

## PET/CT 검사에서 움직임에 의한 인공물의 산란제한보정법 적용 영상 평가

연세의료원 세브란스병원 핵의학과, 신구대학교 방사선과<sup>1</sup>

반영각 · 이승재 · 김정열 · 오신현 · 남궁혁 · 박훈희<sup>1</sup> · 강천구 · 임한상 · 이창호

### Correction of Artifacts due to Patient Arm Motion in PET/CT: Scatter-Limit Correction

Young Kag Bahn, Seung Jae Lee, Jung Yul Kim, Sin Hyun Oh, Hyuk Nam-Koong, Chun Koo Kang<sup>1</sup>,  
Han Sang Lim, Chang Ho Lee and Hoon-Hee Park

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

<sup>1</sup>Department of Radiological Technology, Shingu College, Korea

**Purpose** : Arm motion can give rise to striking cold artifact on PET/CT. We investigated that evaluation of scatter-limit correction and correct the patient arm motion artifact in Discovery 600 PET/CT. **Materials and Methods** : To evaluate a radioactivity uptake (Bq/ml) and a standard uptake value (SUV), the scatter limit correction and scatter correction were compared using 1994 NEMA Phantom<sup>TM</sup> in Discovery 600 PET / CT (GE Healthcare, Mi, We). Arm motion phantom study was involved a central 20 cm diameter cylinder simulating the neck and 2 peripheral 10 cm diameter cylinders simulating arms. The positions of the arms were altered so as to introduce different amounts of misalignment. The evaluation of arm motion phantom study used the radioactivity uptake and SUV in scatter correction and scatter limit correction. **Results** : The statistical significance of radioactivity uptake and SUV did not show the differences in comparisons of the scatter limit correction and the scatter correction that not show ( $p < 0.05$ ). Radioactivity uptake of the scatter correction was up to 3.1 kBq/ml in the 0.04 kBq/ml. It was approximately 98.7% undervalued in the arm motion phantom study. However, Radioactivity uptake of the scatter limit correction was up to 3.0 kBq/ml in the 2.11 kBq/ml. It was approximately 30% undervalued in arm motion phantom study. SUV of the scatter correction was 1.05 to 0.006 and underestimated about 98%. However, an applying SUV of the scatter limit correction changed the value as 0.67 which is underestimated about 25%. Radioactivity uptake and SUV of the scatter limit correction was increased approximately 60%, or more than the scatter correction. **Conclusion** : It is considered that if the patient arm motion artifact was occurred the scatter limit correction will be applicable to give an accurate diagnosis. (Korean J Nucl Med Technol 2012;16(2):44-48)

**Key Words** : PET/CT, Scatter limit correction method, Arm motion artifact

## 서 론

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography, PET)은 양전자를 방출하는 방사성의약품을 환자에게 정맥주사

한 후 환자로부터 방출되는 방사선을 검출하여 이에 대한 분포를 영상화 함으로서 종양의 크기 및 전이여부와 치료 후 이에 대한 정성 및 정량분석을 하는 검사이다.<sup>1)</sup> 임상에서의 PET/CT 검사는 방사성의약품의 섭취 시간 1시간을 편안하게 대기한 후 20 ~30분 정도 검사가 이루어진다. 그리고 환자의 자세는 바로 누운 자세에서 팔을 머리 위로 위치한 후 검사를 하는데, 팔을 머리 위로 함으로써 팔을 내린 상태에서 몸통 측면에서의 선속 경화 현상을 줄일 수 있고, PET 영상에서 CT 영상의 정확한 감쇄보정으로 PET/CT 영상의 질

• Received: June 29, 2012. Accepted: October 2, 2012.  
• Corresponding author : Young Kag Bahn  
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul, 120-752  
Tel: +82-2-2228-6065, Fax: +82-2-312-0578  
E-mail: Bahnyk@yuhs.ac

을 높일 수 있다. 과학기술의 발전으로 PET 장비에서 약 2시간 정도 소요되던 검사시간이 PET/CT 장비로 발전함에 따라 하드웨어와 재구성법의 발전으로 검사시간이 약 30분 정도 소요되어 획기적으로 단축되었다. 이에 따라 환자들이 검사를 진행하는데, 편안하고 신속하게 검사를 받을 수 있다. 그러나 고령의 환자나 팔의 움직임이 불편한 환자분들이 획기적으로 짧아진 PET/CT 검사시간에도 불구하고 팔을 머리위로 올린 상태에서 검사 진행 시 자세가 불안정하여 팔의 움직임이 있을 수 있다.<sup>3-5)</sup> CT 영상을 획득 후 CT 검사에 비해 긴 시간의PET영상획득으로 인해 환자 팔의 상박 부분의 움직임으로 CT와 PET 영상의 불일치가 발생할 수 있다. CT 영상을 바탕으로 감쇄와 산란선 보정이 이루어지는데, 이로 인해 PET 영상에서 보정이 정확하게 이루어지지 않는다. 움직임이 있어 CT와 PET의 영상이 일치하지 않은 부분이 산란선으로 인식되어 과다보정이 이루어지고, PET 영상에서 냉소 인공물이 나타나게 된다. 해결책으로는 부분 재검사를 하거나 산란보정을 제거하고 PET영상을 재구성하는 것이다.<sup>6,7)</sup> 하지만 산란보정을 제거함으로써 표준섭취계수를 나타내지 못하여 병소에 대한 정량분석을 하지 못하는 단점이 있다.<sup>2)</sup> Discovery 600 장비에서는 산란보정제한법이 적용되어 산란선이 급증한 부위의 산란보정을 평균값으로 제한 하여 재구성을 한다. 본 연구는 팬텀을 이용하여 환자 팔의 움직임을 재현하고, Discovery 600 PET/CT 장비의 산란제한보정법을 이용하여 영상을 평가하고 환자의 움직임으로 인한 냉소 인공물의 개선을 연구했다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 장비 및 실험재료

장비는 Discovery 600 (GE Healthcare, Milwaukee, USA) PET/CT 장비를 이용하여 실험을 진행하였다. BGO크리스탈을 사용하였고, 3D 방법으로 영상을 획득한다. 해상도는 5.6 mm FWHM 을 가지고 있으며, 종축시야는 157 mm이다. CT는 16 슬라이스에 최소절편두께는 1.25 mm이다. PET 영상의 재구성은 VUE Point HD 재구성법을 사용하며, Subset 16, Iteration 2를 사용하였다. 실험 방법은 NEMA PET Phantom<sup>TM</sup> (NU2-1994)과 500 ml 물통 2개를 사용하였다. NEMA PET Phantom<sup>TM</sup> (NU2-1994)은 3개의 삽입물을 모두 삽입하여 테프론, 공기, 열소로 구성되어 있고, 배후방사능에 물 4180 ml와 17.94 Bq, 열소에 물 289 ml와 4.854 Bq의 <sup>18</sup>F-FDG를 주입하였다. 2개의 물통에는 물을 가득 채우고

2.146 Bq 의<sup>18</sup>F-FDG 를 주입하였다. 배후방사능과 열소 사이의 방사능비는 1 대 4가 되도록 하였고, 배후방사능과 두 개의 물통과의 방사능비는 1 대 1이 되도록 하였다. 팬텀과 두 개의 물통은 충분히 흔들어 준 다음, 60분 후에 CT와 PET 영상 1 bed를 획득하였다.

### 2. 영상획득방법

환자가 바로 누운 자세에서 팔을 머리위로 위치한 팬텀으로 재현하기 위하여 NEMA PET Phantom<sup>TM</sup>과 500 ml 물통 두 개를 양 측면에 위치하여 환자의 머리와 양 측 팔을 재현하였다. 그리고 팔의 움직임을 재현하기 위하여 NEMA PET Phantom<sup>TM</sup> (NU2-1994)과 500 ml 물통을 CT 검사를 한 후 양 측 2 개의 500 ml 물통을 15°, 5 cm 바깥쪽으로 움직인 상태에서 PET 영상을 1 bed 2분간 획득 하였다(Fig. 1). 실험은 환자 팔의 움직임이 없을 때 500 ml 물통을 움직이지 않은 채 CT와 PET 영상을 획득하여 산란보정법, 산란제한보정법, 산란보정을 하지 않은 보정법을 이용하여 재구성을 하였다. 그리고 환자 팔의 움직임이 있을 때 실험의 CT 영상은 500 ml 물통을 움직이지 않은 채 영상을 획득하고, PET 영상은 움직인 상태에서 진행을 한다. 영상의 재구성은 산란보정법, 산란제한보정법, 산란보정을 하지 않은 보정법을 이용하여 재구성을 하였다.

### 3. 영상분석방법

Discovery 600 PET/CT 장비로 산란보정법과 산란제한보정법의 방사능 섭취와 표준섭취계수의 차이를 평가하기 위해 NEMA PET Phantom<sup>TM</sup> (NU2-1994)을 사용하였다. 또한

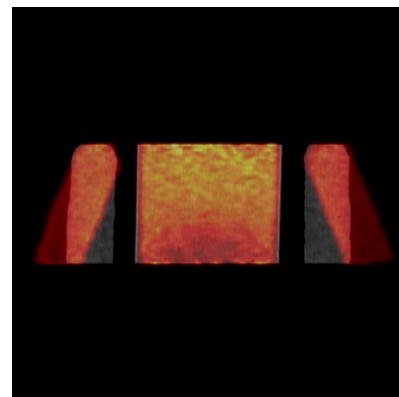


Fig. 1. Coronal image of phantom arrangement acquired with PET and CT misaligned. 2 outer cylinders were intentionally misaligned with respect to CT to simulate arm motion.

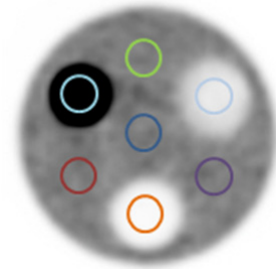
움직임에 의한 인공물을 재현하여 산란제한보정법을 적용하여 표준섭취계수의 차이를 비교 평가하였다. NEMA PET Phantom™ (NU2-1994)은 3개의 삽입물을 모두 삽입하여 테프론, 공기, 열소로 구성되어 있다. 배후방사능 네 곳과 테프론, 공기, 열소 부분에 각각 관심영역을 팬텀의 중앙에 각각 지름 3 cm 의 크기로 설정하여 1bed 영상에서의 슬라이스에서의 표준섭취계수 값 평균을 그래프로 나타내어 비교하였다(Fig. 2). 환자 팔의 움직임이 없었을 때의 산란보정법과 산란제한보정법, 환자 팔의 움직임이 있을 때의 산란보정법과 산란제한보정법을 통계프로그램인 SPSS ver.7을 이용하여 짝비교 t 검정으로 비교 분석하였다.

### 결 과

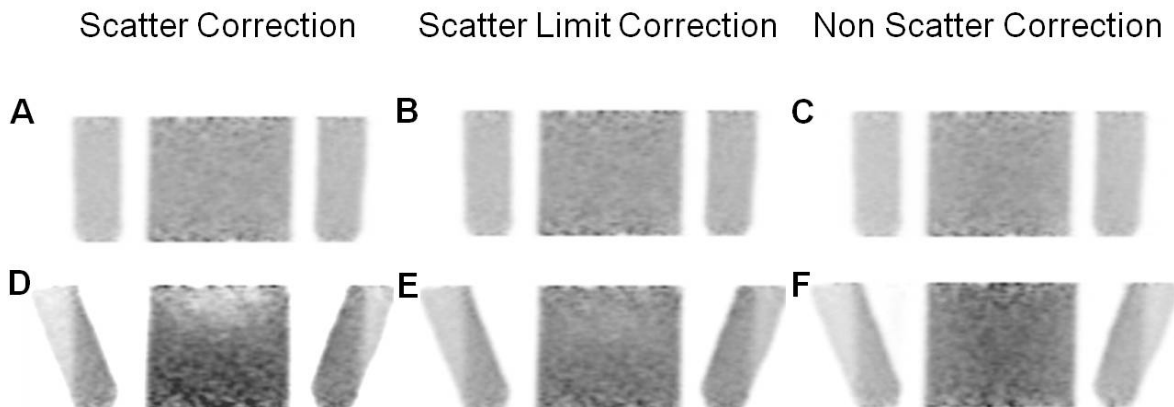
움직임이 없었을 때에는 산란보정법과 산란제한보정법, 산란보정을 사용하지 않은 보정법 모두 그림 A, B, C 영상에서와 같이 육안으로는 차이가 없었다. 움직임이 있었을 때는 산란보정법 영상에서는 그림 D와 같이 냉소인공물이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그러나 산란제한보정법 영상에서는 그림 E와 같이 개선된 것을 볼 수 있었고, 산란보정을 사용하지 않은 보정법을 이용해 재구성한 영상에서는 그림 F와 같이 나타나지 않는 것을 볼 수 있다(Fig. 3).

움직임이 없었을 때, 산란보정법의 표준섭취계수는 그래프 A와 같이 배후방사능 0.98 kBq/ml, 열소 4.75 kBq/ml, 공기 0.19 kBq/ml, 테프론은 0.05 kBq/ml 였고, 산란제한보정법의 표준섭취계수는 그래프 B와 같이 배후방사능 0.98

kBq/ml, 열소 4.73 kBq/ml, 공기 0.18 kBq/ml, 테프론은 0.05 kBq/ml로 측정되었다. 산란보정법과 산란제한보정법의 표준섭취계수는 통계적으로 모든 영역에서 큰 차이가 나타나지 않았다( $p>0.05$ ). 움직임이 있었을 때, 산란보정법의 표준섭취계수는 그래프 C와 같이 움직임이 없었을 때 보다 배후방사능이 최저 0.0 kBq/ml로 약 98% 감소하였고, 열소는 최저 3.273 kBq/ml로 약 31% 감소하였다. 공기는 최저 0.047 kBq/ml로 약 75% 감소하였고, 테프론은 최저 0 kBq/ml으로 측정되어 100% 감소하였다. 산란제한보정법의 표준섭취계



**Fig. 2.** 3 cm diameter circular region of interest placed inside hot, air, teflon and background regions in reconstruction PET images. 수는 그래프 D와 같이 움직임이 없었을 때 보다 배후방사능이 최저 0.67 kBq/ml로 약 41% 감소하였고, 열소는 최저 4.57 kBq/ml로 약 4.9% 감소하였다. 공기는 최고 0.21 kBq/ml로 약 11% 증가하였고, 테프론은 최저 0.007 kBq/ml로 측정되어 90% 감소하였다(Fig. 4).



**Fig. 3.** Coronal images of phantom arrangement acquired in PET/CT. First line represents A, B and C was acquired with perfect alignment of PET and CT. A image was qualitatively similar to B and C images. A, B and C images was not indicated cold artifact in PET images. Second line represents D, E and F was acquired with PET and CT misaligned. 2 outer cylinders were intentionally misaligned with respect to CT to simulate arm motion. D image was indicated cold artifact in central region. E image was qualitatively similar to F image.

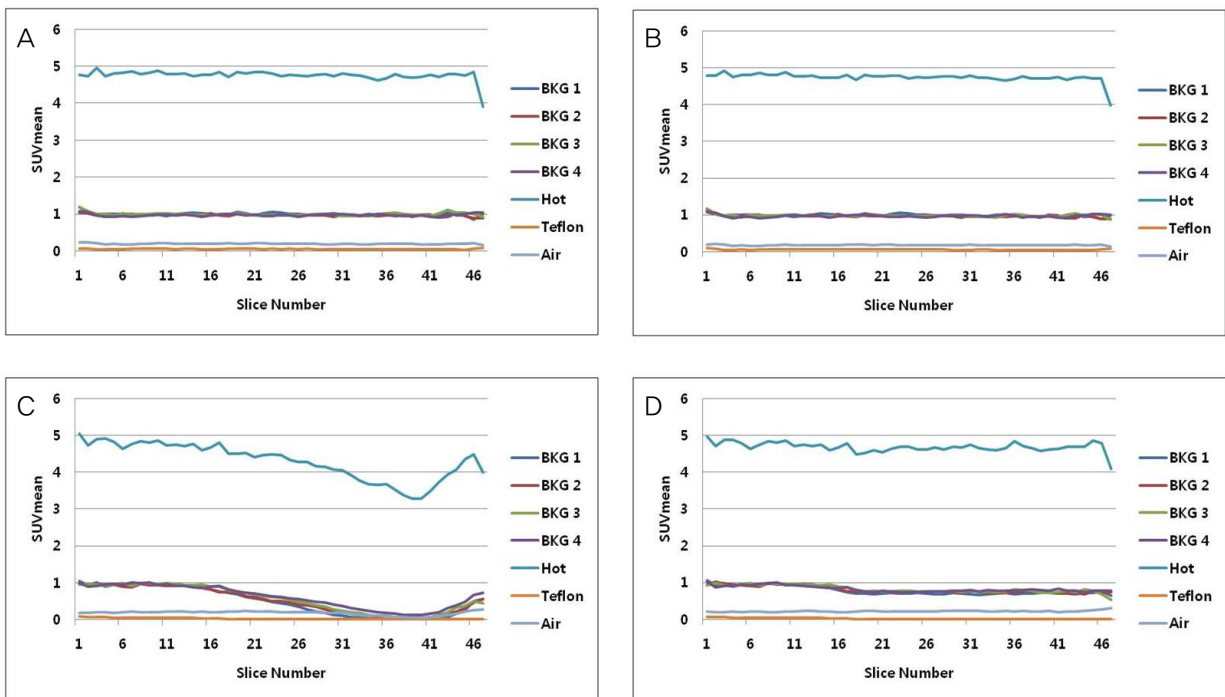
## 고찰

PET/CT의 인공물에는 여러 가지가 있다. 금속에 의한 인공물, 조영제에 의한 인공물, 영상 절단에 의한 인공물(Truncation artifact), 움직임에 의한 인공물 등이 있다. 움직임에 의한 인공물의 원인은 인체장기에 의한 움직임, 환자의 호흡에 의한 횡격막의 움직임, 환자 팔의 움직임 등 때문이다. 2011년 JNM (Journal of Nuclear Medicine)에서 환자 팔의 움직임에 의한 PET/CT 영상에서 인공물의 메커니즘을 팬텀을 이용하여 재현하여 Martin A. Lodge, Joyce C 등이 발표하였다. CT와 PET의 불일치로 인하여 CT 영역 밖의 PET 데이터를 산란선으로 인식하여 과다 산란선 보정으로 인해 정상 주변부위까지 보정되어 냉소인공물이 발생한다고 발표했다.<sup>2)</sup> 그래서 이 논문의 해결책으로는 부분 재검사를 하거나 산란보정을 제거하고 영상을 재구성하는 것이다. 하지만 산란보정을 제거함으로써 표준섭취계수를 나타내지 못하여 정량분석을 하지 못하는 단점이 있다. 그래서 본 저자는 산란선 값이 급증한 부위의 산란보정을 평균값으로 제한하여 재구성을 하는 산란제한보정법이 적용된 Discovery 600 장비를 이용하여, 환자 팔의 움직임 영상에서 산란보정법과

산란제한보정법을 비교했다. 움직임이 있을 때 산란보정법을 적용했을 때 보다 산란제한보정법을 적용했을 때 약 60%의 표준섭취계수가 보상이 되었다. 하지만 표준섭취계수는 산란제한보정법을 적용했을 때에도 움직임이 시작된 부분부터 표준섭취계수의 낮은 변화가 있었다. 하지만 열소에서는 변화가 없었고, 표준섭취계수가 통계적으로 일치하였다. PET/CT 검사 시 환자의 움직임에 의한 냉소 인공물이 발생한 환자에서 산란보정을 적용하지 않은 보정법과 산란제한보정법 영상을 참고한다면, 병소가 의심되는 부위에서 추가 검사 없이 진단에 도움을 줄 것이다.

## 결론

움직임이 있을 때 산란보정법을 적용했을 때 보다 산란제한보정법을 적용했을 때 약 60%의 표준섭취계수가 보상이 되었다. 표준섭취계수는 산란제한보정법을 적용했을 때에도 움직임이 시작된 부분부터 표준섭취계수의 변화가 있었다. 정상적인 표준섭취계수보다는 낮은 값들이 측정되었으나, 열소에서는 표준섭취계수가 통계적으로 일치하였다. 그러므로PET/CT 검사 시 환자의 움직임에 의한 냉소 인공물이 발



**Fig. 4.** Mean activity concentration derived from 3 cm diameter circular region of interest placed inside hot, air, teflon and background regions in reconstruction PET images. Each data series (BKG 1-4, Hot, Teflon, Air) refer to corresponding image series. A was each slice SUV graph of scatter correction reconstructed PET and B was each slice SUV graph of scatter limit correction reconstructed PET in non arm moving phantom. C was each slice SUV graph of scatter correction reconstructed PET and D was each slice SUV graph of scatter limit correction reconstructed PET in arm moving phantom.

생한 환자에서 산란보정을 적용하지 않은 보정법과 산란제한보정법 영상을 참고한다면, 정확한 진단에 도움을 줄 것으로 사료된다.

## 요 약

PET/CT 검사에서 환자의 움직임으로 인해 영상에서 냉소 인공물이 발생한다. 본 연구는 Discovery 600 PET/CT 장비의 산란제한보정법을 이용하여 영상을 평가하고 환자의 움직임으로 인한 냉소 인공물의 개선을 연구했다. Discovery 600 PET/CT 장비로 산란보정법과 산란제한보정법의 방사능 섭취와 표준섭취계수의 차이를 평가하기 위해 1994 NEMA Phantom<sup>TM</sup>을 사용하였다. 또한 움직임에 의한 인공물을 재현하여 산란제한보정법을 적용한 방사능의 섭취 차이와 표준섭취계수의 차이를 비교 평가하였다. 산란제한보정법은 산란보정법과의 방사능 섭취, 표준섭취계수의 평가에서 큰 차이를 나타내지 않았다( $p < 0.05$ ). 그리고 환자의 움직임으로 인한 PET/CT 영상에서의 산란보정법을 적용한 영상은 방사능 섭취가 최대 3.1 kBq/ml에서 0.04 kBq/ml로 약 98.7% 과소평가되었다. 그러나, 산란제한보정법을 적용한 영상은 방사능 섭취가 최대 3.0 kBq/ml에서 2.11 kBq/ml로 약 30%만 과소평가되었다. 표준섭취계수는 1.05에서 0.006으로 약 98% 과소평가 되었으나, 산란제한보정법을 적용 후 0.67로 측정되어 약 25%만 과소평가되었다. 방사능의 섭취와 표

준섭취계수에서 산란제한보정법은 산란보정법에 비해 약 60% 이상 개선 효과가 있었다. PET/CT 검사 시 환자의 움직임에 의한 냉소 인공물이 발생한 환자에서 산란제한보정법을 적용한다면, 정확한 진단에 도움을 줄 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. 고창순. 핵의학 제3판. 고려의학 2008;81
2. Martin A. Lodge, Joyce C. Mhlanga, Steve Y. Cho, Richard L. Wahl. Effect of Patient Arm Motion in Whole-Body PET/CT. J Nucl Med 2011;52:1891-1897.
3. Montgomery AJ, Thielmans K, Mehta MA, Turkheimer F, Mustafovic S, Grasby PM, Correction of head movement on PET studies: comparison of Methods. J Nucl Med. 2006;47: 1936-1944.
4. Nakamoto Y, Chin BB, Cohade C, Osman M, Tatsumi M, Wahl RL. PET/CT: artifacts caused by bowel motion. Nucl Med Commun. 2004;25:221-225.
5. Lodge MA, Chaudhry MA, Udal DN, Wahl RL. Characterization of a perirectal artifact in 18F-FDG PET/CT. J Nucl Med. 2010;51:1501-1506.
6. Ollinger JM. Model-based scatter correction for Fully 3D PET. Phys Med Biol. 1996;41:153-176.
7. Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, Sashin D. Attenuation correction for a combine 3D PET/CT scanner. Med Phys. 1998;25:2046-2053.