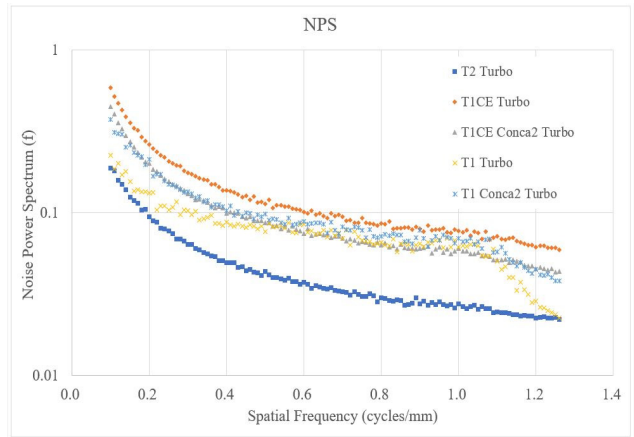


Fig. 6. Comparison of NPSs for the T2 turbo, T1 CE turbo, T1 CE Conca2 turbo, T1 turbo, T1 Conca2 turbo images by using MRI

5. NPS 시퀀스 비교

NPS 시퀀스 비교 결과값은 head coil내의 중앙에 있는 영상을 선택해서 frequency encoding 방향을 확인하였다. 주파수 1.0 mm^{-1} 에서 T2 turbo영상의 NPS값은 0.026이며, T1 CE turbo영상의 NPS값은 0.077이며, T1 CE Conca2 turbo영상의 NPS값은 0.056이며, T1 turbo영상의 NPS값은 0.061이며, T1 Conca2 turbo영상의 NPS값은 0.066이다[Table 1], [Fig. 6]. 전체영상들의 중앙값을 확인하였으며, 평균해서 보았을 때 T2 turbo영상이 NPS 값이 정량적으로 가장 낮아 보였으며, 이는 가장 낮은 잡음을 보이는 것으로 T2 turbo영상의 NPS가 가장 좋아 보이는 것을 의미한다.

IV. 고 찰

잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum; NPS)측정을 위해서 시퀀스 비교 결과값들은 head coil내의 중앙에 있는 영상을 선택해서 frequency encoding 방향을 확인하였다. 이때 재현성을 확보하기 위해서 transverse방향 및 vertical 방향을 확인 후에 frequency encoding 위치를 확인하였다. 또한, 3.0T MRI장치는 radio frequency performance에 의한 flow artifact가 발생하는데 artifact에 의한 육안상의 영상 화질이 떨어지는 볼 수 있으며, 이에 따르는 재현성 확보가 중요한 관건이라 하겠다[1, 2, 5]. 따라서 head coil내의 중앙에 위치한 가운데 지점을 선택하게 되었다.

Echo Train Length(ETL)는 같은 의미의 turbo factor 사용 개수에 따라서 시간을 줄이는 효과가 있다[2]. 그 이유는 너무 많이 사용하면 영상이 마치 흔들린 것처럼 artifact

가 발생할 수 있기 때문이기도 하다. 그러므로 T1 강조영상 시퀀스는 ETL이 일반적으로 8개 이하로 적절하게 사용할 수 있다. 또한, K-space를 적당히 채워서 이미지를 만들면, 영상을 얻는데 도움이 될 수 있다고도 하였다[1]. 결과적으로 T1 강조영상 시퀀스 NPS값이 낮다는 것은 잡음이 전체적으로 적음을 나타내며, 균일성이 T1 CE 영상들보다 좋다는 것을 의미한다[Table 1], [Fig. 4]. 여기에서 중요한 관점은 T1시퀀스에서의 ETL사용에 있어서 1~3개 정도를 사용함에도 불구하고 T1시퀀스에서 NPS가 높게 측정되었다면 장치의 균일성이라든가 coil내에서의 균일성을 확인할 필요가 있을 것으로 사료된다[1, 2]. 따라서, T1 CE 영상들보다 좋은 T1 강조영상 NPS결과를 볼 수 있다.

다른 결과에서 T2 시퀀스에서 NPS값이 ETL별로 낮다는 것은 잡음이 전체적으로 적음을 나타내며, 균일성이 T1 강조영상들보다 좋다는 것을 의미한다. 따라서, ETL가 높을 수록 T1 영상들보다는 T2 시퀀스에서 NPS값이 좋다는 것을 의미한다[Table 1], [Fig. 5]. 그러므로 T2에서 적당량(15개) 이상의 ETL사용함에 따라서 NPS값이 완만하면서도 1.2 mm^{-1} 에서 정량값이 현저하게 낮게 나타나는 그래프의 경향성으로 본다면 균일성이 좋다고 확인할 수 있었다[1]. 따라서 일반적인 MRI장치의 화질평가 시 NPS는 균일성에 대한 검사를 시퀀스별로 확인할 수 있었다[1, 2].

마지막 결과값에서는 전체영상들의 중앙값을 확인하였으며, 평균해서 보았을 때 T2 turbo영상이 NPS값이 정량적으로 가장 낮아 보였으며, 이는 T1 강조영상의 시퀀스 영상들 보다는 가장 낮은 잡음을 보이는 것으로 NPS가 가장 좋아 보이는 것을 의미한다[Table 1], [Fig. 6]. 그러므로 MRI장치의 영상획득 시 ETL를 많이 사용하면 영상화질이 좋아진다는 결론보다는 ETL의 적절한 사용에 의해서 영상의 화질 관리를 할 수 있다.

기존의 연구에서 시퀀스별로 NPS값을 확인하였다고 한다면, 본 연구에서는 3.0T의 균일도 및 잡음에 대한 평가를 하기 위해서 head coil내의 중앙에 가장 근접한 영상을 사용하였으며, ETL사용함에 따라서 시퀀스별로 NPS를 정량화 하였다는 데에서 차별화를 둘 수 있다[1].

V. 결론

본 연구에서는 MRI 의료영상의 품질관리를 위한 잡음 특성을 확인하고 방법을 보다 효율적으로 사용할 수 있었다. 그리고 잡음전력스펙트럼에 대한 균일성에 대한 정량적인 평가를 확인하였다. 따라서, 본 논문에서는 시퀀스 별로 3

차원적 공간상의 균일성을 확인하고 잡음 특성을 확인하기 위해서 3.0T MRI장치를 이용하여 NPS의 특성을 연구하였다는데 의의가 있다.

REFERENCES

- [1] Min JW, Jeong HW, Han JH, et al. Study on the physical imaging characteristics by using magnetic resonance imaging 1.5T. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2019;42(5):329-34.
- [2] Miyati T, Fujita H, Kasuga T, et al. Measurements of MTF and SNR(f) using a subtraction method in MRI. *Physics in Medicine and Biology*. 2002;47:2961-72.
- [3] Steckner MC, Drost DJ, Prato FS. Computing the modulation transfer function of a magnetic resonance imager. *Med. Phys.* 1994;21:483-9.
- [4] Mohapatra SM, Turley JD, Prince JR, et al. Transfer function measurement and analysis for magnetic resonance imager. *Med. Phys.* 1991;18(6):1141-44.
- [5] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al. Study on the resolution characteristics by using magnetic resonance imaging 3.0T. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(4):251-57.
- [6] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al. Comparison of noise power spectrum in measurements by using international electro-technical commission standard devices in indirect digital radiography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2018;41(5):457-62.
- [7] Jeong HW, Min JW, Kim JM, et al. Investigation of physical imaging properties in various digital radiography system. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2017;40(3):363-70.
- [8] Jeong HW, Min JW, Kim JM, et al. Performance characteristic of a CsI(Tl) flat panel detector radiography system. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2012;35(2):109-17.
- [9] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al. Evaluation of image quality for various electronic portal imaging devices in radiation therapy. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2015;38(4):451-61.

- [10] Hahm HK, The study on the subject development of MRI image quality evaluation, Department of Radiology, Graduate school of Public Health Eulji University; 2008.
- [11] Min JW, Jeong HW, Comparison of modulation transfer function in measurements by using edge device angle in indirect digital radiography, Journal of Radiological Science and Technology, 2019; 42(4):259-63.
- [12] Kim KW, Jeong HW, Min JW, et al, Measurement of image quality according to the time of computed radiography system, Journal of Radiological Science and Technology, 2015;38(4):365-74.
- [13] Kim KW, Jeong HW, Min JW, et al, Evaluation of the performance characteristic for mammography by using edge device, Journal of Radiological Science and Technology, 2016a;39(3):415-20.
- [14] Kim KW, Jeong HW, Min JW, et al, Evaluation of the modulation transfer function for computed tomography by using American association physics medicine phantom, Journal of Radiological Science and Technology, 2016b;39(2):193-8.
- [15] Fujita H, Tasai DY, Itoh T, et al, A simple method for determining the modulation transfer function in digital radiography, IEEE Trans Med Imaging, 1992;11(1):34-9.
- [16] Samei E, Flynn MJ, Reimann DA, et al, A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device, Medical Physics, 1998;25:102.
- [17] Greer PB, Van Doorn T, Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method, Medical Physics, 2000;27:2048.

구분	성명	소속	직위
제1저자, 교신저자	민정환	신구대학교	부교수
공동저자	정희원	백석문화대학교	부교수
공동저자	김승철	고려대학교	연구교수