

<원저>

컴퓨터단층검사에서 AAPM Phantom을 이용한 변조전달함수 평가

- Evaluation of the Modulation Transfer Function for Computed Tomography by Using American Association Physics Medicine Phantom -

강동경희대병원 영상의학과·¹⁾서울아산병원 영상의학과·²⁾백석문화대학교 방사선과
³⁾순천향대학교 의과학과·⁴⁾동남보건대학교 방사선과·⁵⁾원광보건대학교 방사선과·⁶⁾신구대학교 방사선과
 김기원·최관우¹⁾·정희원²⁾·장서구³⁾·권경태⁴⁾·손순룡⁵⁾·손진현⁶⁾·민정환⁶⁾

— 국문초록 —

임상적으로 computed tomography (CT)에서 정기적인 quality assurance (QA)는 요구되는 사항이다. 본 논문에서는 CT 검사에서 공간분해능에 대해서 AAPM Phantom을 이용하여 정확한 성능 분석을 위해 변조전달함수를 평가하고자 한다.

CT장비는 dual source somatom definition flash (siemens healthcare, forchheim, Germany), brilliance 64 (philips medical system Netherlands), aquilion 64 (toshiba medical system, Japan)를 사용하였으며, Image J (wayne rasband national institutes of health, USA)프로그램을 실행하여 변조전달함수의 측정 방법인 chart method를 이용하여 영상에 대해서 정량적인 평가방법을 시행하였다.

변조전달함수를 이용하여 평가한 결과, 공간주파수를 이용한 데이터 값이 높아짐에 따라 변조전달함수는 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 CT 장비에서 변조전달함수는 공간주파수(50%)에 있어서는 0.58, 0.28 0.59 mm⁻¹으로 나타났으며, 변조전달함수 공간주파수(10%)에 있어서는 1.63, 0.89 1.21 mm⁻¹으로 나타났다.

본 연구에서는 chart method를 이용하여 변조전달함수의 공간해상력에 대한 특성을 확인하고, 정량적인 평가방안을 제시하였다는 점에서 학술적 의의를 둘 수 있다.

중심 단어: 변조전달함수, 공간해상력

I. INTRODUCTION

임상적으로 computed tomography (CT)에서 정기적인 quality assurance (QA)는 적어도 최소한 공간 분해능, 대조도 분해능, 방사선 선량의 측정이 포함되어야 한다. QA에 사용가능하고 임상에 사용하는 팬텀들은 대부분의 목적에 부합하며, 임상적 팬텀의 장점 중 하나는 디지털 CT영상들에 대한 평가에 요구되는 중요한 이유 중에 하나인 것이다. 또한, 방사선치료에서도 모의치료는 방사선을 이용하여 암 치료 환자에게 치료계획을 세우기 위한 것으로 영상의학과

에서 진단을 목적으로 검사한 CT, magnetic resonance image (MRI), sonography 등의 영상을 이용해서 모의치료 계획실에서 CT 치료 계획하여 일반화되어 사용하고 있으며, 최근 국내에서도 CT simulator의 사용이 확대되면서 장비사용에 따른 QA가 필요하게 되었다^[1-5]. 따라서 CT의 QA항목 중에서 영상의 질을 결정하는 중요한 요소인 공간 분해능을 평가하기 위해 표준 팬텀인 American association physics medicine (AAPM) CT performance phantom 76-410 모델로 영상검사를 수행한다.

표준 팬텀 화질평가의 검사항목으로는 물의 CT감약계수, 노이즈, 균일도, 슬라이스 두께(5 mm 및 10 mm), 공간분해능, 저대조도분해능, 인공물유무 등이 있다. 공간분해능은 신호 대 잡음비(signal to noise ratio; SNR)와 대조도 대 잡음비(contrast to noise ratio; CNR)를 이용하여 평가한다. 노이즈에 영향을 미치는 인자로는 양자노이즈, 검출기의 전자적 노이즈, 피사체의 산란선의 크기와 산란선, 관전압과 필터, 재구성 알고리즘, 픽셀의 크기, 슬라이스 두께 등이 있다. 하지만 이러한 값들의 결과 값은 서로간의 독립적인 값으로 사용될 경우 시스템 전체의 정확한 성능 분석의 어려움이 따른다. 그러므로 정확한 방법으로 공간주파수의 전체 영역에서 신호에 대한 전달능력과 정량적 공간주파수를 측정하는 방법으로 변조전달함수(modulation transfer function; MTF)를 이용하여 평가하는 것이 적당하다. 기존의 선행연구에서는 노성순 등의 논문에서 AAPM Phantom을 이용한 CT 영상 평가 시 정량적 평가로 CNR을 사용하였고^[2], 또 다른 논문의 이원정 등에서는 흉부 CT촬영에서 저 선량 프로토콜의 선량과 화질을 SNR과 CNR방법을 이용한 영상평가를 시행하였다^[3]. 그 외 다른 논문의 민정환 등에서는 SNR과 CNR방법을 이용하여 흉추 측면검사 영상을 평가하였다^[6]. 위와 같은 선행논문들은 정량적 평가 지표인 CNR과 SNR의 대표적인 논문이라 할 수 있다. 하지만, 해상력과 대조도 분해능을 보는 방법론에서는 또 다른 방법론이 제시되고 있다. 정확성과 정량성을 확보하기 위해서 해상력에 관련된 공간분해능을 알 수 있는 변조전달함수라는 평가 툴을 이용하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 CT 검사에서 공간분해능에 대해서 AAPM Phantom을 이용하여 분석을 통한 변조전달함수를 평가하고자 한다^[7].

II. MATERIALS AND METHODS

1. The X-ray imaging system

CT장비는 dual source somatom definition flash (siemens healthcare, forchheim, Germany), brilliance 64 (philips medical system Netherlands), aquilion 64 (toshiba medical system, Japan)를 사용하였으며, AAPM phantom (model #76-410 CT phantom, nuclear associates)으로 획득한 영상을 사용하였다. 또한, Image J (wayne rasband national institutes of health, USA) 프로그램을 실행하여 정량적인 평가방법을 시행하였다.

2. Image acquisition

공간분해능이란 고대조도 분해능과 거의 같은 개념으로 사용되고 있다. 원래는 영상이 나타나는 흐림의 정도를 구분하기 위해서 사용되는 용어지만 CT에서는 균일한 배경 하에서 미세한 크기의 선 흡수계수 차이가 큰 물질이 인접해 있을 때 장치가 이를 어느 정도까지 구별하여 식별할 수 있는가를 나타내는 능력을 의미하고 X축과 Y축의 해상능력 평가를 의미한다. 미국 의학물리학자 협의회에서 고안된 CT 성능평가용 팬텀인 AAPM Phantom을 사용하였다^[8]. 이는 특수의료장비의 설치 및 운영에 관한 규칙에 의거한 CT 팬텀 영상검사의 표준 팬텀으로 사용되고 있으며, 정도관리 검사에서도 필요한 팬텀이다. 직경이 21.6 cm인 아크릴 재질의 원통형이며, CT number calibration 블록, 슬라이스 두께측정 블록, 공간 분해능 측정용 블록, 대조도 분해능 측정용 블록, 그리고 beam alignment 및 노이즈 측정용 블록 5부분으로 구성되어 있다. 그 중 공간 분해능 측정용 블록에는 직경이 1.75 mm, 1.50 mm, 1.25 mm, 1.00 mm, 0.75 mm, 0.60 mm, 0.50 mm, 0.40 mm의 구멍이 4.3 mm 간격으로 5개씩 그룹화 되어 있으며 총 8그룹의 구멍들로 구성되어 있으며, 기준에는 Window Width는 300~400, Window Level은 -200~-100일 때 0.40 mm까지 보이고 1.0 mm에서까지 5개의 구멍이 모두 식별이 가능하게 보여야 한다(Fig. 1). 3개의 CT장비에서 공간분해능 측정용 블록의 중앙부를 10 mm 슬라이스 두께로 single slice scan 해서 영상을 얻는다^[9].

3. MTF 측정

변조전달함수의 일반적인 처리 과정은 CT와는 달리 file을 load 후 edge positioning하고 gain offset을 한다. Dead pixel correction을 한 뒤 region of interest (ROI)를 추출하고, pre-sampling을 한다. 다음으로 ESF를 smoothing하고 ESF differentiation을 한 후 LSF를 Fourier 변환한다. 위 사항에서의 변조전달함수 측정방법에는 slit method, chart method, edge method가 있다. Slit method를 이용하여 line spread function (LSF)를 구할 수 있고, edge method를 이용하여 edge spread function (ESF)를 구하여 미분하면 edge에 수직인 LSF를 구할 수 있고 LSF의 Fourier변환을 이용하여 변조전달함수를 구할 수 있다. 또한, 변조전달함수의 chart method는 영상의 형성 능력을 측정하기 위한 응답함수를 결정하는 것으로 정현파의 입력과 정현파의 출력과의 진폭의 비를 공간주파수의 함수로 표현한 것으로 정보전달 신호의 진폭 또는 강도, 양의 변화를

영상시스템에서 정량적인 분해능을 관측할 수 있으며, X-선 검출 시스템 정보 전달 능력과 기록 능력을 평가하는데 상당한 정확성을 제공한다^[10,11].

본 연구에서는 CT MTF에서 chart method 방법을 이용하여 Fig. 1에서의 Excel을 이용한 정량적인 평가방법으로 산출하게 되었으며^[10], 팬텀의 공간분해능 측정 영상을 이용한 변조전달함수평가로는 AAPM Phantom으로 얻은 공간분해능 측정 영상은 한 줄에 5개의 점으로 이루어진 8단계의 점이 있고 각각의 점은 주파수를 가지고 있으며 변조전달함수의 측정 방법인 chart method를 이용하여 영상평가를 시행하였다. AAPM Phantom 영상을 이용하여 값을 구하고 표준편차 값이나 최대값, 최소값, 베이스값등을 이용하여 평가방법을 고려하였다. 그리고 공간분해능 측정 영상을 Image J (wayne rasband national institutes of health, USA)프로그램을 실행하여 각각의 점들이 가지는

주파수 데이터 값을 얻어 데이터 값을 입력하여 그래프로 나타내고 저주파에서 고주파까지 여러 가지 주파수의 정현파를 입력해 그 출력 정현파의 폭이 입력 정현파의 진폭에 대해 어떻게 변화하는지 확인하고 입력과 출력 정현파의 최대값과 최소값 차이의 진폭 비를 평가하였다(Fig. 1).

III. RESULTS AND DISCUSSION

AAPM Phantom을 이용하여 얻은 공간주파수 데이터 값을 이용하여 변조전달함수를 구하였고 그래프를 횡축은 공간주파수를 종축은 변조전달함수값을 입력하였다(Fig. 2). 변조전달함수 그래프에서 100%(1.0)에 가까울수록 많은 정보를 수집할 수 있으며 50%(0.5)에 해당하는 공간주파수 값은 선예도를 나타내고, 10%(0.1)에 해당하는 공간주파수 값

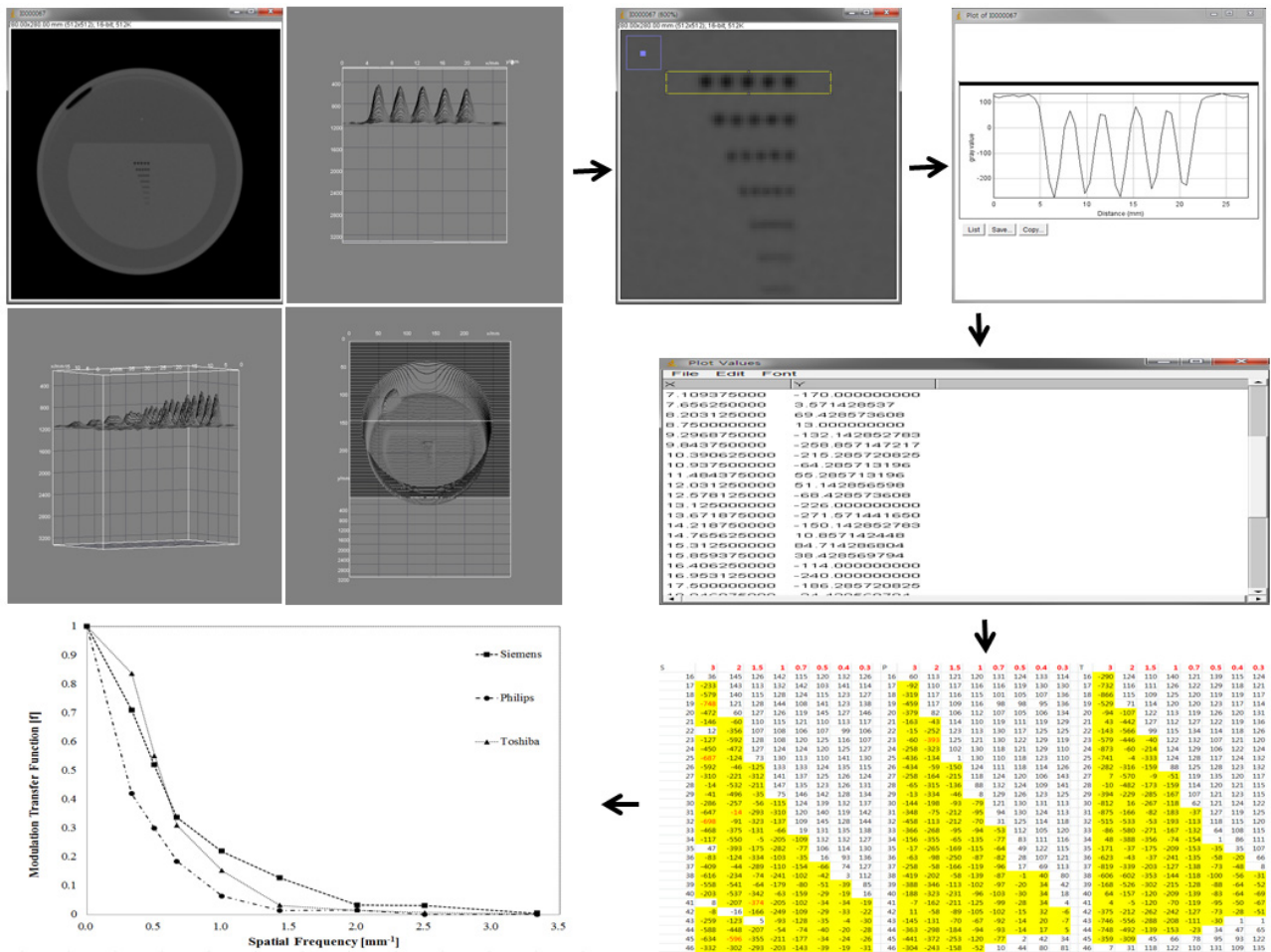


Fig. 1 MTF evaluation by using the chart method and spatial measurement image of AAPM phantom, The spatial resolution measurement image acquired AAPM phantom consist of 5 point on one line and 8 steps have each frequency. The evaluation for amplitude between max value and min value of input and output sine wave by using image J (wayne rasband national institutes of health, USA) and acquiring the frequency data of each point. The data were on graph

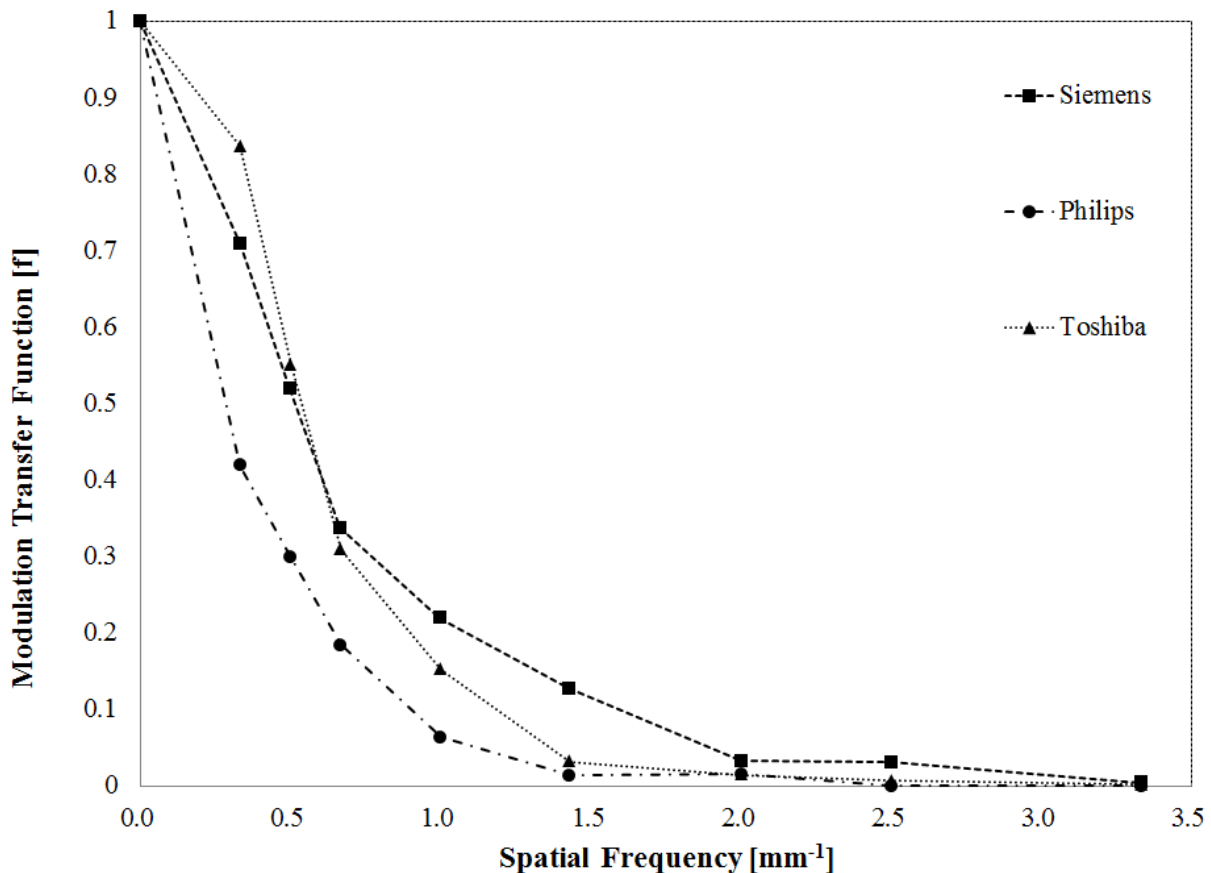


Fig. 2 Comparison of MTF curves for the Siemens, Philips and Toshiba CT devices

은 해상력을 나타낸다^[11-13]. 결과값은 Siemens CT 장비에서는 8개의 공간해상력 단계에서, 변조전달함수는 공간주파수 0에서 1, 0.5에서 0.58, 0.1에서 1.63 mm⁻¹으로 나타났다. Philips CT 장비에서 변조전달함수는 공간주파수 0에서 1, 0.5에서 0.28, 0.1에서 0.89 mm⁻¹으로 나타났다. Toshiba CT 장비에서 변조전달함수는 공간주파수 0에서 1, 0.5에서 0.59, 0.1에서 1.21 mm⁻¹으로 나타났다. 따라서 CT의 정도 관리 항목에서 영상의 질을 결정하는 중요한 요소인 공간분해능을 평가하기 위해 표준 팬텀인 AAPM Phantom으로 영상검사를 수행한 후 공간분해능을 변조전달함수를 이용하여 평가한 결과, 공간주파수를 이용한 데이터 값이 높아짐에 따라 변조전달함수는 감소됨을 알 수 있었다. 따라서 CT 장비에서 변조전달함수는 공간주파수 (50%)에 있어서는 0.58, 0.28 0.59 mm⁻¹으로 나타났으며, 변조전달함수 공간주파수(10%)에 있어서는 1.63, 0.89 1.21 mm⁻¹으로 나타났다.

CT에 대한 영상을 환자로부터 얻으려 할 때 검출기 간격은 환자로부터 X-ray profile로부터 X-ray profile을 sampling 한다. 또한 사용된 재구성 알고리즘은 간격 매트

릭스에 투영된 데이터를 역 투영 한다. 그러면, 재구성된 데이터는 선택된 display field of view (FOV)에 의존하는 display된 매트릭스에(혹은 정리된) 덧붙여지게 된다. 일련의 과정에서 CT에서는, 영상 획득, 재구성, 디스플레이를 형성하는 많은 단계들이 있고 data는 별개의 sampling에 영향을 받게 되어 있다. 따라서, 이러한 처리는 변조전달함수에 대해 영향을 줄 수 있다. 또한, Display FOV가 충분하지 않을 때(영상 매트릭스가 공간주파수를 제한하지 않기 위해), 여기에 기술한 것처럼 변조전달함수측정은 raw 데이터 재구성 영상의 분해능 점유율을 반영 함으로서 적잖은 데이터 영향을 주게 된다. 그러므로 본 논문에서는 raw 데이터를 이용해야 함에도 불구하고 post processing 되어 있는 데이터로 변조전달함수를 산출하게 되었다. CT data file은 영상 분석을 위한 영상화 워크스테이션으로부터 PACS 서버로부터 변환되었으며, digital image communicated of medicine (DICOM) 화일이 PACS 기준으로 크게 장점이 내 새워지는 반면 영상들은 연구 환경에서 덜 유용하게 만드는 다양한 header들을 가지고 있다. 그러므로, DICOM 영상들을 이용함에 있어서도 신중히 접근하는 것이 좋을 것

으로 사료된다.

정량적인 방법으로 측정을 할 때 참고 해야 할 사항이 있다. 팬텀 면적들에 적절한 가장 작은 displayed FOV이 사용되어야 한다. 그렇지 않으면, post-sampling 픽셀 간격 (영상 display 매트릭스)는 분해능을 제한 할 수 있으며, 변조전달함수산출에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 작은 display FOV가 바람직하기 때문에 팬텀의 면적들은 또한 상대적으로 작아야만 한다는 의미를 가지고 있다. 그리고 CT에서 변조전달함수에 영향을 주는 수많은 factor들이 있다. 검출기 폭과 간격, focal spot size, 재구성 kernel, display FOV 각각은 공간 분해능에서 영향을 가진다. 재구성 kernel은 강력하게 영상 특성들에 영향을 미친다. 하지만 CT 장비 생산자들은 일반적으로 재구성 kernel들의 실제적인 모양을 알려주지 않는다. 따라서 CT장비의 변조전달함수의 측정 결정은 각각의 이용 가능한 kernel의 주파수 반응을 평가하는 쉬운 수단을 제공하기 위해서는 본 논문에서 쉽고 간단한 chart method를 이용하여 sampling된 데이터를 이용하게 되었다.

의료 영상 평가에서 많은 평가 방법이 존재한다는 것은 절대적 평가 방법이 없다는 것을 의미한다. X-ray를 통해 의료영상을 생성하는 시스템의 화질 결정 요인은 다양하므로 변조전달함수 측정만으로 화질을 평가하기에는 무리가 따른다. 그리고 임상에서 의료장비의 절대적인 정량값을 측정하는 것도 실험 환경적인 문제와 실험 도구 등의 문제로 인해 어려움이 따르기 때문에 최적의 시스템을 위한 노력으로 변조전달함수평가와 임상 적용 시 실무자의 의한 변조전달함수 평가를 함께 병행하는 노력이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 CT에서 AAPM Phantom을 이용한 변조전달함수평가방법이 보다 더 정확한 정량적인 평가방법으로 확인 할 수 있었으며, 변조전달함수를 이용하여 영상의 화질을 평가하는 것이 더욱 향상된 의료 영상의 특성에 대해서 알 수 있을 것이라고 사료된다.

IV. CONCLUSION

본 연구에서는 CT검사특성상 검출기 폭과 간격, focal spot size, 재구성 kernel, display FOV에 의해서 특정 데이터에 영향을 미칠 수 있는 제한 점이 있다. 그럼에도 불구하고 CT장비에 있어서 정량적인 특성평가가 이루어졌으며, 향상된 의료영상의 특성을 확인하는 계기가 되어야 한다고 생각한다. 또한, 본 연구에서는 chart method를 이용하

여 변조전달함수의 공간해상력에 대한 특성을 확인하고, 정량적인 평가방안을 제시하였다는 점에서 학술적 의의를 들 수 있다.

REFERENCES

1. Ho-Beom Lee, Kwan-Woo Choi, Jung-Whan Min, et al: Phase image of susceptibility weighted using high pass filter improved uniformity. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 15(11), 6702-6709, 2014
2. Sung-Sun Noh, Hyo-Sik Um, Ho-Chul Kim: Development of Automatized Quantitative Analysis Method in CT Images Evaluation using AAPM Phantom. The institute of electronics and information engineers, 51(12), 2014
3. Won-Jeong Lee, Bong-Seon Ahn, Young-Sun Park: Radiation Dose and Image Quality of Low-dose Protocol in Chest CT: Comparison of Standard-dose Protocol. Journal of radiation protection and research, 37(2), 2012
4. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Evaluation of Image Quality for Various Electronic Portal Imaging Devices in Radiation Therapy. Journal of Radiological Science and Technology, 38(4), 451-461, 2015
5. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Comparison of noise power spectrum methodologies in measurements by using Various Electronic Portal Imaging Devices in Radiation Therapy. Journal of Radiological Science and Technology, 39(1), 97-104, 2016
6. Jung-Whan Min, Ki-Won Kim, Kwang-Yuel Ryu et al: Comparison Study on CNR and SNR of Thoracic Spine Lateral Radiography. Journal of Radiological Science and Technology, 36(4), 280-273, 2013
7. IEC (International Electrotechnical Commission), IEC 62220-1 (2003)
8. Keun-Jo Jang, Dae-Cheol Kweon: Case Study of Quality Assurance for MDCT Image Quality Evaluation Using AAPM CT Performance phantom. Journal of the Korea contents association, 7(7), 2007

9. Seong-min Ha, Sung-hee Jung, Hyuk-Jae Chang, Eun-Ah Park, Hack-joon Shim: Effects of Iterative Reconstruction Algorithm, Automatic Exposure Control on Image Quality, and Radiation Dose: Phantom Experiments with Coronary CT Angiography Protocols. *PROGRESS in MEDICAL PHYSICS*, 26(1), 2015
10. Jung-Min Kim, Jung-Whan Min, Hoi-Woun Jeong et al: Correction Method of slit Modulation Transfer function on Digital Medical Imaging System, *Journal of Radiological Science and Technology*, 29(3), 133-139, 2006
11. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Measurement of Image Quality According to the Time of Computed Radiography System, *Journal of Radiological Science and Technology*, 38(4), 365-374, 2015
12. Willi A. Kalender. *Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image quality, Applications*, Publicis Publishing, 2011
13. IEC 61223-3-5, Ed.1 (2004-08) Evaluation and routine testing in medical imaging departments- Part 3-5: Acceptance tests - Imaging performance of computed tomography X-ray equipment

•Abstract

Evaluation of the Modulation Transfer Function for Computed Tomography by Using American Association Physics Medicine Phantom

Ki-Won Kim·Kwan-Woo Choi¹⁾·Hoi-Woun Jeong²⁾·Seo-Goo Jang³⁾
Kyung-Tae Kwon⁴⁾·Soon-Yong Son⁵⁾·Jin-Hyun Son and Jung-Whan Min⁶⁾

Department of Radiology, Kyung Hee University Hospital at Gang-dong

¹⁾*Department of Radiology, Asan Medical Center*

²⁾*Department of Radiological Technology, Baekseok Culture University*

³⁾*Department of Medical Science, Soonchunhyang University*

⁴⁾*Department of Radiological Technology, Dongnam Health University*

⁵⁾*Department of Radiological Technology, Wonkwang Health Science University*

⁶⁾*Department of Radiological Technology, Shingu University*

In clinical computed tomography (CT), regular quality assurance (QA) has been required. This study is to evaluate the MTF for analyzing the spatial resolution using AAPM phantom in CT exam.

The dual source somatom definition flash (siemens healthcare, forchheim, Germany), the brilliance 64 (philips medical system Netherlands) and aquilion 64 (toshiba medical system, Japan) were used in this study. The quantitative evaluation was performed using the image J (wayne rasband national institutes of health, USA) and chart method which is measurement of modulation transfer function (MTF).

In MTF evaluation, the spatial frequencies corresponding to the 50% MTF for the CT systems were 0.58, 0.28, and 0.59 mm⁻¹, respectively and the 10% MTF for the CT systems were 1.63, 0.89, and 1.21 mm⁻¹, respectively.

This study could evaluate the characteristic of spatial resolution of MTF using chart method, suggesting the quantitative evaluation method using the data.

Key Words: Modulation transfer function (MTF), Spatial resolution (SR)