

전신 PET/CT 검사에서 팔의 위치에 따른 감약 정도와 SUV 변화 평가

삼성서울병원 핵의학과

곽인석 · 이 혁 · 최성욱 · 석재동

The Evaluation of Attenuation Difference and SUV According to Arm Position in Whole Body PET/CT

In Suk Kwak, Hyuk Lee, Sung Wook Choi and Jae Dong Suk

Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: For better PET imaging with accuracy the transmission scanning is inevitably required for attenuation correction. The attenuation is affected by condition of acquisition and patient position, consequently quantitative accuracy may be decreased in emission scan imaging. In this paper, the present study aims at providing the measurement for attenuation varying with the positions of the patient's arm in whole body PET/CT, further performing the comparative analysis over its SUV changes. **Materials and Methods:** NEMA 1994 PET phantom was filled with ^{18}F -FDG and the concentration ratio of insert cylinder and background water fit to 4:1. Phantom images were acquired through emission scanning for 4min after conducting transmission scanning by using CT. In an attempt to acquire image at the state that the arm of the patient was positioned at the lower of ahead, image was acquired in away that two pieces of Teflon inserts were used additionally by fixing phantoms at both sides of phantom. The acquired imaged at a were reconstructed by applying the iterative reconstruction method (iteration: 2, subset: 28) as well as attenuation correction using the CT, and then VOI was drawn on each image plane so as to measure CT number and SUV and comparatively analyze axial uniformity (A.U.=Standard deviation/Average SUV) of PET images. **Results:** It was found from the above phantom test that, when comparing two cases of whether Teflon insert was fixed or removed, the CT number of cylinder increased from -5.76 HU to 0 HU, while SUV decreased from 24.64 to 24.29 and A.U from 0.064 to 0.052. And the CT number of background water was identified to increase from -6.14 HU to -0.43 HU, whereas SUV decreased from 6.3 to 5.6 and A.U also decreased from 0.12 to 0.10. In addition, as for the patient image, CT number was verified to increase from 53.09 HU to 58.31 HU and SUV decreased from 24.96 to 21.81 when the patient's arm was positioned over the head rather than when it was lowered. **Conclusion:** When arms up protocol was applied, the SUV of phantom and patient image was decreased by 1.4% and 9.2% respectively. With the present study it was concluded that in case of PET/CT scanning against the whole body of a patient the position of patient's arm was not so much significant. Especially, the scanning under the condition that the arm is raised over to the head gives rise to more probability that the patient is likely to move due to long scanning time that causes the increase of uptake of ^{18}F -FDG of brown fat at the shoulder part together with increased pain imposing to the shoulder and discomfort to a patient. As regarding consideration all of such factors, it could be rationally drawn that PET/CT scanning could be made with the arm of the subject lowered. (Korean J Nucl Med Technol 2010;14(2):21-25)

Key Words : CT number, SUV, attenuation correction

서 론

- Received: August 30, 2010. Accepted: September 13, 2010.
- Corresponding author: **Suk Kwak In**
Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center,
#50 Ilwon-dong, Kangnam-ku, Seoul, 135-230, Korea
Tel: +82-2-3410-2637, Fax: +82-25-3410-2639
E-mail: is.kwak@samsung.com

PET는 병소와 병기의 진단, 그리고 치료 성적 평가에 있어서 쓰임이 점차 증가하고 있다. 특히 핵의학 체내 분야에 서 한 번의 검사로 해부학적 정보와 대사적 또는 기능적 정

보의 수집이 가능한 PET/CT가 소개된 이후 그 관심이 증가하였다.¹⁾ 기존의 PET는 해부학적 정보가 부족하고 검사시간이 긴 단점으로 인하여 환자가 움직일 가능성이 증가하고 영상 잡음이 증가하는 문제점을 가지고 있었다. 그러나 PET/CT는 각각의 영상장치를 병렬로 배열하고 CT를 먼저 촬영한 후 이어서 PET를 촬영하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 환자는 동일한 위치에서 이동하지 않고 편리하게 두 영상 검사를 받을 수 있으며, PET과 CT가 융합된 영상을 얻을 수 있다. 또한 이전에는 PET영상에서 감마선의 감쇠 정도가 체내 위치에 따라 다르고 컴프턴 산란이 배경잡음을 유발하는 문제를 해결하기 위한 투과 영상을 외부 감마선원을 이용하여 얻었던 것에 비하여 이를 CT영상으로 대체함으로써 전체 영상획득에 걸리는 시간을 크게 줄일 수 있게 되었다.²⁾

하지만 CT를 이용하여 투과촬영을 함으로써 발생하는 문제점도 있다. 금속물질이나 조영제 등 흡수계수가 높은 물질이 피검사자의 체내에 존재할 경우 인공산물이 발생하게 되는데 이러한 인공산물은 결과적으로 방출영상의 감쇠보정에도 영향을 미치게 되며 이로 인하여 방출영상에서의 측정값들이 과 측정되는 문제가 발생한다.³⁾ 흡수계수가 높은 물질은 투과촬영 시 선상인공음영(Streaking Artifact)을 발생시키며 이것은 검사 시 유효 시야 내에 환자의 팔이 포함되어 있을 경우에도 마찬가지이다. 유효 시야 내에 환자의 팔이 포함될 경우 감약 정도가 달라지며 결과적으로 방출영상의 정량성 저하로 이어지게 된다.

이러한 문제점의 해결을 위하여 팔을 머리 위로 올린 자세로 검사할 경우, 수 분 이내에 검사가 진행되는 CT와는 달리 20여분 이상 검사를 받아야 하는 PET검사에서는 환자에게 신체적 고통이 뒤따르게 된다. 이러한 고통은 환자의 움직임을 유발할 수 있는 가능성이 증가하게 되어 결과적으로는 영상의 질에 영향을 미치게 된다.

따라서 본 저자는 이러한 감약 차이에 의한 정량성의 저하가 PET/CT에서 중요한 지표 중의 하나인 표준섭취계수에 미치는 영향에 대하여 모형실험과 환자실험을 통해 비교 분석하였으며, 이를 근거로 PET/CT검사 시 합리적인 환자의 팔 위치에 대해 알아보았다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 장비

실험 장비는 Discovery Light Speed PET/CT Scanner (GE

Healthcare, Milwaukee, USA)를 사용하였다(Fig. 1-A). 1 프레임 당 35개의 영상을 얻을 수 있으며, 영상 두께는 4.25 mm이다. 축 방향시야는 프레임 당 14.45 cm이며, 8 slice의 나선형 CT를 사용한다. 모형은 NEMA 1994 PET 모형을 사용하였다(Fig. 1-B). 3개의 삽입물 모두를 삽입하였을 때 체적은 4,180 cc이며 실린더 한 개의 체적은 298 cc이다.

또한 GE Medical System의 Advantage Workstation AW4.3 05version Volume Viewer를 사용하여 영상을 분석하였다.

1) 모형 실험 방법

모형의 열병소에는 배후방사능의 4배에 해당하는 방사능량을 주입하여 모형을 구성한다. 구성된 모형은 CT를 이용하여 투과 촬영을 시행한 후 4 프레임/1분 방출 촬영을 하였다. 이렇게 얻은 영상을 환자가 팔을 머리 위로 올린 자세로 가정하였고, 팔을 내린 자세를 표현하기 위하여 동일한 모형의 양쪽 끝에 테플론 삽입물을 부착한 후 동일한 조건으로 영상을 획득하여 인체의 팔에 의한 감약을 재현하였다. 얻어진 데이터는 matrix size 128×128, post filter 5.45 FWHM (mm), 반복재구성법(반복횟수 2회 부분 집합 수 28)을 적용하여 재구성하였다.

재구성된 영상면에서 관심 체적(Volume of Interest, VOI)을 설정한 후 해당부위에서의 CT값, 표준섭취계수와 축 방향 균일도를 측정하였다. 먼저 테플론 삽입물을 부착하지 않은 모형(Fig. 2)의 영상면에 대해 영상 프레임의 가장 중앙에 위치한 영상면을 중심으로 앞 뒤로 각각 두 개씩 총 5개의 영상면에 VOI를 설정하여 CT값과 표준섭취계수를 측정하고 그 평균값을 구했다. 또한 표준편차를 측정하여 이를 근거로 관심 체적의 축 방향균일도를 측정하였다. CT 영상면과 PET 영상면의 VOI는 11.90 cm³으로 설정하였다. VOI는 열병소에 한 개를 설정하고 테플론 삽입물과 열병소의 사이

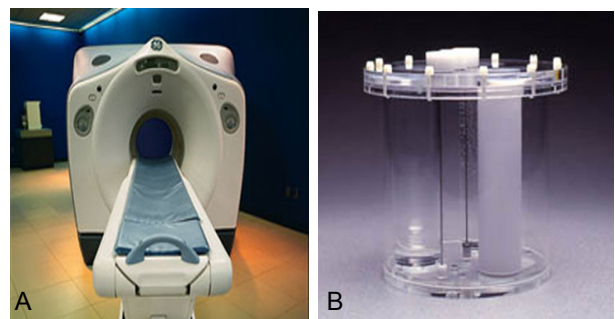


Fig. 1. (A) Discovery Light Speed PET/CT Scanner (B) NEMA 1994 PET Phantom

에 또 한 개를 설정하였다.

테플론 삽입물을 부착한 모형(Fig. 2)에 대해서도 동일한 조건으로 측정값을 구하였다. 같은 방법으로 총 7회의 실험을 반복하여 그 값을 평균하였다.

$$\text{Axial Uniformity (A.U.)} = \frac{\text{Standard Deviation}}{\text{Average Standardized Uptake Value}}$$

2) 환자 실험 방법

2010년 1월부터 3월까지 본원을 내원한 환자 중 Discovery Light Speed PET/CT Scanner로 검사를 받은 환자 중에서 폐암 진단을 받은 10명을 선별하였다. 현재 본원은 폐암 환자에 대해 팔을 머리 위로 올린 자세에서의 영상과 팔을 내린 자세에서의 영상을 모두 얻고 있기 때문에 폐암 환자 중에서 대상을 선별하였으며 간으로의 전이가 없는 환자로 조건을 제한하였다. 측정에 사용된 영상면은 간이 포함된 1 프레임이었으며, 모형 실험의 조건과 동일하게 투과 촬영 후 방출 촬영하였다.

먼저 환자의 팔을 내린 자세에서 환자의 간에 관심 영역 (Region of Interest, ROI)를 설정하였다. 한 프레임 내의 영상면 중에서 가장 중앙의 영상면을 중심으로 앞, 뒤 각각 두 개씩 총 5개의 영상면에 ROI를 설정하였다. ROI의 크기는 30.68 cm²이었으며 모형 실험에서와 마찬가지로 모든 영상면에서의 환자의 ROI의 CT값과 표준섭취계수를 구하여 평균하였다. 팔을 머리 위로 올린 자세에서의 환자 영상에 대해서도 동일한 조건으로 측정하여 값을 구하였다.

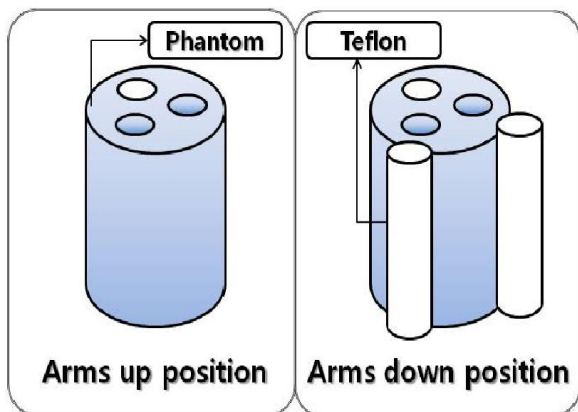


Fig. 2. Phantom state for arms raised over head without attaching to anything and fell into arms under head of state has assumed the attached to Teflon insert.

결 과

1. 모형 실험 결과

테플론 삽입물을 부착한 상태보다 테플론 삽입물을 부착하지 않았을 때 CT값은 -5.8 HU에서 0 HU으로 평균 5.8 HU 상승하였다. 그에 따른 표준섭취계수는 24.64에서 24.29로 평균 0.35 감소하였다. 표준섭취계수와 표준편차를 이용하여 측정한 축 방향균일도는 테플론 삽입물을 부착한 상태보다 테플론 삽입물을 부착하지 않았을 때 0.064에서 0.052로 평균 0.012 감소하였다(Fig. 3).

모형의 배후방사능에 대한 VOI의 변화는 테플론 삽입물을 부착한 상태보다 테플론 삽입물을 부착하지 않았을 때 CT값이 -6.14 HU에서 -0.43 HU으로 평균 5.71 HU 증가하였고, 표준섭취계수는 6.26에서 5.60으로 평균 0.66 감소하였다. 축 방향균일도는 0.12에서 0.10으로 평균 0.02 감소하였다(Fig. 4). 모형 영상에서 테플론 삽입물을 부착한 상태일 때 테플론의 영향으로 선상인공산물이 발생하였다(Fig. 5-A).

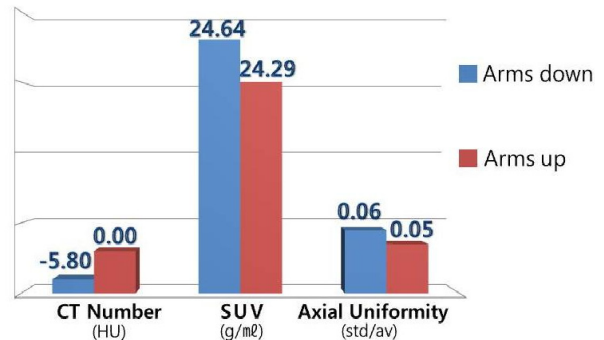


Fig. 3. This is a phantom test result. When arm up position was applied, CT number was increased by 6 HU and SUV was decreased by 0.35 and axial uniformity was decreased from 0.06 to 0.005.

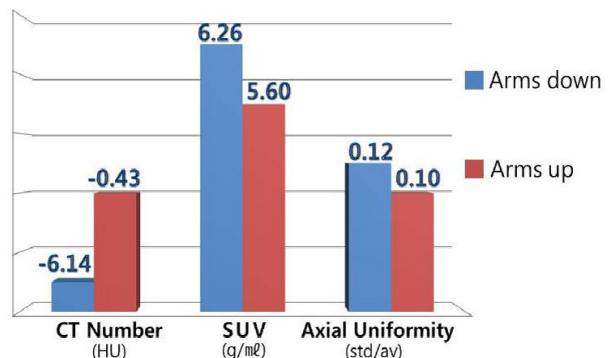


Fig. 4. This is a graph of background. Similar pattern with hot sphere is shown in this graph.

테플론 삽입물을 부착하지 않았을 경우에는 선명한 모형 영상을 얻었다(Fig. 5-B).

2. 환자 실험 결과

환자가 팔을 내린 자세에서의 영상보다 팔을 머리 위로 올린 자세의 영상일 때 CT값은 54.1 HU에서 59.9 HU로 평균 5.8 HU 증가하였고, 그에 따른 표준섭취계수는 2.02에서 1.85로 평균 0.17 감소하였다(Fig. 6). 환자 영상에서 팔을 내린 자세에서의 영상은 상완의 감약에 의해 선상인공산물이 발생하였다(Fig. 7-A). 이에 반해 팔을 머리 위로 올린 자세의 영상에서는 인공산물이 없는 비교적 선명한 영상을 획득

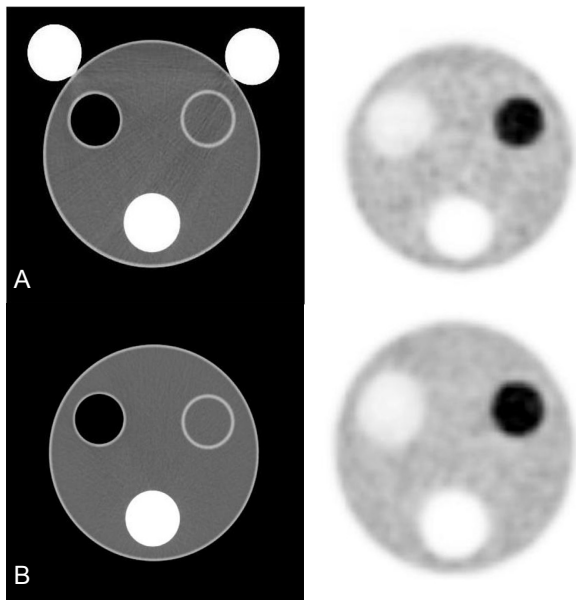


Fig. 5. (A, B) In CT image with arm down position, streak line is appeared around Teflon insert. whereas arm up position is applied, streak line does not exist.

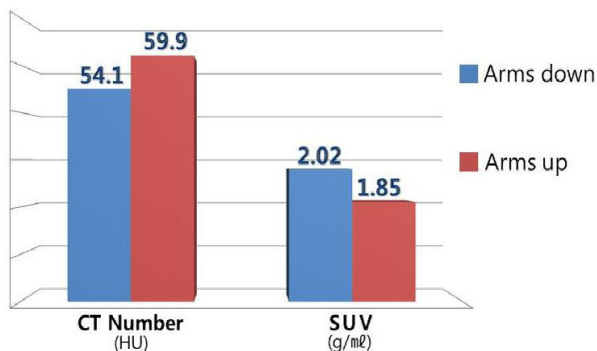


Fig. 6. This is a patient study result. Same pattern with phantom test is shown. As compare with arm down position, CT number is going up and SUV is going down with arm up position.

하였다(Fig. 7-B).

고 찰

팔을 내린 자세인 경우와 팔을 머리 위로 올린 자세의 경우에 PET/CT를 통해 얻은 영상면에서 CT값과 표준섭취계수의 차이는 분명히 존재한다. 모형실험 결과를 통해 모든 실험에서 테플론 삽입물을 부착한 상태에서보다 테플론 삽입물을 부착하지 않은 상태에서 CT값은 증가하고 표준섭취계수는 감소하는 양상을 보였다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 감약의 정도와 표준섭취계수의 상관관계에서 찾을 수 있다. CT값이 증가할수록 감약 계수는 비례하여 증가하게 되는데 이것은 CT값이 증가 할수록 감약이 증가된다고 볼 수 있다.⁴⁾ 따라서 팔을 내린 자세로 검사를 시행할 경우 이는 조영제에 의해 감약이 과다하게 측정될 경우와 마찬가지로 팔에 의한 감약이 과다하게 측정될 수 있으므로 결국 표준섭취계수의 증가로 이어지게 된다.⁵⁾ 반면 영상의 질적인 측면에서 결과를 비교하여 보면, 팔을 내린 자세로 영상을 획득 하였을 때보다 팔을 머리 위로 올린 자세로 하여 영상을 획득하였을 때 영상의 질이 보다 나아짐을 알 수 있었지만 이 경우의 축 방향균일도가 큰 차이를 보이지 않을 뿐만 아니라 육안적 비교에서도 크게 차이를 보이지는 않았다.

¹⁸F-FDG를 사용하는 PET Oncology 검사에서 환자의 무

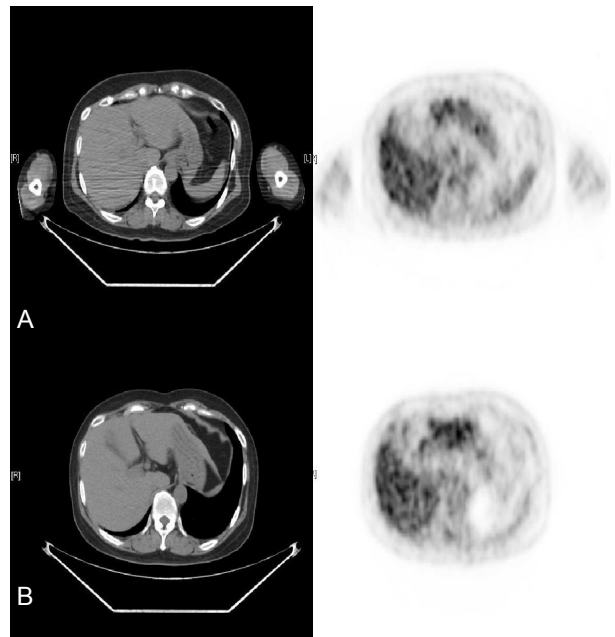


Fig. 7. (A, B) When arm down position was applied, the streak line was appeared by attenuation of patient's arm. Whereas arm up position was applied, artifact and streak line does not exist.

리한 움직임 또는 같은 자세로 오랜 시간 동안 지속된 상태를 유지할 경우 이는 곧 해당부위의 ¹⁸F-FDG 과섭취라는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 오랜 시간 동안 영상획득을 하여야 하고 거동이 불편한 환자가 많은 PET Oncology 검사의 특성 상 많은 무리가 따르게 되어 있으며 이것은 곧 어깨 및 팔에 ¹⁸F-FDG의 과섭취와 함께 환자의 고통을 야기하는 원인이 될 수 있다. 따라서 이러한 점들을 종합하여 고려해 보았을 때, PET/CT검사 시에는 팔을 내리고 검사하는 것이 보다 합리적일 수 있다. 그러나 검사 시 환자 팔의 위치에 대한 결정은 환자 상태 및 상황 그리고 영상의 질적인 면에 대한 측면을 충분히 고려하여 결정하여야 할 것이다.

결 론

팔을 내린 자세에서보다 팔을 머리 위로 올린 자세의 결과에서 모형 실험은 약 1.3%, 환자 실험에서는 약 9.1%의 표준섭취계수 감소를 보였다. CT값은 모형 실험과 환자 실험 모두 5.8 HU의 증가를 보였다. 이와 같이 팔을 내린 자세에서의 실험 결과와 팔을 머리 위로 올린 자세에서의 실험 결과에서 CT값과 표준섭취계수의 차이가 충분히 크지 않았으며 따라서 이로 인한 판독 상의 문제점도 크지 않다고 할 수 있다.^{6,7)}

요 약

PET/CT검사에 있어서 CT는 해부학적인 정보를 제공할 뿐 아니라 PET영상에 대한 감약 정보를 제공하는 역할을 하고 있다. CT의 감약치를 이용하는 것으로서 검사 부위에 존재하는 여러 가지 변수에 의해 그 정도가 달라질 수 있다. 이것은 현재 본 원에서 PET/CT검사 시에 팔을 몸 옆에 두고 검사하는 것에도 적용할 수 있으며, 이에 본 논문에서는 일부 타 병원에서 시행하고 있는 팔을 머리 위로 올리고 검사하는 방법과 함께 CT값의 변화에 따른 표준섭취계수의 변화를 비교 연구했다.

NEMA 1994 PET 모형의 삽입체와 모형의 부피를 고려하여 4:1의 비율로 ¹⁸F-FDG를 주입하였다. 먼저 테플론 삽입체 두 개를 NEMA 1994 PET 모형의 양 옆에 고정시켜 팔을 내리고 있는 상태를 가정하여 영상을 얻었으며 테플론 삽입체를 제거하여 팔을 머리 위로 올린 상태를 가정하여 영상을 얻었다. 앞의 과정을 거쳐 얻은 영상을 재구성 하여 Volume Viewer를 이용해 한 영상면 당 5개의 관심 체적을 설정했고

각 측정값을 평균하여 얻어낸 CT값과 표준섭취계수로 그 변화를 측정하였다. 측정된 값과 폐 관련 암환자의 간에 관심영역을 설정하고 측정된 값을 비교하여 실제 임상 영상에서의 차이를 측정하였다.

모형 실험결과 테플론 삽입체를 부착하였을 때보다 테플론 삽입체를 부착하지 않았을 때 CT값이 -5.8 HU에서 0 HU으로 평균 5.8 HU 증가하였고 표준섭취계수는 24.64에서 24.29로 평균 0.35 감소하였다. 축방향 균일도는 0.064에서 0.052로 평균 0.012 감소하였다. 환자 실험결과 팔을 내리고 검사하였을 때보다 팔을 머리 위로 올리고 검사하였을 때 CT값은 54.1 HU에서 59.9 HU로 평균 5.8 HU 증가하였고 표준섭취계수는 2.02에서 1.85로 평균 0.17 감소하였다.

테플론 삽입물을 부착한 상태로 검사할 때 보다 테플론 삽입물을 부착하지 않은 상태로 검사할 때 CT값은 증가하고 표준섭취계수는 감소하는 양상을 보였다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 감약의 정도와 표준섭취계수의 상관관계에서 찾을 수 있다. CT값이 증가할수록 감약 계수는 비례하여 증가하는데 이것은 결국 CT값이 증가될수록 감약이 증가된다고 볼 수 있다. 따라서 팔에 의해 감약이 과다하게 측정될 수 있으므로 결국 표준섭취계수의 증가로 이어진다고 판단된다. 하지만 그 값의 차이가 매우 적어 진단적으로 유의한 범위라고 볼 수 없다. 팔을 머리 위로 올리고 검사하는 자세가 어깨 및 팔에의 ¹⁸F-FDG섭취와 환자의 고통을 야기하게 된다는 점들을 종합하여 고려해 보았을 때, PET/CT검사 시에는 팔을 내리고 검사하는 것이 합리적이나, 환자의 상태 및 영상의 질적 측면을 고려하여 결정하여야 하겠다.

REFERENCES

1. Ronald Boellaard. Standard for PET Image Acquisition and Quantitative Data Analysis. 2009;50:11S-20S
2. 고창순 외. 제3판 핵의학. 고려의학 2008;85-86
3. Waheeda sureshbabu. PET/CT Imaging Artifact. *J Nucl Med Technol* 2005;33:156-161
4. C.Burger, G.Goerres, S.Schoenes, A.Buck. PET Attenuation coefficient from CT Images. *Eur J Nucl Med* 2002;29:922-927
5. Young Jin Jeong, M.D., Do-Young Kang, M.D. et al. The Effect of Intravenous Contrast on SUV Value in ¹⁸F-FDG PET/CT using Diagnostic High Energy CT. *Nucl Med Mol Imaging* 2006;40:169-176
6. Mawlawi O, Erasmus JJ, Munden RF, Pan T, Knight AE, Macapinlac HA, et al. Quantifying the effect of IV contrast media on integrated PET/CT: clinical evaluation. *Am J Roentgenol* 2006;186:308-319