

Original Article

# SPECT/CT에서 인공고관절에 대한 감쇠보정지도 (Attenuation Map)의 매개변수 변화에 따른 금속 인공물 (Metal Artifact)의 영향 평가

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

김상규 · 김정열 · 박민수 · 조승현 · 임한상 · 김재삼

## Evaluation of the Effect of Metal Artifacts Varying the Parameters of the Attenuation Map for the artificial Hip Joint in SPECT/CT

Sang Gyu Kim, Jung Yul Kim, Min Soo Park, Seung Hyun Jo, Han Sang Lim and Jae Sam Kim

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

**Purpose** SPECT/CT scan to be performed attenuation correction on the basis of CT induce an overestimation of the site due to the beam hardening artifact by metal cover and reduce the images quality. Therefore, this study using a phantom that has been inserted artificial hip joint investigated that effect on the SPECT/CT image causing by metal artifact for varying the parameters of the Attenuation Map.

**Materials and Methods** Siemens Symbia T16 SPECT/CT equipment was used. Artificial hip joint was inserted to SPECT/PET phantom, 17 mm sphere of Bright Streak area in CT image was filled with Tc-99m so that the radiation activity was 8 times compared to background. And then Hot and Background was measured in varying Wide Beam Coefficient on Attenuation Map and RBR (Region to Background Ratio) of Metal and Non-Metal was calculated and analyzed depending on the presence or absence of the hip joint.

**Results** It tended to hot count of Non-Metal and Metal to increase as the value of the manual mode is increased, hot count ratio with the group of both manual mode 0.5 and 0.4 is the best match. Also, in automatic mode, the ratio of RBRNon-Metal and RBRMetal was 1.135, statistically significant difference was not observed in the manual mode 0.5 and 0.4.

**Conclusion** In the automatic mode of Wide Beam Coefficient in attenuation correction map, it was found that it is over-correction by 13.52%, it was possible to minimize the over-correction by the artifact in 0.5 and 0.4 of manual mode. Further studies should be performed in order to apply to a patient with the help of this and it is considered possible to reduce the over-correction by the metal artifact of an artificial hip joint for Hip-Resurfacing Arthroplasty patients, and to improve the diagnostic performance.

**Key Words** Attenuation Map, Artificial Hip Joint, Beam Hardening Artifact

## 서 론

- Received: September 22, 2014. Accepted: October 20, 2014.
- Corresponding Author: **Sang Gyu Kim**
- Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea  
Tel: +82-2-2228-6064, Fax: +82-2-2227-7062  
E-mail: 2nom39@yuhs.ac

SPECT/CT (Single Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography)는 임상 분야에서의 중요성이 강조되고 있으며, SPECT/CT 검사의 컴퓨터 전산화 단층촬영 (Computed Tomography, CT)은 해부학적 영상을 제공할 뿐만 아니라, SPECT 데이터를 보정하기 위한 감쇠보정지도를

● SPECT/PET 76-823 phantom



Fig. 1. Artificial hip joint was inserted to SPECT/PET phantom, 17 mm sphere of Bright Streak area in CT image was filled with Tc-99m so that the radiation activity was 8 times compared to background.

제공 한다.<sup>1-4)</sup>현재, 쌍선형 함수(bilinear function)가 SPECT/CT에 대한 감쇠보정공식으로 사용되고 있다. 이는, CT 값이 0 미만인 경우에는 핵종의 감쇠 계수는 물과 공기의 혼합 모델을 이용하여 계산되며, CT 값이 0 이상인 경우에는 물과 뼈의 혼합 모델을 이용하여 계산 된다.<sup>5)</sup>높은 원자번호의 금속이 존재할 때 낮은 에너지의 CT는 실제 SPECT 감쇠 보다 감쇠가 더 발생되었다고 평가되고 이로 인해 과보정이 발생 된다.<sup>6)</sup>실제로, 금속이 체내에 존재 때 CT를 기반으로 시행한 감쇠보정은 부정확 한 것으로 확인되었다.<sup>7)</sup>

인구의 고령화가 진행되면서 많은 금속 인공물 삽입술이 시행되고 있으며, 국민건강보험공단 통계에 따르면 고관절 전치환술을 시행한 환자는 5년간 연평균 12%가 증가하고 있는 추세이다. 이와 더불어 고관절전치환술을 시행한 환자는 전신 뼈 검사와 함께 SPECT/CT 검사도 증가하고 있다. CT를 기반으로 감쇠 보정이 시행되는 SPECT/CT 검사는 체내의 금속 인공 고관절 의한 선속경화현상(Beam Hardening)으로 인공물(Artifact)이 발생하게 된다.<sup>8)</sup>이는 SPECT 영상에서 주변 부위의 과대평가를 유발하는 감쇠보정으로 진단능을 저하시키는 원인이 된다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 인공 고관절에 의해 발생하는 인공물을 팬텀을 통해 재현하고, 감쇠보정지도에서 감약계수 자동설정이 유발하는 과대평가를 확인하며, 수동모드에서 이러한 과대평가를 줄일 수 있는 적정 기준값을 알아보려 한다.

## 대상 및 방법

### 1. Phantom 연구

고관절 삽입물에 의한 인공물을 재현하기 위해 SPECT/

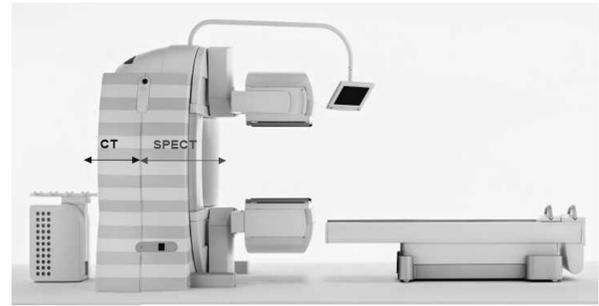


Fig. 2. SPECT/CT imaging was performed on a Symbia T16 (Siemens Medical System, CTI, Knoxville, TN, USA) scanner, which consists of a pair of low-energy, high-resolution collimators and a dual-head  $\gamma$ -camera and CT scanner.

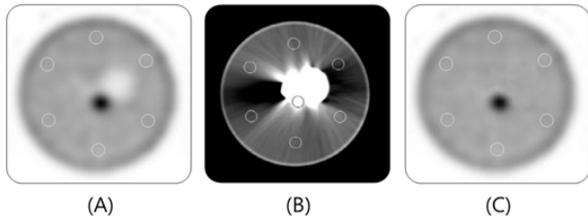
PET Phantom(Model: 76-823, Acrylic, 21.6×21.6×30.5)을 이용했다(Fig. 1). 고관절전치환술에 사용하고 있는 인공 삽입물을 Phantom 내부에 고정하여 SPECT/CT를 총 3회 반복하여 진행했다. SPECT/PET Phantom의 내부(7830 mL)에 배후 방사능이 70.88 kBq/mL가 되도록  $^{99m}\text{TcO}_4$ 를 물과 희석하여 채우고, CT 영상에서의 Bright streak 영역에 직경 17 mm의 구를 배후 방사능 대비 8배(567.05 kBq/mL)가 되도록  $^{99m}\text{TcO}_4$ 를 채워 고정하였다. 이 때 인체의 연부조직과 구조는 고려되지 않았다.

### 2. 영상 획득

사용된 장비는 Symbia T16 (Siemens Medical System, CTI, Knoxville, TN, USA)이다(Fig. 2). SPECT 영상 획득 조건은 Matrix Size 128×128, Zoom 1.00, 30 sec/view, 32 views, Step and Shoot, 140 keV Energy Window 15%로 설정하였고, SPECT 영상 재구성 방법으로는 3D OSEM (Ordered Subsets Expectation Maximization) 방법을 이용하여 Iteration 8, Subset 8, Gaussian FWHM 9.0, 감쇠보정과 산란보정을 적용하였다. 감쇠 보정에 이용된 CT의 조건은 110 kV, CARE Dose4D, Slice 5.0 mm, Pitch 1.2, Rotation 1.0 sec로 설정하였으며, 영상 재구성 방법으로 kernel B08s SPECT AC, Recon increment 5.0 mm, Window Pelvis로 설정하고 Extended FOV와 Extended CT scale은 적용하지 않았다. 영상 재구성에는 Syngo workstation (Siemens Medical Solutions)을 사용하였다.

### 3. 영상 분석

열소의 관심영역(Region Of Interest, ROI)과 동일한 크기



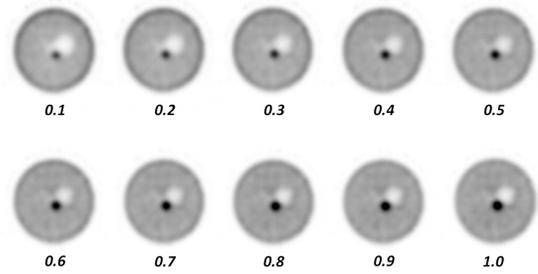
**Fig. 3.** (A) is a SPECT image when the artificial hip joint is present, (B) is a CT image when the artificial hip joint is present, (C) is a SPECT image when the artificial hip joint is absent. Background was measured in 6 locations set in the same size as the Hot.

의 배후방사능 관심영역 6개를 설정하고(Fig. 3), 3명의 방사선사가 5회 이상 반복하여 측정하였다. 감쇠보정지도에서 Beam Model의 넓은 빔 계수(Wide Beam Coefficient, WBC)의 변화에 따른 병소 대 배후방사능 비(Region to Background Ratio, RBR)를 산출하여 인공 고관절의 유무에 따라 비교하였다. 사용된 통계는 Paired t-test이며 SPSS 버전 17.0을 사용하였다.

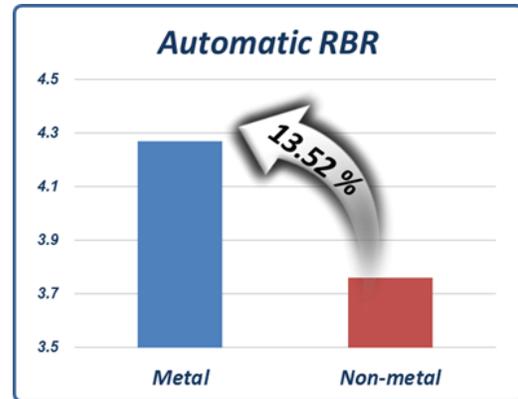
### 결 과

인공 고관절이 존재할 때 RBR은 WBC의 증가에 따라 증가하였고, 이에 비해 인공 고관절이 존재하지 않을 때는 WBC의 증가에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 인공 고관절의 유무에 따라 비교한 결과 WBC의 0.4와 0.5에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

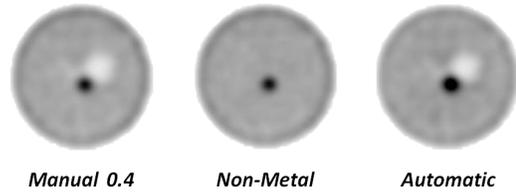
육안적인 평가에서도 인공 고관절이 존재할 때 열소 계수는 WBC의 증가에 따라 증가하였다(Fig. 4). Beam Model의 자동모드에서는 인공 고관절이 존재할 때  $4.26 \pm 0.03$ , 인공 고관절이 존재하지 않을 때  $3.76 \pm 0.03$ 으로 약 13.5% 증가하였다(Fig. 5).



**Fig. 4.** SPECT images corresponding to the change of the Wide Beam Coefficient.



**Fig. 5.** The overcorrection by artificial hip joint in the Automatic Mode of Attenuation Map.



**Fig. 6.** Use the WBC 0.4 of Attenuation Map, and minimize the overestimation.

**Table 1.** The table was measured Metal and Nonmetal in varying Beam Coefficient of Attenuation Map.

$\mu$ -Map	Wide										Narrow	Auto
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0		
Metal	*3.16 ±0.02	*3.37 ±0.03	*3.56 ±0.04	§3.72 ±0.03	§3.83 ±0.03	*3.99 ±0.04	*4.12 ±0.03	*4.23 ±0.03	*4.34 ±0.04	*4.44 ±0.03	*4.26 ±0.03	
Non Metal	*3.70 ±0.03	*3.73 ±0.04	*3.75 ±0.03	§3.75 ±0.03	§3.76 ±0.03	*3.76 ±0.02	*3.76 ±0.04	*3.76 ±0.03	*3.76 ±0.04	*3.77 ±0.04	*3.76 ±0.03	
p-value	*p<0.05 §Not statistically significant											

통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았던 WBC 0.4에서의 육안적인 평가 또한 변화를 보이지 않았으며, 자동모드에서 육안적인 변화를 확인 할 수 있다(Fig. 6).

## 고 찰

낮은 에너지 영역에서는 광전효과, 높은 에너지 영역에서는 콤프턴 산란이 감약의 주요 요인으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 낮은 에너지 CT를 이용한 감쇠 보정은 높은 원자번호의 인공 고관절 주변부위에서 bright streak 영역이 발생하게 되고, SPECT/CT 검사에서 고관절 주변의 염증성 질환 판별에 과대평가를 유발하여 진단능을 저하시키는 원인이 된다. 이와 더불어 PET/CT 검사에서도 영상의 Bright streak 영역에서 SUV가 높게 평가되었다.<sup>9)</sup>

듀얼 에너지 CT에서는 서로 다른 X선원이 물질을 투과하고 감약된 에너지를 선택적으로 재구성하여 에너지 파형에 따른 단일 에너지 파형의 CT영상(Monochromatic image) 획득이 가능해졌다.<sup>10)</sup> 금속 인공물 감약 방법은 금속 데이터가 있는 원시 데이터에 다차원 데이터 공간을 이용한 대리 감약 지수(surrogate attenuation value)를 사용하는 방식으로 금속 물질로 유발되는 인공물을 줄일 수 있다.<sup>11)</sup>

Akira Suzuki 등의 연구에서는 감쇠보정지도 2개를 적용하여 인공 고관절의 유무에 따라 8~20% 과대평가를 도출하였다. 이는 본 연구에서 13.52% 과대평가와 유사한 결과이며, 1개의 감쇠보정지도를 이용하여 Beam Model의 WBC를 확인한 결과, 자동모드의 감쇠보정은 WBC 0.8과 유사함을 확인할 수 있었다.

본 연구는 Phantom을 대상으로 시행한 것으로 임상에 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 이루어져야 한다. 또한, 다양한 인체 금속 삽입물을 비롯한 인공 관절의 크기와 구성 성분에 따른 연구를 진행한다면 CT를 기반으로 감쇠보정을 시행한 SPECT/CT 검사에서 정확성을 제고할 수 있을 것이다.

## 결 론

SPECT/CT 검사에서 CT를 기반으로 감쇠보정을 시행하는 경우 인체의 금속 삽입물에 의한 과 보정이 발생하고, 이는 감쇠보정지도의 WBC변화를 통하여 최소화 할 수 있었다. 감쇠보정지도의 기본값인 자동모드에서 인공 고관절에 의해 약 13.5% 과 보정이 발생하였으며, 이를 감쇠보정지도의 WBC 0.4와 0.5사이 값을 설정하여 최소화 할 수 있었다.

본 연구를 바탕으로 추후 치과용 보철물 또는 심장박동 조율기와 같은 다양한 인체 금속 삽입물에 대한 과 보정을 확인하고, 감소 시킬 수 있는 감쇠보정지도의 WBC 기준 값에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 요 약

CT를 기반으로 감쇠보정이 시행되는 SPECT/CT 검사에서는 금속 삽입물에 의한 선속경화현상으로 인접한 부위의 과대평가를 유발하며, 영상의 질을 저하시킨다. 이에 대해, 본 연구에서는 인공고관절이 삽입된 팬텀을 이용하여 감쇠보정지도의 매개변수 변화에 따른 금속 인공물이 SPECT/CT 영상에 미치는 영향을 알아보고자 한다. SPECT/CT 장비는 Siemens사의 Symbia T16을 사용하였다. SPECT/PET 팬텀에 인공고관절을 삽입하고, CT영상에서 Bright Streak 영역에 직경 17 mm의 구를 배후방사능 대비 8배가 되도록 Tc-99m을 채웠다. 이후 감쇠보정지도에서 Wide Beam Coefficient[수동모드(0.1~0.9), 자동모드]변화에 따른 열소와 배후방사능의 계수를 측정하였고, 고관절의 유무에 따라 Metal과 Non-Metal의 병소 대 배후방사능 비(Region to Background Ratio, RBR)를 산출 및 비교 분석하였다. 수동모드의 값이 증가할수록 Metal과 Non-Metal의 열소 계수는 증가하는 경향을 나타냈으며, 수동모드 0.4와 0.5에서 두 군과의 열소 계수비가 가장 일치하게 나타났다(수동모드 0.4=1.001, 0.5=0.999). 또한 RBR<sup>Metal</sup>과 RBR<sup>Non-Metal</sup>의 비는 자동모드에서 1.135이었고, 수동모드 0.4와 0.5에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(0.4=0.999, 0.5=1.028, p=0.78). 감쇠보정지도에서 Wide Beam Coefficient의 자동모드는 13.52% 과 보정 되는 것을 알 수 있었으며, 수동모드 중 0.4와 0.5에서 인공물에 의한 과 보정을 최소화 할 수 있었다. 이를 활용하여 환자에게 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이며, 고관절전치환술 환자의 인공고관절 주변에서 금속 인공물에 의한 과 보정을 감소시켜 진단능을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. Patton JA, Turkington TG. SPECT/CT physical principles and attenuation correction. *J Nucl Med Technol.* 2008;36:1-10.
2. Linke R, Kuwert T, Uder M, et al. Skeletal SPECT/CT of the peripheral extremities. *AJR.* 2010;194:329-335.
3. Utsunomiya D, Shiraiishi S, Imuta M, et al. Added value of

- SPECT/CT fusion in assessing suspected bone metastasis: comparison with scintigraphy alone and nonfused scintigraphy and CT. *Radiology*. 2006;38:264-271.
4. Horger M, Eschmann SM, Pfannenber C. Added value of SPECT/CT in patients suspected of having bone infection: preliminary results. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2007;127:211-221.
  5. Blankespoor SC, Wu X, Kalki JK, et al. Attenuation correction of SPECT using X-ray CT on an emission transmission CT system: myocardial perfusion assessment. *IEEE Trans Nucl Sci*. 1996;43:2263-2274.
  6. Akira Suzuki, Kichiro Koshida, and Kosuke Matsubara. Adjustment of Overestimated CT-Based Attenuation Correction on Bone SPECT/CT After Hip-Resurfacing Arthroplasty. *J Nucl Med Technol*. 2013;41:203-207.
  7. Amarasekera HW, Costa ML, Parsons N, et al. SPECT/CT bone imaging after hip resurfacing arthroplasty: is it feasible to use CT attenuation correction in the presence of metal implants? *Nucl Med Commun*. 2011;32:289-297.
  8. Fleming JS. A technique for using CT image in attenuation correction and quantification in SPECT. *Nucl Med Commun* 1989;10:83-97.
  9. Min Soo Park, Jun Cheol Ham, et al. The Study of Usefulness of Metal Artifact Reduction Algorithm and artifacts caused by metallic hip prosthesis on PET/CT. *Kor J Nucl Med Technol*. 2012;16(2):35-43
  10. Brown CL, Hartman RP, Dzyubak OP, et al. Dual-energy CT iodine overlay technique for characterization of renal masses as cyst or solid a phantom feasibility study. *European Journal of Radiology*. 2009;19(5):1289-1295
  11. Prell D, Kalender WA, Kyriakou Y. Development, implementation and evaluation of a dedicated metal artifact reduction method for interventional flat-detector CT. *British Journal of Radiology*. 2010; 83(996):1052-1062