

PET/CT 영상에서 조영제를 이용한 CT 영상의 보정(Correction)에 따른 표준화섭취계수(SUV)의 영향

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

안샤론 · 박훈희 · 박민수 · 오신현 · 이승재 · 임한상 · 김재삼 · 이창호

The Effect of PET/CT Images on SUV with the Correction of CT Image by Using Contrast Media

Sharon Ahn, Hoon Hee Park, Min Soo Park, Seung Jae Lee, Shin Hyun Oh,
Han sang Lim, Jae Sam Kim, Chang Ho Lee

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

Purpose: The PET of the PET/CT (Positron Emission Tomography/Computed Tomography) quantitatively shows the biological and chemical information of the body, but has limitation of presenting the clear anatomic structure. Thus combining the PET with CT, it is not only possible to offer the higher resolution but also effectively shorten the scanning time and reduce the noises by using CT data in attenuation correction. And because, at the CT scanning, the contrast media makes it easy to determine a exact range of the lesion and distinguish the normal organs, there is a certain increase in the use of it. However, in the case of using the contrast media, it affects semi-quantitative measures of the PET/CT images. In this study, therefore, we will be to establish the reliability of the SUV (Standardized Uptake Value) with CT data correction so that it can help more accurate diagnosis. **Materials and Methods:** In this experiment, a total of 30 people are targeted - age range: from 27 to 72, average age : 49.6 - and DSTe (General Electric Healthcare, Milwaukee, MI, USA) is used for equipment. ^{18}F - FDG 370~555 MBq is injected into the subjects depending on their weight and, after about 60 minutes of their stable position, a whole-body scan is taken. The CT scan is set to 140 kV and 210 mA, and the injected amount of the contrast media is 2 cc per 1 kg of the patients' weight. With the raw data from the scan, we obtain a image showing the effect of the contrast media through the attenuation correction by both of the corrected and uncorrected CT data. Then we mark out ROI (Region of Interest) in each area to measure SUV and analyze the difference. **Results:** According to the analysis, the SUV is decreased in the liver and heart which have more bloodstream than the others, because of the contrast media correction. On the other hand, there is no difference in the lungs. **Conclusions:** Whereas the CT scan images with the contrast media from the PET/CT increase the contrast of the targeted region for the test so that it can improve efficiency of diagnosis, there occurred an increase of SUV, a semi-quantitative analytical method. In this research, we measure the variation of SUV through the correction of the influence of contrast media and compare the differences. As we revise the SUV which is increasing in the image with attenuation correction by using contrast media, we can expect anatomical images of high-resolution. Furthermore, it is considered that through this trusted semi-quantitative method, it will definitely enhance the diagnostic value. (Korean J Nucl Med Technol 2009;13(1):77-81)

Key Words : Contrast media, Correction, SUV

서 론

- Received: December 5, 2008. Accepted: January 3, 2009.
- Corresponding author: Sharon Ahn
Department of Nuclear Medicine, Yonsei University Health System
134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea
Tel: +82-2-2228-6063, Fax: +82-2-2227-7062
E-mail: ansharon@yuhs.ac

PET/CT (Positron Emission Tomography/Computed Tomography)의 PET은 생체의 생리, 화학적인 정보를 정량적으로 영상화할 수 있지만, 해부학적인 구조를 명확히 나타내는 데

에는 한계를 가지고 있다. 하지만 CT를 접목시켜 영상의 해상력을 높임은 물론, CT 데이터를 감쇠보정에 이용하여 검사 시간도 단축시키고 잡음제거 측면에서도 우수함을 나타내고 있다. PET/CT의 사용 초기에는 함께 장착된 CT를 주로 감쇠 보정의 목적으로만 사용하였으나 최근에는 64채널의 CT를 장착한 PET/CT까지 개발되어 이젠 CT가 더 이상 감쇠 보정의 역할만을 위한 장치가 아니라 진단적인 가치를 지닌 장비가 되었다. 두 장비의 결과를 함께 판독에 이용한다면 더 좋은 결과를 가져올 수 있음은 자명한 것이므로 CT의 진단적 이용은 대세인 것으로 생각된다.^{1,2)} 또한 CT 검사 시 조영제를 사용함으로써 병변의 정확한 위치와 범위를 확인하고 정상구조물과 병변을 구별하는데 용이하여 판독자에게 도움이 되므로 조영제의 사용이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 하지만 PET/CT 검사시에 사용하는 요오드 조영제가 감쇠 보정시 과보정을 하여 표준화섭취계수에 영향을 줄 수 있다는 이유로 조영제의 사용에 대해 이견이 많았으나, 최근의 연구들에서는 과보정으로 인해 표준화섭취계값이 변할 수는 있지만 실제 판독에 미치는 영향은 거의 없어서 조영제의 사용이 큰 문제가 되지 않는다는 보고도 있다.^{2,5)} 본 연구에서는 조영제를 사용한 CT 데이터로 감쇠 보정을 할 때 조영제 영향에 대한 보정 유무에 따라 표준화섭취계수의 차이를 비교하고 신뢰도를 확보하여 정확한 진단에 도움이 되고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 연구 대상

2008년 4월에서 2008년 7월 사이에 본원에서 PET/CT검사를 시행한 환자 중 요오드 조영제에 대한 부작용이 없고 당뇨병이 없는 환자 30명을 대상으로 (남: 20, 여: 10, 연령범위: 연령범위 27세~72세, 평균나이 49.6세) 후향적 조사를 하였다. 환자들은 검사 전 최소 6시간 이상 금식하였고, 검사 직전 혈당은 모두 6.69 mmol/L (120 mg/dL) 이하였으며 500~1000 cc 정도의 충분한 수분을 섭취한 후 5.6 MBq/kg (0.15 mCi/kg)의 ¹⁸F-FDG를 환자의 몸무게에 따라 말초혈관에 정맥 주사하였다. 주사 후에는 근육의 섭취 증가를 막기 위해 편안하게 누운 자세로 움직임을 제재하였으며 주사 60분 후 배뇨를 하고 전신 검사를 시행하였다.

2. 검사 방법

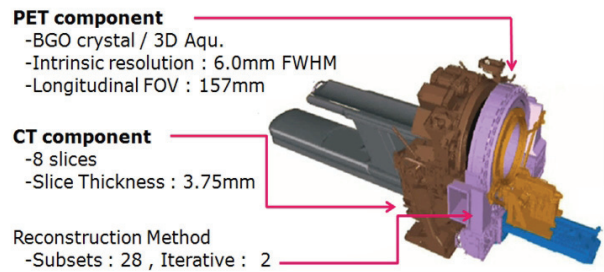


Fig. 1. Discovery STE was used. In PET component, it acquired as a 3 Dimension mode. Intrinsic Resolution was 6.0 mm FWHM and DFOV was 70 mm and overlapping per bed was 9 slices. CT component used 8 slices using 3.75 mm thickness. It took iterative mode as a reconstruction method having 28 subsets and 2 iterations.

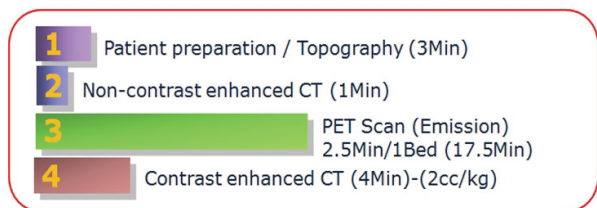


Fig. 2. The procedure of the examination consists of 4 stages. First, it takes 3 minutes for preparation. Second, Non-contrast CT Scan needs 1 minute. Third, PET Scan takes 17.5 minutes. Forth, Contrast-CT Scan needs for 4 minutes.

장비는 GE Discovery STE (General Electric Healthcare, Milwaukee, MI, USA)를 사용하였으며, 고유 분해능(Intrinsic Resolution)은 6.0mm의 반치폭을 사용하였고, DFOV (Display Field Of view)는 50.0 mm, Bed당 Overlap은 9 Slice, 3D로 획득하였고, 재구성 방법으로는 subset 28회, Iteration 2회 실시하였다(Fig. 1).

환자는 바로누운 자세에서 양팔을 머리위로 올려 조영제를 사용하지 않은 CT (Non-Contrast CT: NCCT)를 1분간 검사 후 17.5분간 PET 영상을 획득하였으며 마지막으로 조영제를 사용한 CT (Contrast enhanced CT: CECT)를 4분간 검사하였다(Fig. 2).

CECT 검사시 조영제는 OMNIPAQUE (Amersham Health Co., Ireland, 1 mL 당요오드 300 mg 포함)를 사용하였고, CECT 검사에 사용되는 조영제 자동 주입기는 Dual shot injector인 Optivantage (Mallinckrodt, LIEBEL-FLARSHEIM Co. United States of America)를 이용하여 환자 몸무게 1 kg당 2 cc/sec를 주입하였으며 CT 검사의 조건은 140 kV, 210 mA로 설정하였다.

기존 PET/CT 전신촬영에서 환자의 자세는 바로누운 자세로 조영제를 사용하지 않은 CT (Non-Contrast enhanced CT: NCCT)와 PET을 검사한 후 조영제를 사용한 CT (Contrast

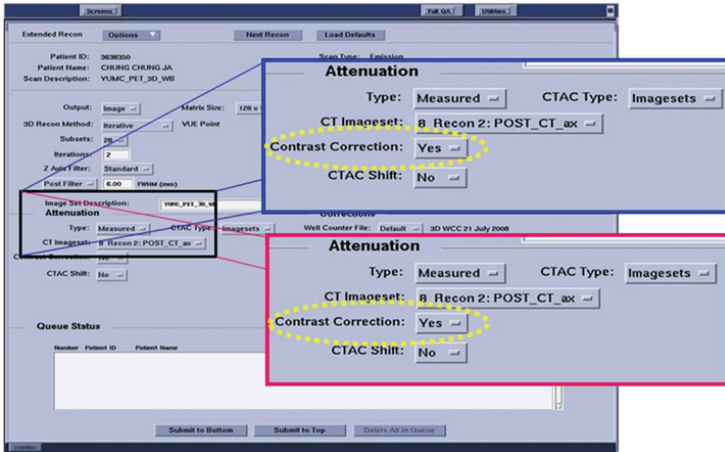


Fig. 3. Image processing tool built-in Discovery STe was used for reconstruction. The contrast correction was available when it had an attenuation correction. Two different reconstruction methods were taken. The first reconstruction had attenuation corrected with contrast correction on enabled. Another reconstruction had attenuation corrected with contrast correction on disabled.

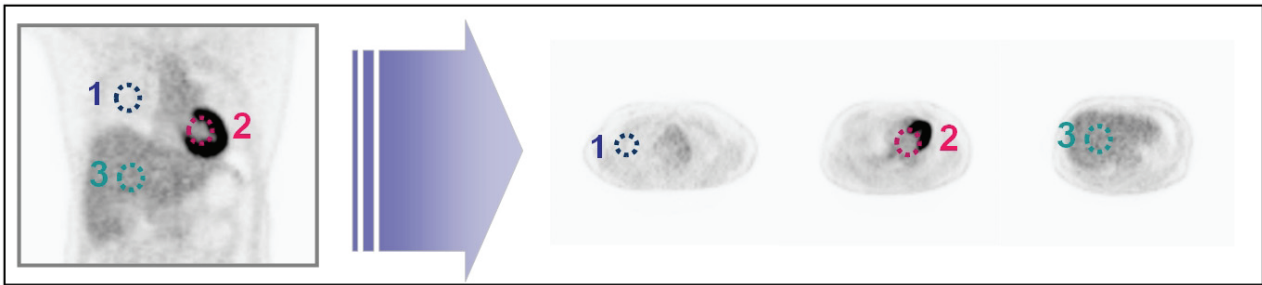


Fig. 4. The ROI was drawn on the region of lung (1), heart (2) and Liver (3) on both PET images which were reconstructed from the contrast corrected CT and non-contrast corrected CT. The SUVs were measured and evaluated. (1) Lung region was drawn the middle of the right superior lobe. (2) Heart region was drawn the edge of the upper part of the ventricular septum around pulmonary valve. (3) Liver region was drawn the middle of the right hepatic lobe of the right branch of portal vein. Each ROI's diameter was 20 mm on a circle shape.

enhanced CT: CECT)에서 양팔을 올린 채로 검사를 하였지만, 본 연구에서는 처음부터 환자가 양팔을 올린 채로 검사하여 조영제를 사용한 CT (Contrast enhanced CT: CECT)로 감쇠 보정을 하여 PET영상을 획득했을 때 환자의 자세변화로 인해 생길 수 있는 인공물(Artifact)의 발생을 감소시켰다.

3. 영상 분석

검사 후 최초 획득 데이터 (raw data)를 이용하여 Smoothing 된 조영제를 사용한 CT (Contrast enhanced CT: CECT)영상을 조영제의 영향을 보정한 것과 보정하지 않은 것으로 각각 감쇠 보정(Attenuation Correction)을 하였다. 이는 GE DSTe system에서 재구성방식을 선택적으로 설정할 수 있다(Fig. 3).

획득한 영상을 Advantage. Workstation Ver. 4.3 프로그램의 PET Volume Viewer로 간, 폐, 심장의 동일한 위치에 동일한 크기의 관심영역(ROI)을 그려 조영제에 대한 영향을 보정한 영상과 보정하지 않은 영상간의 표준화섭취계수비(SUV) 차이를 비교하였다(Fig. 4).

간은 간문맥의 오른쪽 분지 부분의 우엽 중앙, 폐는 우측 상엽의 중심, 심장은 심실 중격 상단 끝 부분과 폐동맥관 주위에 관심영역을 설정하였다. ROI는 지름 20 mm인 원형으로 하였고 해당 영역에서 SUV를 측정 후 비교하였다. 모든 ROI는 CT, PET, Fusion 영상의 관상면, 시상면, 횡단면을 참조하여 횡단면을 기준으로 그려졌다.

통계 분석은 SPSS 15 (SPSS Inc., USA)를 이용하였으며, 조영제에 대한 영향을 보정한 PET영상과 조영제에 대한 영향을 보정하지 않은 PET영상의 정량 분석의 비교에서는 대응표본 T-검정(Paired t-test)를 사용하였다. $p < 0.05$ 인 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 인정하였으며 제시된 모든 값은 평균±표준편차로 표시하였다.

결 과

검사를 시행한 환자의 CT 데이터 중 조영제를 사용한 CT 데이터를 조영제에 대한 영향을 보정한 것과 보정하지 않은 것으로 각각 감쇠보정을 한 PET영상에서 간, 폐, 심장에 지름

Table 1. Comparison of the SUVs of the ROIs in contrast enhanced CT and contrast correction CT

Regions SUV	Liver		Lung		Heart	
	Max. (Mean±SD)	Avg. (Mean±SD)	Max. (Mean±SD)	Avg. (Mean±SD)	Max. (Mean±SD)	Avg. (Mean±SD)
CECT [*] (1)	2.594±0.577	2.072±0.398	0.561±0.130	0.45±0.127	2.433±0.397	1.894±0.338
CCCT [†] (2)	2.544±0.578	2.044±0.399	0.561±0.130	0.45±0.114	2.256±0.417	1.789±0.319
(1-2)/(2) (%)	1.965	1.359	0.000	0.000	7.849	5.901
p value	0.01	0.043	0.574	1.000	0.190	0.01

^{*}CECT-Contrast Enhanced CT (without correction), [†]CCCT-Contrast Correction CT (with correction).

20 mm인 원형으로 ROI를 설정하여 해당 영역에서 SUV를 측정 후 비교하였다(Fig. 4).

조영제에 대한 영향을 보정을 하지 않은 경우가 조영제에 대한 영향을 보정한 경우 보다 간과 심장에서 표준화섭취계수의 값이 증가함을 보였다. 하지만 조영제의 영향이 적은 폐에서는 차이를 보이지 않았다. 간의 CECT영상에서 SUV_{max}값의 평균값과 표준편차는 2.594±0.577이었고 CCCT에서는 2.544±0.578로 평균적으로 1.965% 정도의 SUV_{max}값의 상승이 있었으며, 유의확률이 0.01로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p<0.05)(Table 1). 간의 CECT영상에서 SUV_{mean}값의 평균값과 표준편차는 2.072±0.398이었고 CCCT에서는 2.044±0.399로 평균적으로 1.359% 정도의 SUV_{mean}값의 상승이 있었으며, 통계적 유의확률이 0.043로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p<0.05)(Table 1). 폐의 CECT영상에서 SUV_{max}값의 평균값과 표준편차는 0.561±0.130이었고 CCCT에서는 0.561±0.130이었으며 폐의 CECT영상에서 SUV_{mean}값의 평균값과 표준편차는 0.45±0.127이었고 CCCT에서는 0.45±0.114로 표준화섭취계수의 변화를 보이지 않았다(Table 1). 폐에서는 조영제에 대한 영향의 보정에 관계없이 수치적인 변화가 거의 없었으며 통계적으로 유의하지 않은 값을 나타냈다.

심장의 CECT영상에서 SUV_{max}값의 평균값과 표준편차는 2.433±0.397이었고 CCCT에서는 2.256±0.417로 평균적으로 7.849% 정도의 SUV_{max}값의 상승이 있었으며, 유의확률이 0.190로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 심장의 CECT영상에서 SUV_{mean}값의 평균값과 표준편차는 1.894±0.338이었고 CCCT에서는 1.789±0.319로 평균적으로 5.901% 정도의 SUV_{mean}값의 상승이 있었고 통계적 유의확률이 0.01로 유의한 것으로 나타났다(p<0.05)(Table 1).

각 영역별로 보았을 때 간에서 조영제에 대한 영향의 보정에 따라 SUV_{max}값과 SUV_{mean}값에 유의한 차이를 보였고 심장영역의 SUV_{mean}값에서는 통계적으로 유의했다(p<0.05). 하지만 폐의 SUV_{max}값과 SUV_{mean}값, 심장영역 SUV_{max}값에 있어서는 SUV값의 수치적인 변화는 있었지만 통계적으로 유의하지는 않았다.

고 찰

본 연구는 조영제의 영향에 대한 보정에 따른 표준화섭취계수값의 변화를 보기 위한 것으로 관심영역의 부위 설정에 어려움이 있었다. 말초혈관을 통하여 주입된 조영제는 혈류를 따라 이동하므로 혈류량에 따라 관심영역을 설정하였다. 조영제에 의한 영향을 거의 받지 않는 폐와 조영증강이 가장 뚜렷하게 되는 간, 혈류의 유입이 가장 많은 심장으로 설정하였다. 심장에서 심근의 섭취는 환자의 금식상태에 따라 각기 다르기 때문에 심근을 제외한 심실 내 공간에 설정하였다.

환자마다 동일한 부위에 관심영역을 설정하는데 어려움이 있었으며 대상이 적어 통계적인 접근에 어려움이 있었다.

결 론

PET/CT 검사에서 CT 검사 시 조영제를 사용한 영상은 검사하고자 하는 부위의 정상조직과 병변의 대조도를 증가시켜 진단의 효율성은 높일 수 있으나, CT로 감쇠보정을 하였을 때 정상 조직의 SUV 값이 전반적으로 상승함에 따라 병변 대 주변 조직의 비가 감소함으로 인해 병변의 발견율이 감소할 수 있다.^{4,6)} 사용하는 요오드 조영제가 감쇠 보정시 과보정을 하여 표준화섭취계수에 영향을 줄 수 있다는 이유로 조영제의 사용에 대해 이견이 많았으나, 최근의 연구들에서는 과보정으로 인해 표준화섭취계값이 변할 수는 있지만 실제 판독에 미치는 영향은 거의 없어서 조영제의 사용이 큰 문제가 되지 않는다는 보고도 있다.²⁻⁵⁾

따라서 본 연구는 조영제에 대한 영향을 보정함으로 표준화섭취계수의 변화를 측정하여 그 차이를 비교하였으며, 조영제에 대한 영향을 보정을 하지 않은 경우가 조영제에 대한 영향을 보정을 했을 때 보다 간에서 1.965%의 SUV_{max}값의 상승이 있었으며, 1.359%의 SUV_{mean}값의 상승을 보였고 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 심장에서는 SUV_{mean}값에서는 통계적으로 유의했으나 SUV_{max}값은 유의하지 않았다. 하지만 조영제에 의한 영향이 적은 폐에서는 조영제에 대한 영향의 보

정에 관계없이 표준화섭취계수의 변화가 나타나지 않았다.

기존의 연구들에서 조영제를 사용하지 않았을 때보다 조영제를 사용하였을 때 간내 병변의 발견율이 63%에서 90%로 향상되었고,⁷⁾ 조영제를 사용하지 않았을 때 보다 사용한 PET/CT 영상에서 병변의 발견율이 11% 정도 증가되었음을 보고하고 있다.⁸⁾ 조영제를 사용하였을 때 이처럼 병변의 발견이 용이해지고, 병변의 모양과 범위를 정확히 파악할 수 있으며, PET에서 말해 줄 수 없는 병변의 양상을 파악할 수 있는 장점이 있다는 것은 주지의 사실이다.⁹⁾

조영제를 사용한 CT로 감쇠보정을 할 경우 증가하는 표준화섭취계수를 보정함으로써 간에서 만큼은 고해상력의 해부학적 영상뿐만 아니라 신뢰를 할 수 있는 반정량적 방법으로 진단적 가치를 더욱 높일 수 있을 것이며 다른 장기에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

PET/CT (Positron Emission Tomography/ Computed Tomography)의 PET은 생체의 생리, 화학적인 정보를 정량적으로 영상화할 수 있지만 해부학적인 구조를 명확히 나타내는 데에는 한계를 가지고 있어 PET에 CT를 접목시켜 해상력을 높임은 물론, CT 데이터를 감쇠보정에 이용하여 촬영시간도 단축시키고 잡음제거 측면에서도 우수함을 나타내고 있다. 또한 CT 검사 시 조영제를 사용함으로써 병변의 정확한 범위를 확인하고 정상 구조물을 구별하는데 용이하여 조영제의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 하지만 조영제를 사용한 경우 CT 영상의 보정에 따라 PET/CT 영상에서 표준화섭취계수(Standardized Uptake Value: SUV)에 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 조영제 보정에 따라 표준화섭취계수(SUV)에 미치는 정도를 평가하였다.

2008년 4월에서 7월 사이에 본원에서 PET/CT검사를 시행한 환자 중 요오드 조영제에 대한 부작용이 없고 당뇨병이 없는 환자 30명을 대상으로 (남: 20, 여: 10, 연령범위: 연령범위 27세~72세, 평균나이 49.6세) 후향적 조사를 하였다. 장비는 DSTe (General Electric Healthcare, Milwaukee, MI, USA)를 사용하였다. 검사자에게 ¹⁸F-FDG 370~555 MBq를 몸무게에 따라 주사하였으며, 1시간 정도의 안정된 자세를 취한 후 검사를 시행하였다. CT촬영은 140 kV, 210 mA로 설정하였으며 CT 검사에 사용되는 조영제의 양은 환자 몸무게 1 kg당 2 cc를 주입하였다. 검사 후 최초 획득 데이터(raw data)를 이용하여 조영제 영향을 보정한 CT데이터와 보정을 하지 않은 CT데

이터로 감쇠보정을 하여 영상을 얻었으며 각 영상의 간, 심장, 폐에 관심영역(Region of Interest: ROI)를 그려 SUV를 측정하여 비교하였다. SUV를 측정한 결과 조영제 보정을 한 영상의 표준화섭취계수(SUV)가 줄어들을 수 있었다. 조영제에 대한 영향이 거의 없는 폐에서는 수치적인 변화가 거의 나타나지 않았으며 통계적으로도 유의하지 않았다. 비교적 혈류가 풍부한 간과 심장에서 조영제 보정으로 인한 표준화섭취계수(SUV) 값이 수치적인 차이를 보였으나 간에서만 통계적으로 유의했다.

PET/CT 검사에서 조영제의 사용으로 인하여 검사하고자 하는 부위의 대조도를 증강시켜 진단의 효율성을 높이고 있지만 이로 인하여 표준화섭취계수(SUV)의 증가가 일어난다. 따라서 조영제를 사용한 CT로 감쇠보정을 할 경우에 조영제의 영향에 대한 보정을 해주어 고해상력의 해부학적 영상뿐만 아니라 신뢰를 할 수 있는 반정량적 방법으로 진단적 가치를 더욱 높일 수 있을 것이며 다른 장기에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

REFERENCES

1. T Beyer, T Antoch, G Muller, S Egelhof, Freudenberg LS, Debatin J, et al. Acquisition protocol considerations for combined PET/CT imaging. *Nucl Med* 2004;45suppl1:25S-35S.
2. Antoch G, Freudenberg LS, Egelhof T, Stattaus J, Jentzen W, Debatin JF, et al. Focal tracer uptake: a potential artifact in contrast-enhanced dual-modality PET/CT scans. *J Nucl Med* 2002;43:1339-1342.
3. 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.
4. Yau YY, Chan WS, Tam YM, Vernon P, Wong S, Coel M, et al. Application of intravenous contrast in PET/CT: does it really introduce significant attenuation correction error? *J Nucl Med* 2005;46:283-291.
5. Beyer T, Antoch G, Bockisch A, Stattaus J. Optimized intravenous contrast administration for diagnostic whole-body ¹⁸F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2005;46:429-435.
6. Nakamoto Y, Chin BB, Kraitchman DL, Lawler LP, Marshall LT, Wahl RL. Effects of nonionic intravenous contrast agents at PET/CT imaging: phantom and canine studies. *Radiology* 2003;227:817-824.
7. Violante MR, Dean PB. Improved detectability of VX2 carcinoma in rabbit liver with contrast enhancement in computed tomography. *Radiology* 1980;134:237-239.
8. Antoch G, Freudenberg LS, Beyer T, Bockisch A, Debatin JF. To enhance or not to enhance? ¹⁸F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2004;45 Suppl:56S-65S.