

<원저>

초음파 의료영상에서 ATS 535H 팬텀을 이용한 해상력 특성 평가

민정환¹⁾·정희원²⁾·강혜경¹⁾¹⁾신구대학교 방사선과 · ²⁾백석문화대학교 방사선과Evaluation of the Resolution Characteristics by Using ATS 535H Phantom for
Ultrasound Medical ImagingJung-Whan Min¹⁾·Hoi-Woun Jeong²⁾·Hea-Kyung Kang¹⁾¹⁾Department of Radiological Science, Shingu University²⁾Department of Radiological Science, Baekseok Culture University

Abstract This study was purpose to assessment of the resolution characteristics by using ATS 535H Basic quality assurance (QA) phantom for ultrasound. The ultrasound equipment was used Logiq P6 (Ultrasound, GE Healthcare System, Chicago, IL, USA). And the ultrasound transducer were used Convex 4C (4~5.5 MHz), Linear 11L (10~13 MHz), Sector 3SP (3~5.5 MHz) probe. As for the noise power spectrum (NPS) comparison results by using ATS 535H Basic QA ultrasound phantom and Convex 4C, Linear 11L, Sector 3SP probe. The NPS value of the Convex 4C probe image was 0.0049, Linear 11L probe image was 0.0049, Sector 3SP probe image was 0.1422 when the frequency is 1.0 mm⁻¹. The modulation transfer function (MTF) comparison results by using ATS 535H Basic QA ultrasound phantom and Linear 11L probe the MTF value of the 3 cm focus image was 0.7511 and 4 cm focus image was 0.9001 when the frequency is 1.0 mm⁻¹. This study was presented characteristics of spatial resolution a quantitative evaluation methods by using ultrasound medical images for QA of ultrasound medical QA phantom. The quality control (QC) for equipment maintenance can be efficiently used in the clinic due to the quantitative evaluation of the NPS and MTF as the standard methods. It is meaningful in that it is applied mutatis mutandis and presented the results of physical resolution characteristics of the ultrasound medical image.

Key Words: ATS 535H Phantom, Noise Power Spectrum, Modulation transfer function, Edge method, Resolution Characteristics, Quality Assurance

중심 단어: ATS 535H 팬텀, 잡음전력스펙트럼, 변조전달함수, 해상력특성, 품질보증

I. 서론

초음파 의료 장비와 콘솔 사이에서의 데이터 변환 구현 기술은 더욱 더 영상 속도 및 초음파 의료영상에 대한 정보 손실이 그 만큼 적다고 할 수 있는 특징을 가지고 있다[1,2]. 하지만, 정보 손실이 적다고는 하지만 의료 정보에 대한 제공을 정확하게 수행할 필요가 있다. 그러므로 초음파 의료영상은

병원에서 사용하는 최신 의료영상장비이며, 정확하게 수행 평가를 하면서 환자에게 많은 의료정보를 제공하게 된다. 그리고 초음파 의료영상은 진단 정보를 제공함에 있어 초음파 장비에 대한 품질보증(Quality Assurance, QA)을 요구하고 있다[1]. 가장 기본이되는 물리적인 전기 안정상태, 조정 모니터의 성능상태, 팬텀 측정에 대한 권장사항, 트랜스듀서의 센서의 기능적 상태를 확인하는 방법등이 있다[1,2]. 또한,

This study was supported by from the Shingu University Industry-Academic Cooperation Foundation Grant 2023.

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

Received 06 January 2023; Revised 18 January 2023; Accepted 25 January 2023

Copyright ©2023 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

일반적으로 정량적인 영상 품질관리는 시간적인 오류와 함께 많은 시간을 요구하고 있는 실정이다. 이에 객관적이면서 정량적으로 평가할 수 있는 잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum, NPS) 측정방법 및 변조전달함수(Modulation Transfer Function, MTF)가 있다[3-8]. 특히, 초음파 영상에 대한 공간해상력을 측정하는 방법으로써 많이 사용되고 있으며, 초음파 의료 장비에 대한 유지 보수 및 사용이 유용하도록 요구도가 증가 되고 있는 추세이다[1,2].

기존의 국내·외 연구를 보면 변조전달함수를 평가하는데 있어서는 기존의 전통적인 Edge 방법 및 다양한 방법을 이용하고 있는 실정이다[9-14]. 또 다른 방법으로는 Marcus Kaar 등은 팬텀을 개발하여 원형의 방사형 형태의 공간해상도를 측정하는 방법을 이용하는 추세이기도 하다[2]. 이에, 연구에서는 정량적인 재현성을 확인하고 효율적인 정량평가를 확인하기 위한 품질관리에 대한 요구도를 확인하는 방법으로 확인하고자 하였다. 우선, 잡음전력스펙트럼측정에 있어서 사용하는 프로브의 주파수대 및 타입에 따라서 측정값들의 변화가 다양하다는 것이다[1,2]. 또한, 초음파 의료 영상은 묘사된 모서리의 각도에 따라서 방향성에 크게 의존하게 된다[2]. 물론 재질에 따라서도 많은 차이가 있을 수 있다[1,2]. 그러므로, 프로브들에 대한 측정기준을 주파수가 다른 관점에서의 잡음전력스펙트럼과 그리고 초점(Focus)이 다른 관점에서의 변조전달함수로 확인하는 방법을 구현하였다. 그러므로 실험에서는 팬텀을 이용한 초음파 의료영상에서는 점확산함수(Point Spread Function; PSF)를 확인 후에 Fig. 1에서의 영상프로파일이 가우시안함수의 형태로 잡음 분포를 확인할 수 있었으며, Fourier Transform (FT)해서 해상력특성을 확인하였다[Fig. 1],[15-17]. 논문에서는 ATS 535H Basic QA 초음파 팬텀을 이용하여 초음파 의료장비의 물리적인 초음파의료영상에 대해서 공간해

상력특성을 평가하였다.

II. 대상 및 방법

1. 실험도구

실험 대상으로는 Logiq P6(Ultrasound, GE Healthcare System, Chicago, IL, USA)를 초음파 의료기기를 사용하였으며, ATS 535H Basic QA(A CIRS Company, USA) 팬텀을 적용하여, Convex 4C (4~5.5 MHz), Linear 11L (10~13 MHz), Sector 3SP (3~5.5 MHz) 프로브를 이용하여 초음파 의료영상을 얻었다. 실험장비를 확인후에 프로브들에 의한 왜곡된 영상이 나오지 않도록 수직 직각에 대한 영상을 얻었으며, 10회 반복에 의한 영상을 얻은 후 가장 왜곡이 되지 않은 영상을 선택하였다. 그리고 영상측정은 ImageJ(Ver. 1.53n, Wayne Rasband National Institutes of Health, USA)를 이용하여 초음파 의료영상에 대한 정량적 평가하는 데 사용하였다.

2. 영상획득 및 기법

ATS 535H Basic QA 팬텀을 가지고 잡음전력스펙트럼을 측정하기 위해서 다른 프로브 Convex 4C, Linear 11L, Sector 3SP 세 개를 이용하였다. 그리고 기본적인 파라미터 조건은 Table 1과 같이 하였으며, Frequency만 4, 12, 3 MHz로 다르게 하여 다른 영상을 얻었다. 또한, 변조전달함수의 측정을 위해서 한 개의 Linear 11L 프로브를 이용하여 초점을 다르게 설정하여 각기 다른 영상획득을 하였다.

초음파 의료영상에 대한 파라미터들은 Table 1과 같다. 그리고 다수의 초음파 에코 신호의 간섭 및 인공물 등에 의

Table 1. Imaging of by using ATS 535H QA phantom and Parameters of Probes

Parameters	Convex 4C (4~5.5 MHz)	Linear 11L (10~13 MHz)	Linear 11L (10~13 MHz)	Sector 3SP (3~5.5 MHz)
Frequency(MHz)	4	12	12	3
Power(%)	100	100	100	100
DR(dB)	72	72	72	72
Gain(dB)	56	56	56	56
Depth(cm)	6	6	6	6
Focus(cm)	4	3	4	4
Matrix	316 × 614	316 × 614	316 × 614	316 × 614
Target	Location of target for lateral resolution	Location of target for vertical measurement calibration	Location of target for lateral resolution	Location of target for lateral resolution

한 보정 한 후 최초의 영상을 얻으며, 프로브별로 10회 반복해서 영상을 얻었다. 특히, 주목해야 할 내용은 논문에서 확인하고자하는 정량평가를 위해서 우선 주파수가 다른 관점에서의 잡음전력스펙트럼 그리고 초점이 다른 관점에서의 변조전달함수를 측정하고자 하였다.

3. 실험위치설정 및 영상분석 방법

다른 모습의 프로브 세 종류를 이용하여, Table 1과 같이 파라미터를 설정하였으며, 잡음전력스펙트럼 및 변조전달함수 측정 평가를 하기 위해서 Digital Image and Communications of Medicine (DICOM)영상을 얻는 과정에서 프로브의 중앙부에 위치하도록 하였다. 그리고 수평유지를 위해 수평계를 사용하여 수평을 맞추어 가면서 영상을 얻으려고 했다. 그리고 실험에서 얻은 316×614 , 2D DICOM 영상을 얻었다. 또한, 잡음전력스펙트럼 평가를 하기 위해서 화이트 잡음 영상을 얻었으며, 측정의 정확도를

높이기 위해서 팬텀 영상의 위치에 따라서 달라질 수 있는 부분을 확인하면서, 팬텀 영상 여러 슬라이스 중 데이터가 일부 왜곡된 영상들에 대해서 Fig. 1에서와 같이 선택해서 ImageJ로 영상분석을 반복하였다. 또 다른 변조전달함수 측정을 위해서 측정에서 가장 최적의 영상 위치를 확인하였으며, Fig. 1과 같이 실험 위치 설정과 맞게 공간해상력 특성을 측정하였다. 옛지 모양의 모서리 부분에 대해서 확인하는 작업을 반복하면서 영상들을 분석하는 작업을 Fig. 1에서 보듯이 반복해서 영상을 분석하였다[Fig. 1].

III. 결과

1. 주파수가 다른 세 가지 프로브의 잡음전력스펙트럼 비교

ATS 535H Basic QA 팬텀을 이용한 Convex 4C (4~5.5 MHz),

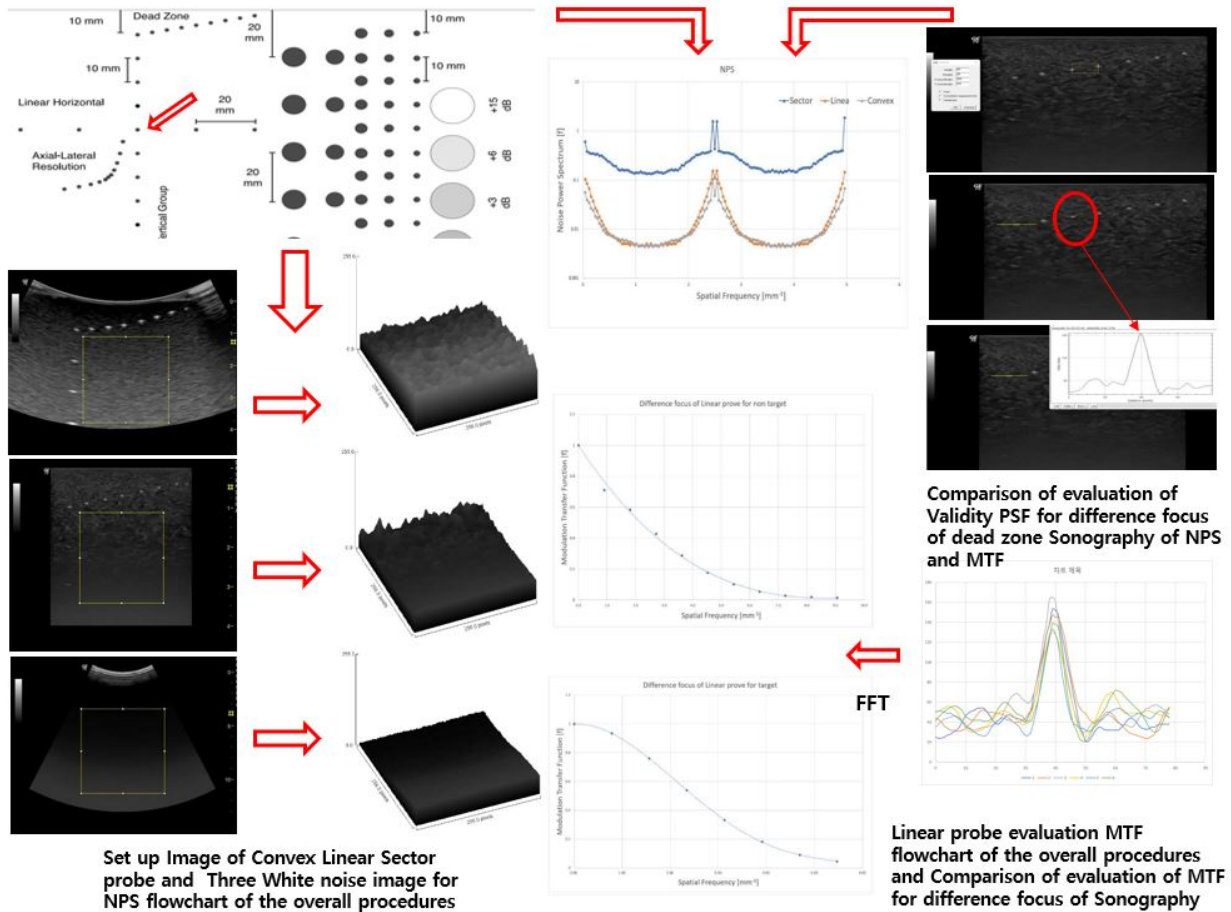


Fig. 1. Set up image of Convex Linear Sector probe and three white noise image for NPS flowchart of the overall procedures and Linear probe evaluation MTF flowchart of the overall procedures and Comparison of evaluation of MTF for difference focus of Sonograph

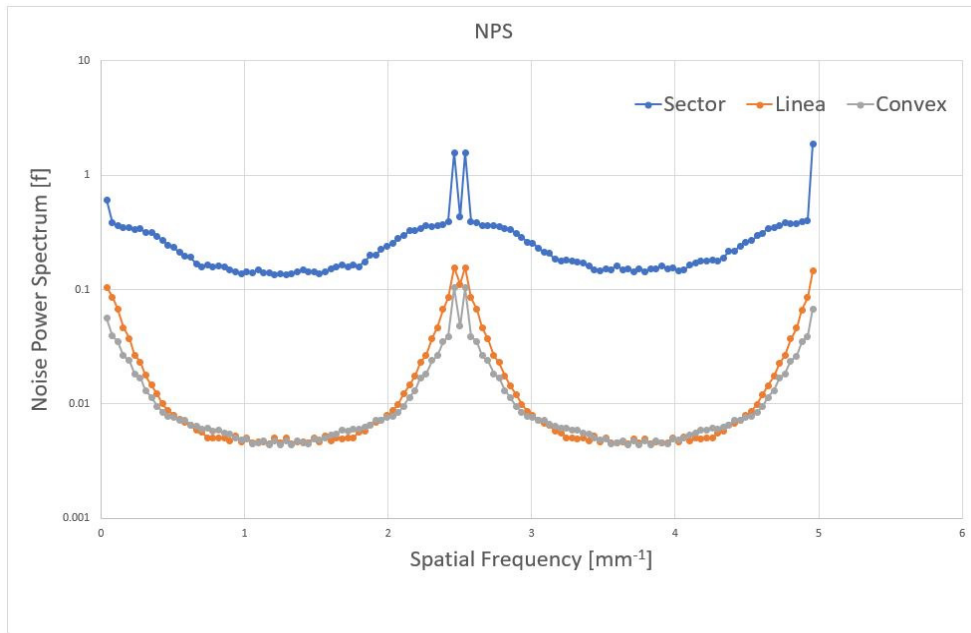


Fig. 2. Comparison of NPS graphs of the Convex, Linear, Sector probe images by using ATS 535H Basic QA Phantom

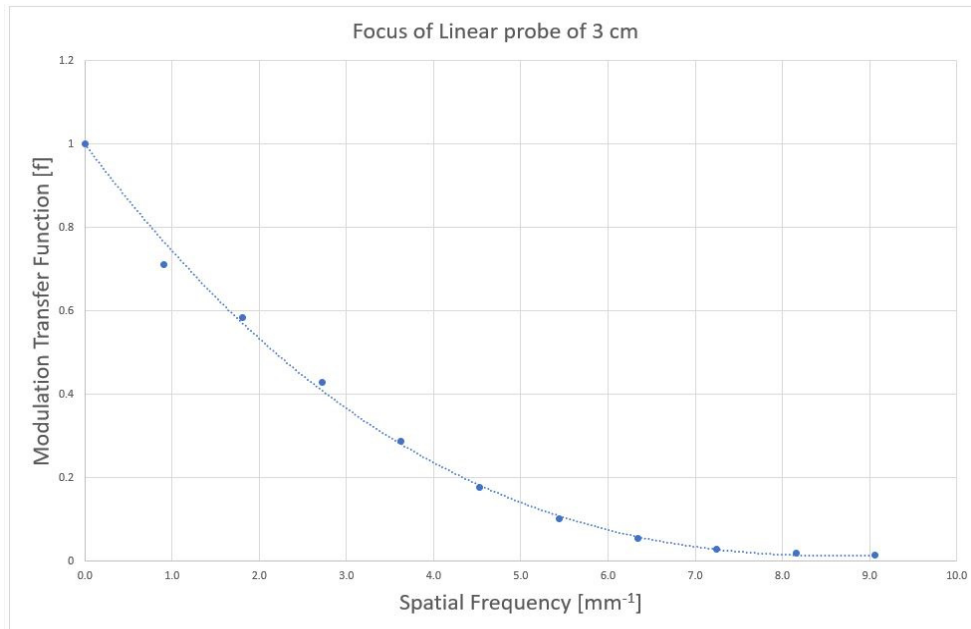


Fig. 3. MTF graphs of the focus of Linear probe of 3 cm image by using ATS 535H Basic QA Phantom

Linear 11L (10~13 MHz), Sector 3SP (3~5.5 MHz) 프로브를 이용한 잡음전력스펙트럼 결과값은 각각의 잡음 분포값은 나이키스트 주파수 1.0 mm^{-1} 에서 Convex 4C는 0.0049, Linear 11L는 0.0049, Sector 3SP는 0.1422로 나타났으며, 특이할 만한 내용은 나이키스트 주파수 2.5 mm^{-1} 에서 Convex 4C는 0.0480, Linear 11L는 0.1039, Sector 3SP는 0.4299로 나타났다[Table 1, Fig. 2].

2. 초점이 다른 Linear 프로브의 변조전달함수 비교

ATS 535H Basic QA 팬텀을 이용한 Linear 11L (10~13 MHz) 프로브를 이용한 변조전달함수 결과값은 각각의 잡음 분포값은 나이키스트 주파수 1.0 mm^{-1} 일 때 초점 3 cm에서는 0.7511로 나타났으며, 초점 4 cm에서는 0.9001로 나타났다. 변조전달함수 값이 0.5일 때 나이키스트 주파수는 초점 3 cm에서는 2.2 mm^{-1} 이며, 초점 4 cm에서는 2.5 mm^{-1} 이다[Table 1, Fig. 3, 4].

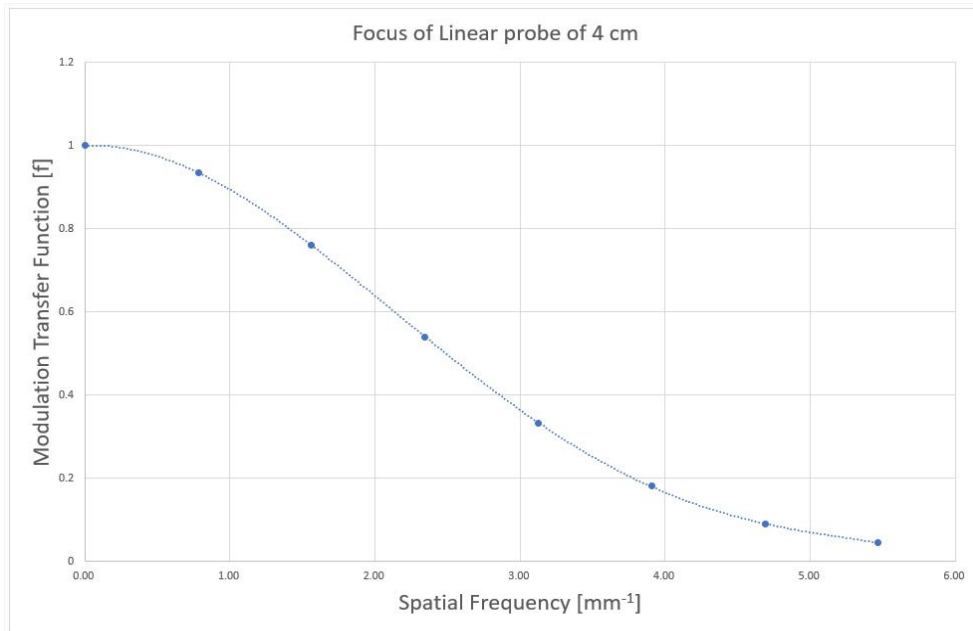


Fig. 4. MTF graphs of the focus of Linear probe of 4 cm image by using ATS 535H Basic QA Phantom

IV. 고찰

논문에서는 임상적이면서, 실용적으로 접근할 방법을 모색하기 위해서 초음파 의료장비를 이용해서 잡음전력스펙트럼과 변조전달함수 측정을 위해서 ATS 535H Basic QA 팬텀을 가지고 초음파 의료영상을 획득하였다. 연구의 결과값들은 초음파 의료영상에서 나타나는 여러 가지 정량적 평가 들을 표현하고 있다. 정량적인 결과값들은 영상에 표현 되는 진단에 도움을 주는 방법으로 보다, 간단하면서도 편리한 주기적인 초음파영상 품질을 통해서 의료영상에 대한 품질보증을 실시한다면 장비의 효율성 및 진단 및 진료에 유용하게 사용하는 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

일반적으로 의료영상에 대한 평가방법이 여러 가지가 있지만, 그중에서도 공간 분해능(Spatial Resolution)에 대한 평가방법이 정량적·정성적 방법이 혼용하는 방법을 임상에서 사용하고 있다. 특히나 많이 쓰이는 통계적 유의성에 의한 평균의 표준편차에 의한 방법 등을 구현하고 있는 것이 사실이다[6,9]. 또 다른 방법으로는 영상의 일정 영역에 대한 ROI를 확인함으로써 신호대 잡음비나 대조도대 잡음비로 표현하는 방법도 일반화 되었다[6,9]. 그러므로, 평가 방법들에 대해서 편리성을 확보하고, 주기적인 평가 방법을 시행하는 것이 필요하다고 생각한다. 이번 연구에서는 점확산함수(Point Spread Function; PSF)를 확인 후에 Fig. 1에서의 영상프로파일이 가우시안함수의 형태로 잡음 분포를 확인할 수 있었으며, 이후 Fourier Transform (FT)

해서 해상력특성을 확인하였다[Fig. 1]. 초음파 의료영상은 Fig. 1에서 보듯이 방향성에 크게 의존하기 때문에 영상의 가장자리의 각도 변화는 결과적으로 잡음전력스펙트럼 및 변조전달함수에 큰 영향을 줄 수 있다[1,2]. 그 이유는 점 확산함수(PSF)의 잡음의 분포가 가우시안 형태의 불규칙한 Fig. 1을 보면 확인할 수 있다. 그리고 조직 등가 팬텀에 사용할 수 있는 팬텀의 재질들은 가장자리 모서리가 매우 정확하게 유지되지 않을 수 있다[2] 또 한편으로 초음파 영상은 방향과 깊이 그리고 주파수에 따라서 크게 의존한다 [1,2]. 그러므로 초음파 의료영상에 대해 재현성이 유지 가능하고 비교 가능한 잡음전력스펙트럼 및 변조전달함수를 얻는데 있어 매우 중요한 정량적 평가의 기준이 될 수 있다.

기존의 의료영상장비의 CR, CT, MRI, LINAC, Mammography 등 잡음전력스펙트럼들의 형태를 보면 공간해상력이 높을 수록 저주파수의 공간해상력보다는 낮게 측정되는 것이 일반적이지만, 초음파 의료영상에서의 측정된 값들은 Fig. 2에서 보듯이 중간지점의 주파수 영역대에서 잡음이 많은 상태로 표현이 된다[10,11,16,17]. 이는 초음파의 물리적인 특성으로 되돌아오면서 나타나는 영상의 균질성(Image Intensity Uniformity)들이 라고 할 수 있다[1,2]. 따라서, Linear 프로브가 가장 노이즈가 적은 값으로 표현 되는 유도 모서리 부분까지도 정확성을 유지하면서 영상을 얻는 방법의 표현이라고 생각 된다[1,2].

그리고, 다른 측정값들중에 변조전달함수 값이 초점 깊이 에 따라서 주파수에 따르는 값들의 변화등을 보았을 때 파

라미터 중 초점이 작을수록 공간해상력값이 좋은 결과를 도출해 내었다. 그 이유는 4 cm 깊이에서의 변조전달함수는 3 cm에서의 측정값들 보다는 좀 더 좋은 이유이기도 하다 [Fig. 3, 4]. 또 다른 해석으로는 초점의 깊이에서의 상대적인 잡음전력스펙트럼값이 다른 프로브들 보다 Linear 프로브가 상대적으로 좋은 이유가 될 수 있다고 할 수 있다(잡음값이 적다는 것은 좋은 값을 표현한다). 따라서, Fig. 1에서 보듯이 초점이 달라질수록 그리고 프로브를 선형적으로 적용하지 않았을 시에도 점 확산함수(PSF)에서 보듯이 잡음이 많이 포함되어 있음을 알 수 있다. 그러므로 잡음전력스펙트럼은 균질성(Image Intensity Uniformity)을 평가할 수 있으며, 변조전달함수로는 해상력을 평가할 수 있다고 저자들은 생각 한다[Fig. 2],[1, 2, 4, 10].

마지막으로, Marcus Kaar 등은 팬텀을 개발하여 원형의 방사형 형태의 공간해상도를 측정하는 방법의 결과 변조전달함수 곡선은 모든 방향에서 평균화된 원본 이미지의 방사형 변조전달함수 품질을 나타낸다[2]. 그리고, 더 높은 주파수 초음파 의료영상으로 계산된 변조전달함수는 더 낮은 주파수 영상보다 모든 공간주파수에서 더 높은 전송 백분율을 보여준다[2]. 앞으로의 정량적 측정은 잡음전력스펙트럼이나, 변조전달함수에 대한 측정법에 대해서 일반적으로 많이 사용하는 다양한 의료 장비의 측정법의 일반화를 비롯한 Edge법 및 점확산함수를 이용하여 측정된다면, 특히나 팬텀의 개발에 의한 측정법들이 일반화 된다면 정량적 평가 방법이 보다 쉽게 측정하는 법으로 널리 이용되기를 희망한다. 따라서, 연구에서는 향후 측정을 위한 인체에 맞는 초음파 팬텀 개발을 하여 정량적인 측정 방법을 일반화 해야 한다고 생각한다.

V. 결론

연구는 초음파의료장치의 품질보증에 대해서 초음파 의료영상을 이용하여, 정량적 평가방법을 제시하였으며, 공간해상력에 대한 특성을 연구하였다. ATS 535H Basic QA 팬텀을 이용하여 기준이 되는 잡음전력스펙트럼과, 변조전달함수의 정량적 평가로 인해서 임상에서 장비 유지를 위한 품질관리를 효율적으로 사용할 수 있으며, 공간해상특성에 대한 정량적 품질보증 평가 방법을 준용하고, 초음파 의료장치의 물리적 해상 특성 결과값을 제시하였다는 데 의의가 있다.

REFERENCES

- [1] Sipila O, Mannila V, Vartiainen E. Quality assurance in diagnostic ultrasound. *European Journal of Radiology*. 2011;80:519–25.
- [2] Kaar M, Semturs F, Figl M, et al. Quality Assurance for Ultrasound Scanners using a durable tissue-mimicking Phantom and radial MTF. *SPIE*. 2014;V9040;3:90401C7
- [3] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al. Comparison of Noise Power Spectrum in Measurements by Using International Electrotechnical Commission Standard Devices in Indirect Digital Radiography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2018;41(5):457–62.
- [4] Min JW, Jeong HW, Kim SC. Evaluation of Noise Power Spectrum Characteristics by Using Magnetic Resonance Imaging 3.0T. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(1):279–88.
- [5] Min JW, Jeong HW, Han JH, et al. Evaluation of the Resolution Characteristics by Using American College of Radiology Phantom for Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2022;45(1):11–7.
- [6] Lee JW, Ahn KJ, Lee SK, Na DG, Oh CH, Chang YM, et al. Usefulness of ACR MRI phantom for quality assurance of MRI instruments. *Journal Korean Society Radiology*. 2006;54(1):47–55.
- [7] 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.
- [8] Steckner MC, Drost DJ, Prato FS. Computing the modulation transfer function of a magnetic resonance imager. *Med. Phys.* 1994;21:483–9.
- [9] 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):251–7.
- [10] 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.

- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Greer PB, Van Doorn T. Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method. *Medical Physics*. 2000;27:2048.
- [15] IEC(International Electro-technical Commission) 62220-1. *Medical electrical equipment Characteristics of digital X-ray imaging devices Part 1: Determination of the detective quantum efficiency*. Geneva; 2003.
- [16] 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.
- [17] 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.

구분	성명	소속	직위
제1저자/교신저자	민정환	신구대학교	부교수
공동저자	정희원	백석문화대학교	부교수
공동저자	강혜경	신구대학교	조교수