

## &lt;원저&gt;

## 3.0T 자기공명영상을 이용한 해상력 특성에 대한 연구

민정환<sup>1)</sup>·정회원<sup>2)</sup>·한지현<sup>3)</sup>·이시내<sup>3)</sup>·한송이<sup>3)</sup>·김기원<sup>4)</sup>·김현수<sup>1)</sup>·손진현<sup>1)</sup><sup>1)</sup>신구대학교 방사선과·<sup>2)</sup>백석문화대학교 방사선과·<sup>3)</sup>강남세브란스병원 영상의학과·<sup>4)</sup>한일병원 영상의학과

## Study on the Resolution Characteristics by Using Magnetic Resonance Imaging 3.0T

Jung-Whan Min<sup>1)</sup>·Hoi-Woun Jeong<sup>2)</sup>·Ji-Hyun Han<sup>3)</sup>·Si-Nae Lee<sup>3)</sup>·Song-Yi Han<sup>3)</sup>Ki-Won Kim<sup>4)</sup>·Hyun-Soo Kim<sup>1)</sup>·Jin-Hyun Son<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Department of Radiological technology, Shingu University<sup>2)</sup>Department of Radiological Science, Baekseok Culture University<sup>3)</sup>Department of Radiology, Yonsei University, Gangnam Severance Hospital<sup>4)</sup>Department of Radiology, Hanil General Hospital

**Abstract** This study was purpose to quantitative evaluation of edge method of modulation transfer function(MTF) and physical image characteristics of by obtain the optimal edge image by using magnetic resonance imaging(MRI). The MRI equipment was used (MAGNETOM Vida 3.0T MRI, Siemens healthcare system, Germany) and the head/neck matrix shim MR coil were 20 channels(elements) receive coil. The MTF results of showed the best value of 0.294 based on the T2 Nyquist frequency of 1.0 mm<sup>-1</sup>. The MTF results of showed that the T1 image is 0.160, the T1 CE image is 0.250, T1 Conca2 image is 0.043, and the T1 CE (Concatenation) Conca2 image is 0.190. The T2 image highest quantitatively value for MTF. The physical image characteristics of this study were to that can be used efficiently of the MRI and to present the quantitative evaluation method and physical image characteristics of 3.0T MRI.

**Key Words:** Magnetic resonance imaging, Modulation transfer function, Edge method, Fujita method, Quality Assurance

**중심 단어:** 자기공명영상, 변조전달함수, 엣지방법, 후지타방법, 품질보증

## I. 서론

자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI)은 현대인들에게 의학적으로 필요한 인체에 관한 유용한 정보를 제공함으로써 필수적인 영상의학 분야라고 할 수 있다. 병원에서의 영상의학과는 의료정보 제공을 위해서 영상의 질적 향상과 MRI 장비 자체에 대한 품질보증(Quality assurance; QA)에 대해 노력을 해왔던 결과이기도 하다. 특히 그 결과로써 MRI 장비는 신호대잡음비(Signal to noise ratio; SNR)에 대한 영상평가를 주로 해 오고 있다. SNR은 K-space 트라젝토리(Trajectory)를 정량적으로 확

인할 수 있다는 효율에 대한 유용성을 가지고 있다. 그리고 K-space의 Echo Train Length(ETL)에 의해서 다양한 정보를 제공받을 수 있으며, 시퀀스별로 정량화해서 품질보증을 해야 한다[1-3]. 이런 방법에 대해서 변조전달 함수(Modulation Transfer Function; MTF) 및 잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum; NPS)은 유용성을 가지고 있는 정량적 평가방법이며, SNR 대한 MRI 장비의 효율을 미리 알아볼 수 있는 정량적인 기준이 될 수 있다고 보고한다[1,2]. 기존 연구에서는 MRI장비에 대한 정량적인 평가방법으로 많은 품질보증 연구가 진행되고 있으며, ACR-PH1 팬텀을 이용하여 보다 효율적인 평가방법을 제

This study was supported by from the Shingu University Industry-Academic Cooperation Foundation Grant 2020.

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 15 July 2020; Revised 24 August 2020; Accepted 29 August 2020

Copyright ©2020 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

시하고 있다[1,4]. 그렇지만 여전히 확인할 수 없는 정량적 평가 부분에 대해서는 한계점이 있고 의료영상의 품질평가가 필수라고 할 수 있는 MTF, NPS, 양자검출효율(Detective Quantum Efficiency; DQE)에 대해서는 디지털 의료영상 평가방법을 준용해야 한다고 생각을 한다[5-8]. 왜냐하면, 의료영상 평가방법은 방사선 관련 영상의학과 내에 있는 의료장비인 MRI 장치에 대한 부분을 포함하는 것이며, 영상의학과 내의 다른 디지털 의료장비의 특성에 대해서는 기존에 정량적 평가방법을 사용하고 준용하는 것으로 확인되었기 때문이다[9-12]. 그러므로 일반화할 수 있는 특성에 대한 정량적인 평가방법을 사용할 것을 권장한다. 그 이유는 기존의 연구에서 MTF, NPS, DQE에 특성에 대한 정량적인 평가의 유용성을 설명하고 있다는 것이다[13-16].

그러므로, 본 논문에서는 엣지 방법을 이용한 후지타 방법을 적용해서 3.0T MRI장비를 사용하였다. 그리고 최적의 엣지 영상을 얻고 이를 바탕으로 MTF를 측정하였으며, 3.0T MRI장치의 물리적 영상 특성을 연구하였다[1,14].

## II. 대상 및 방법

### 1. 실험도구

실험 연구에서는 3.0T MRI장치(MAGNETOM Vida 3.0T MRI, Siemens healthcare system, Germany)를 사용하

였으며, 채널 수는 20 Channel이며, Head/Neck 20 shim MR coil을 그리고 3.0T에서 사용되는 receive 코일을 사용하였다. 팬텀 안에 120 × 120 mm의 조직등가물질을 사용함과 동시에 팬텀안에 200 mm 반구 직경내에 설치하였다. Normal Saline(NS) 1,000 cc를 채운 상태로 실험하였다. 그리고 영상분석은 Image J(Wayne Rasband National Institutes of Health, USA), MATLAB R2019a (MathWorks, USA)프로그램을 사용하였다.

### 2. 실험배치 및 영상 분석 방법

MTF 측정에 대한 영상을 얻기 위해서 팬텀 직경을 200 mm 반구에 Normal saline(NS) 1,000 cc를 채운 상태에서 실험하였으며, 팬텀 내에 120 × 120 mm의 조직 등가 물질을 사용하였다. 팬텀 NS 1,000 cc 채운 직경을 200 mm 아크릴 반구를 사용하여 20채널 Head/Neck Coil에 고정시켰다. 위치 재현성을 구현하기 위해 코일 상단부로부터 3.5 cm의 떨어진 곳에 물 팬텀을 놓고, 그 밑에 높이 7 cm의 스펀지를 덧대어 코일의 중앙부에 위치하도록 하였다. 그리고 수평 유지를 위해 수평계를 사용하여 수평을 맞추었다. 아크릴 반구 안에는 1,000 cc NS 오토인젝터를 사용함으로써 실험의 재현성을 높이도록 하였다. NS의 물결 방지를 위해서 마지막으로 10분 정도의 시간이 흐른 후 영상을 얻기 시작하였다[Fig. 1]. 실험에서 512 × 512의 2D Images를 사용하였고, MTF평가를 하기 위해서 엣지 영상을 얻었으며,

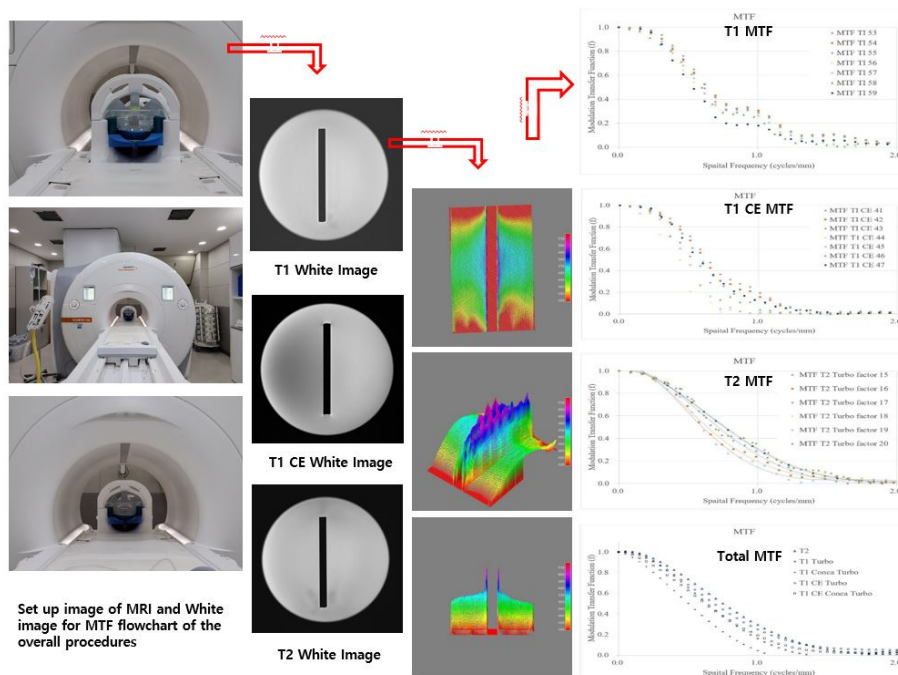


Fig. 1. Signal should be obtained the edge image and white image for MTF flowchart of the overall procedures

측정을 위해서 선확산함수(Line Spread Function; LSF)를 확인하고, Fourier transform(FT)해서 MTF를 측정하였다 [Fig. 1] [1,2].

### 3. 영상획득 및 기법

MTF 측정을 위해서 제작한 팬텀들을 가지고 영상획득을 하였으며, 영상을 얻은 파라미터들은 Table 1과 같다. T1강조영상 및 T2강조영상 그리고 조영제 15 cc(Gadovist, 1.0 mmol/ml)를 추가한 T1 CE (Concatenation) Conca2강조영상을 마지막으로 Conca2를 적용한 T1강조영상이다[Table 1].

그리고 다수의 에코 신호(spin echo와 inhomogeneity echo)의 간섭 및 인공물 등에 의한 보정(Linear Gradient Component; Shimming)한 후 최초의 영상을 얻으며, 반복하였다.

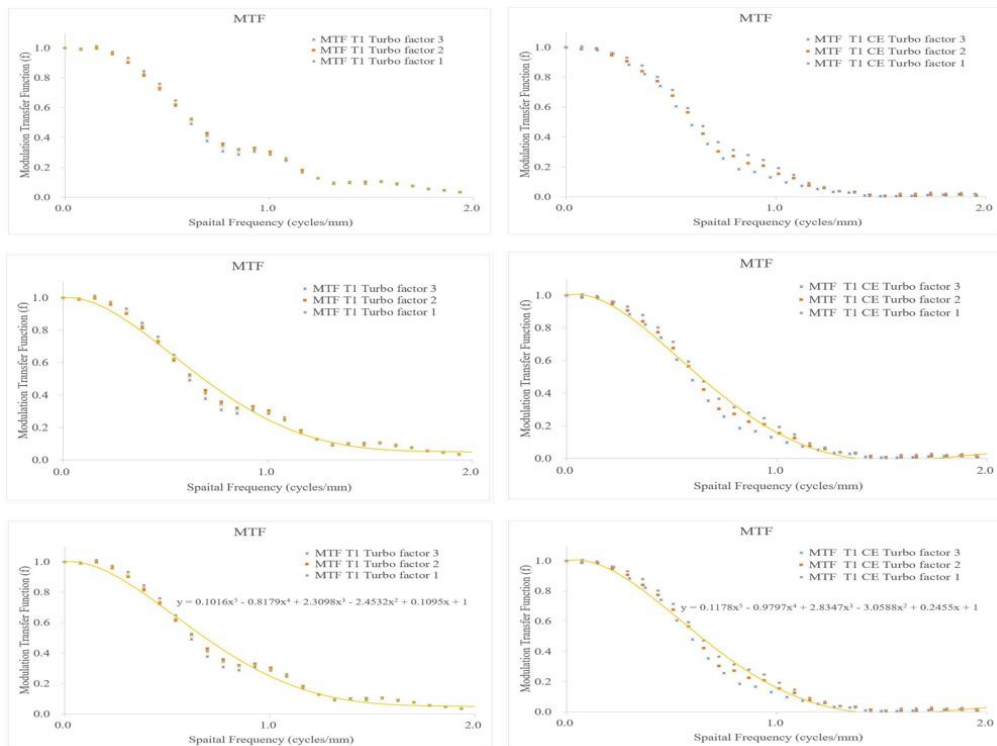
## III. 결과

### 1. T1 영상과 T1 CE 영상과의 MTF 비교

MTF 비교 결과값은 T1 10장의 영상과 T1 CE 10장의 영

**Table 1.** Parameters of imaging sequence

Parameters	TSE T1	TSE T2	TSE T1 CE Conca2	TSE T1 Conca2
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	3000	600	600
TE(ms)	15	101	15	15
BW(Hz/px)	121	121	121	121
Acq. time	06:53 ~ 20:31	05:17 ~ 07:05	06:53 ~ 20:31	06:53 ~ 20:31
ETL_Turbo factor	1 ~ 3	15 ~ 20	3 ~ 6	3 ~ 6



**Fig. 2.** Comparison of MTF spectrum of the T1 images and T1 CE by using MRI

상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상을 선택해서 확인하였다. 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 에서 T1영상의 MTF값은 0.295이며, T1 CE 영상의 MTF값은 0.193이며, 대부분의 낮은

Turbo factor별로 T1영상의 MTF값이 정량적으로 좋아 보인다[Table 1], [Fig. 2].

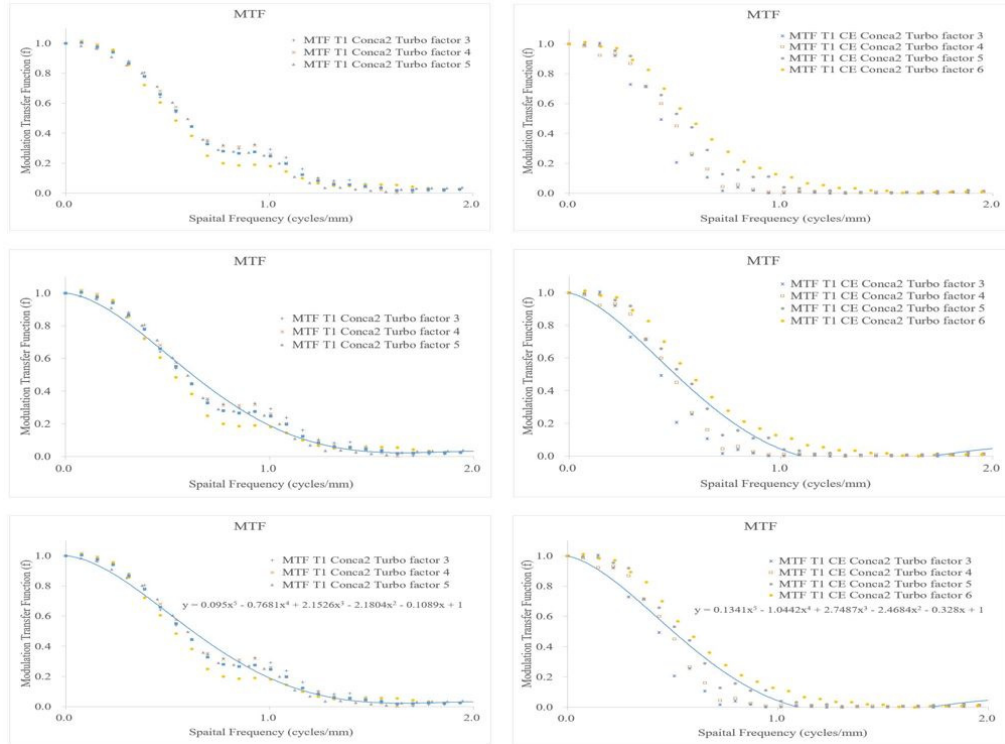


Fig. 3. Comparison of MTF spectrum of the T1 Conca2 images and T1 CE Conca2 by using MRI

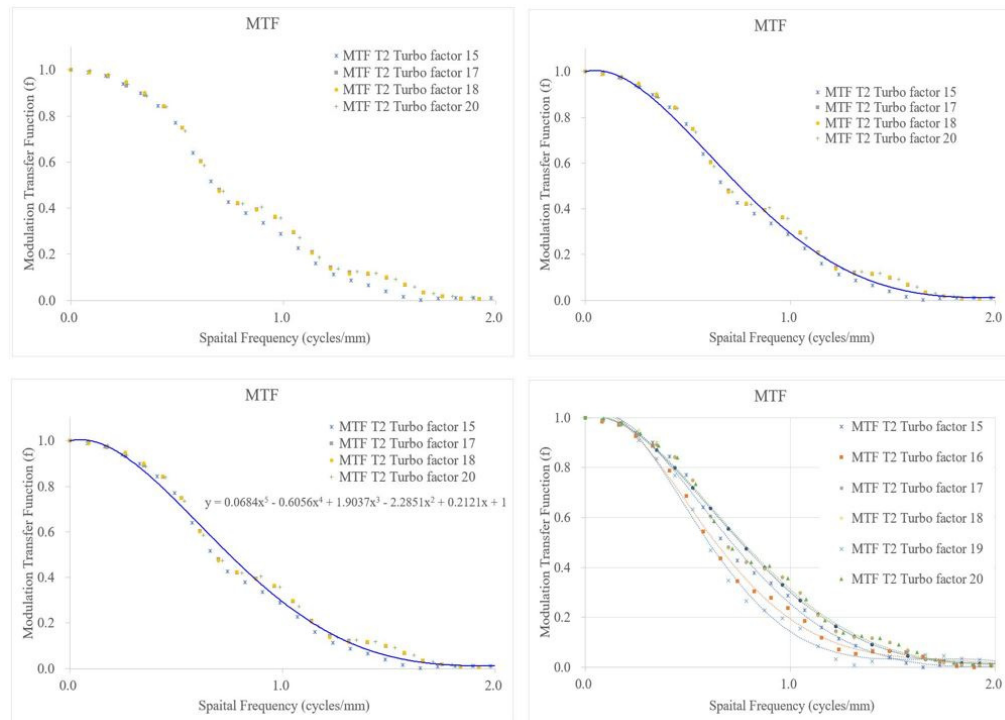


Fig. 4. MTF spectrum of the T2 images by using MRI

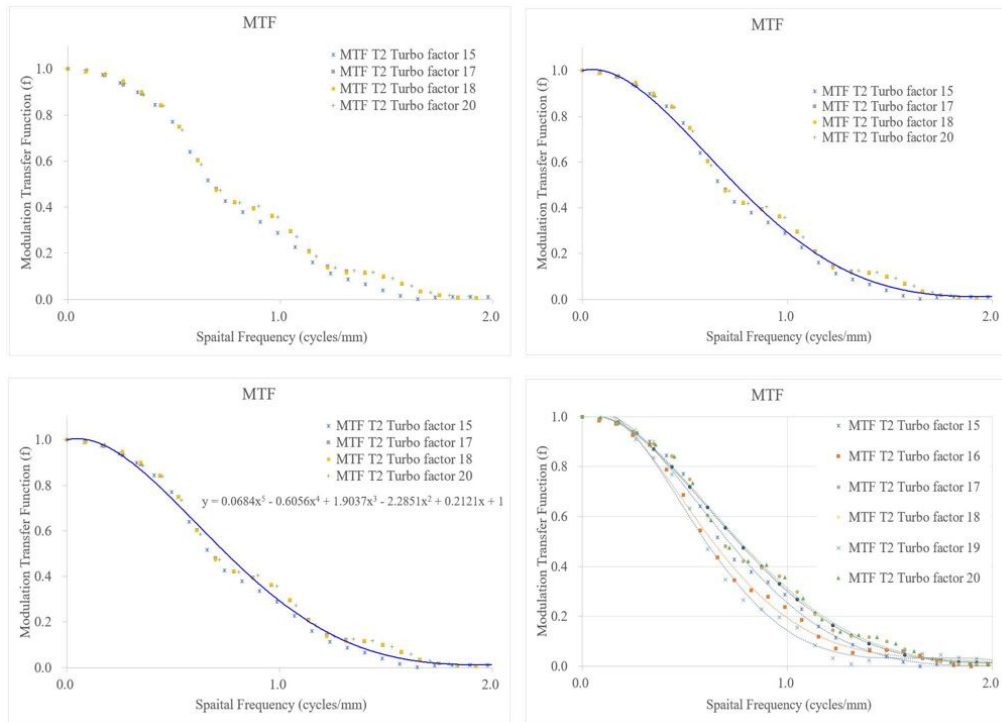


Fig. 4. MTF spectrum of the T2 images by using MRI

2. T1 Conca2 영상과 T1 CE Conca2 영상과의 MTF 비교

MTF 비교 결과값은 T1 Conca2 10장의 영상과 T1 CE Conca2 10장의 영상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상을 선택해서 확인하였다. 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 에서 T1 Conca2 영상의 MTF값은 0.247이며, T1 CE Conca2영상의 MTF값은 0.110이며, 대부분의 높은 Turbo factor별로 T1 Conca2영상의 MTF값이 정량적으로 좋아 보인다[Table 1], [Fig. 3].

3. T2 영상의 MTF

MTF 비교 결과값은 T2 10장의 영상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상을 선택해서 확인하였다. 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 에서 T2 영상의 MTF값은 Turbo factor별로 Turbo factor 15는 0.288이며, Turbo factor 17은 0.339이며, Turbo factor 18은 0.341이며, Turbo factor 20은 0.357이다. 대부분의 Turbo factor별로 높은 T2 영상의 MTF값이 정량적으로 좋아 보인다[Table 1], [Fig. 4].

4. MTF 시퀀스 비교

MTF 비교 결과값은 T2, T1, T1 CE, T1 Conca2, T1 CE

Conca2 10장의 영상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상들을 평균해서 확인하였다. 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 에서 T2 영상의 MTF값은 0.294이며, T1 영상의 MTF값은 0.160이며, T1 CE 영상의 MTF값은 0.250이며, T1 Conca2영상의 MTF값은 0.043이며, T1 CE Conca2영상의 MTF값은 0.190이다. T2 영상이 MTF값을 볼 때 정량적으로 가장 높아 보인다[Table 1], [Fig. 5].

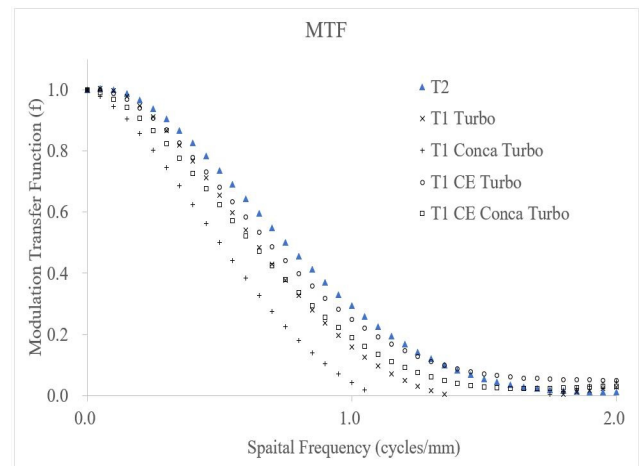


Fig. 5. Comparison of MTFs for the T2, T1, T1 CE, T1 Conca2, T1 CE Conca2, images by using MRI

## IV. 고 찰

MTF 비교 결과값은 T1시퀀스 10장의 영상과 T1 CE시퀀스 10장의 영상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상을 선택해서 확인하였다. 또한, MTF 비교 결과값은 T1 Conca2 시퀀스 10장의 영상과 T1 CE Conca2시퀀스 10장의 영상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상을 선택해서 확인하였다. 그리고 MTF 비교 결과값들은 T2, T1, T1 CE, T1 Conca2, T1 CE Conca2 10장의 영상에서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상들을 평균해서 확인하였다. 이유로는 3.0T MRI장치의 RF Performance에 의한 Flow Artifact가 생기는 경향성을 보이기도 하였다. 따라서 Head Coil내의 중앙에 위치한 가운데 지점을 선택하려고 하였으며, Artifact에 의한 정성적인 육안상의 영상 화질이 현저히 떨어짐을 볼 수 있기 때문이다. K-space 트라젝토리(Trajectory) 자체가 비연속적인 경우를 확인할 수 있었으며, 특히 T1 시퀀스에서 확인할 수 있었다[1,2, Fig. 2,3]. 비연속적이라고 해서 나이키스트 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 을 기준으로 해서 해상력 값은 높을 수 있지만, 전체적인 영상들의 평균에 의한 해상력 값들은 오히려 떨어짐을 볼 수 있었다.

나이키스트 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 에서 Head Coil 중앙에 있는 영상의 MTF값과 중앙에 근접한 영상들의 MTF평균값들은 다르다고 볼 수 있다. 왜냐하면, T2영상의 경우에는 적당량(15개) 이상의 ETL사용함으로써 MTF 0.5를 기준으로 볼 때 완만하면서도 비연속적인 그래프 형태로 보아 균일성 등을 확인해 볼 필요가 있다. 하지만, 근접한 영상들의 평균값들은 대체적으로 다른 시퀀스보다 좋은 MTF값을 표현하고 있다[Fig. 4,5] [1,2].

한편으로 다른 시퀀스들은 특히 비교대상에서 T1영상, T1 Conca2영상들과 T1 CE영상, T1 CE Conca2영상들과의 비교를 하면 대체적으로 CE를 하게 되면 좋은 결과값을 볼 수 있다. 이는 전체적으로 평균을 해서 보는 결과값과 중앙에 근접한 영상의 결과값은 상이하게 틀리다는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 중앙에 근접한 영상을 기준으로 해서 본다면 CE를 하지 않고 적용하는 시퀀스는 MTF결과값이 좋다고 할 수 있다. 다르게 해석하면 해상력이 좋다고 할 수는 있지만, 주파수  $1.0 \text{ mm}^{-1}$ 에서 K-space 트라젝토리(Trajectory) 자체가 비연속적이 된다는 결론을 얻게 되었다[1,2].

기존의 연구에서 시퀀스별로 10개의 영상가운데 제일 중심에 있는 영상을 선택해서 1.5T의 정량적 평가방법의 유용성을 확인하였다고 하면, 본 연구에서는 3.0T의 평가에 대한 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상들을 평균해서 측정

의 차별화를 둘 수 있었다[1]. 팬텀내의 안쪽 위치에 따라서 평가의 차별성을 두기 위한 실험이었다. 특히나 3.0T에서는 Gradient, RF Performance등이 확연한 성능차이를 볼 수 있었으며, 전자파흡수율(Specific absorption ratio; SAR)에 의한 단점으로 SAR값이 높으면 TR, TE의 변경이 불가피할 것으로 본다. 그리고 NS의 흐름에 의한 미세한 물결을 만들어 Moving Artifact를 만들 수 있다는 단점이 있음을 확인하였다. 향후 기회가 된다면, 3.0T의 정량적 평가방법인 NPS에 관해서도 추가적으로 평가할 수 있어야 할 것으로 보이며, 이는 코일내의 균일성에 대해서도 평가가 되어야 한다고 생각이 된다[1,2].

## V. 결 론

본 연구는 MRI장치의 영상평가에 대해서 Head Coil내의 중앙에 근접한 영상들을 평균해서 측정의 차별화를 두는 정량적 평가방법을 제시하였으며, 물리적으로 해상력에 대한 특성을 연구하였다. 제한적인 방법보다는 효율적으로 사용할 수 있는 해상특성에 대한 정량적 평가방법을 준용하고, 3.0T MRI장치의 물리적 영상 특성 결과값을 제시하였다는 데 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. *Phys Med Biol*. 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] Hahm HK. The study on the subject development of MRI image quality evaluation department of radiology. Graduate school of Public Health Eulji University; 2008.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [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] 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*. 2016;39(3):415–20.
- [10] 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.
- [11] 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*. 2016;39(2):193–8.
- [12] 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.
- [13] Mohapatra SM, Turley JD, Prince JR, et al. Transfer function measurement and analysis for magnetic resonance imager. *Med Phys*. 1991;18(6):1141–4.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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	한지현	강남세브란스병원	방사선사/연구원
공동저자	이시내	강남세브란스병원	방사선사/연구원
공동저자	한송이	강남세브란스병원	방사선사/연구원
공동저자	김기원	한일병원	방사선사/연구원
공동저자	김현수	신구대학교	부교수
공동저자	손진현	신구대학교	조교수