

PET/CT 영상에서 조영제를 사용하지 않은 CT와 조영제를 사용한 CT를 이용한 감쇠보정에 따른 표준화섭취계수의 비교

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

이승재 · 박훈희 · 안사론 · 오신현 · 남궁혁 · 임한상 · 김재삼 · 이창호

A Comparative Study of the Standard Uptake Values of the PET Reconstruction Methods; Using Contrast Enhanced CT and Non Contrast Enhanced CT

Seung Jae Lee, Hoon-Hee Park, Sharon Ahn, Shin Hyun Oh, Heuk Nam-Koong,
Han Sang Lim, Jae Sam Kim, Chang Ho Lee

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

Purpose: At the beginning of PET/CT, Computed Tomography was mainly used only for Attenuation Correction (AC), but as the performance of the CT have been increase, it could give improved diagnostic information with Contrast Media. But it was controversial that Contrast Media could affect AC on PET/CT scan. Some submitted thesis' show that Contrast Media could overestimate when it is for AC data processing. On the contrary, the opinion that Contrast Media could be possible to affect the alteration of SUV because of the overestimated AC. But it does not have a definite effect on the diagnosis. Thus, the affection of Contrast Media on AC was investigated in this study. **Materials and Methods:** Patient inclusion criteria required a history of a malignancy and performance of an integrated PET/CT scan and contrast-enhanced CT scan within a 1-day period. Thirty oncologic patients who had PET/CT scan from December 2007 to June 2008 underwent staging evaluation and met these criteria. All patients fasted for at least 6 hr before the IV injection of approximately 5.6 MBq/kg (0.15 mCi/kg) of ^{18}F -FDG and were scanned about 60 min after injection. All patients had a whole body PET/CT performed without IV contrast media followed by a contrast-enhanced CT on the Discovery STe PET/CT scanner. CT data were used for AC and PET images came out after AC. The ROIs drew and measured SUV. A paired t-test of these results was performed to assess the significance of the difference between the SUV obtained from the two attenuation corrected PET images. **Results:** The mean and maximum Standardized Uptake Values (SUV) for different regions averaged over all Patients. Comparing before using Contrast Media and after using, Most of ROIs have the increased SUV when it did Contrast Enhanced CT compare to Non-Contrast enhanced CT. All regions have increased SUV and also their *p* value was under 0.05 except the mean SUV of the Heart region. **Conclusion:** In this regard, the effect on SUV measurements that occurs when a contrast-enhanced CT is used for attenuation correction could have significant clinical ramifications. But some submitted thesis insisted that the percentage change in SUV that can determine or modify clinical management of oncology patients is small. Because there was not much difference that could be discovered by interpreter. But obviously the numerical change was occurred and on the stage finding primary region, small change would be base line, such as the region of liver which has greater change than the other regions needs more attention. (Korean J Nucl Med Technol 2008;12(3):235-240)

Key Words : Standardized uptake value, Attenuation correction, Contrast media

• Received: September 17, 2008. Accepted: October 1, 2008.
• Corresponding author: Hoon Hee Park
Department of Nuclear Medicine, Yonsei University Health System

134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea
Tel: +82-2-2228-6064, Fax: +82-2-2227-7062
E-mail: hzpark@yuhs.ac

서 론

PET/CT의 개발은 기존의 PET에 CT를 결합함으로써 해부학적으로 보다 진보된 영상을 제공하게 되었다. PET/CT검사는 여러 암의 조기발견, 분포 진단은 물론 암의 악성 정도 파악, 방사선 치료 후 치료 효과 파악, 치료계획에 까지 정보를 제공할 수 있게 되었다. 또한 PET/CT장비의 자체의 성능도 많은 향상이 있었다. PET내부의 감쇠보정용 소프트웨어의 발전 및 발전된 형태의 CT기기와 결합함으로써 검사시간의 단축을 가져옴은 물론 검사 영상의 질적 향상도 모색하고 있다.¹⁻³⁾ PET에 장착된 CT기기의 비약적 발전으로 인해 감쇠보정용의 CT검사뿐만 아니라 진단적으로도 이용되게 되었다. 이러한 진단적 CT의 이용을 위해서는 기존의 CT촬영과 같이 고선량의 CT촬영과 조영제의 사용이 필요하게 되었다. 조영제의 사용이 없어도 CT를 판독할 수 있지만 병변의 정확한 범위를 확인하고 정상 구조물을 구별하는데 있어서 조영제의 사용은 판독자로 하여금 판독을 매우 용이하게 하는 도움을 줄 수 있다.¹⁾ 하지만, 그동안 PET/CT 검사 시 조영제가 감쇠보정에 영향을 줄 수 있다는 논쟁으로 이견이 많았다.²⁻⁶⁾ 40-140 keV 정도의 낮은 엑스선을 이용하는 CT영상에 비하여, 조영제를 사용한 CT영상에서는 조영제로 인해 감쇠가 많이 되지만 511 keV의 에너지를 가진 감마선은 조영제로 인해 거의 영향을 받지 않게 되고 이로 인해 감쇠보정시 과보정을 하게 되어 PET영상에서 오류를 나타낼 수 있다는 의견이 보고되기도 하였다.²⁻⁷⁾

이와는 반대로 조영제가 감쇠보정에 과대평가를 가져올 수 있다는 의견과 과보정으로 인한 표준화섭취계수 (Standardized Uptake Value: SUV)에 변화의 가능성은 있으나 결정적인 영향을 미치는 않는다는 의견도 제시되었다.^{4,8-10)} 그러므로 본 연구에서는 조영제의 영향이 SUV에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서만 비교·평가하였다.

실험재료 및 방법

1. 연구 대상

2007년 12월에서 2008년 6월 사이에 본원에서 PET/CT 검사를 시행한 환자 중 요오드 조영제에 대한 부작용이 없고 당뇨병이 없는 진행성 암 환자 30명을 대상으로 (남: 14, 여: 16, 연령범위: 27~71세, 평균연령: 49±11세) 후향적으로 조사하였다. 환자들은 검사 전 최소 8시간 이상 금식하였고, 검사 직전 혈당은 모두 6.69 mmol/l (120 mg/dl) 이하였다. 방사성 동위원소 주사 전 15분간 안정을 취하며 약 500~1000 mL의 물을 마시도록 한 후, 5.6 MBq/kg (0.15 mCi/kg)의 ¹⁸F-FDG를 정맥 주사하였다. 주사 후에는 근육의 섭취 증가를 막기 위해 움직임을 제재하며 60분간 누운 자세로 안정을 취하도록 하였다. 검사 전 배뇨하여 방광을 비우도록 하였고 안정을 취하기 전에 조영제를 주입하기 위한 20 gauge 카테터를 좌측 혹은 우측 전주와 정맥에 삽입하였다.

2. 검사 방법

환자는 양팔을 올린 상태에서 뇌 기저부에서 대퇴부의 중간 지점까지 바로누운자세로 검사에 임하였다. 조영제를 사용하지 않은 CT (Non-Contrast CT: NCCT)를 1분간 촬영한 후 18분간 PET영상을 얻었고, 그 후 조영제를 사용한 CT (Contrast enhanced CT: CECT)를 4분간 촬영하였다(Fig. 1). 각각의 CT촬영 시 촬영 조건은 동일하였다. CECT 촬영 시 조영제로는 OMNIPAQUE (Amersham Health Co., Ireland, 1 mL 당 요오드 300 mg 포함)를 사용하였고 환자 몸무게의 kg당 2 cc 용량을 초당 2 mL의 속도로 주입하였다. 자동 주입기는 Dual shot injector인 Optivantage (Mallinckrodt, LIEBEL-FLARSHEIM Co., United States of America)를 이용하였다. 조영제 주입 후 60초 후에 CT영상을 얻었고 촬영이 끝난 후 NCCT와 CECT를 각각 이용, 감쇠보정을 실시하여 두 가지 PET영상을 얻었다.

PET/CT Discovery STe (General Electric Healthcare,



Fig. 1. The procedure of the examination consists of 4 stages. First, it takes 5 minutes for preparation. Second, NCCT Scan needs 1 minute. Third, PET Scan takes 18 minutes. Forth, CECT Scan needs for 4 minutes.

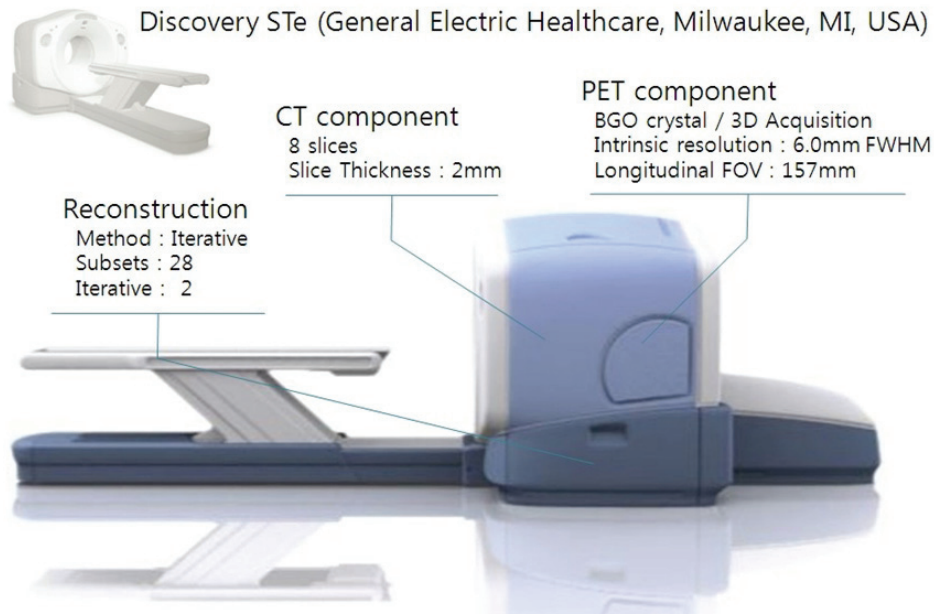


Fig. 2. Discovery STe was used. In PET component, it acquired as a 3 dimensional mode. Intrinsic Resolution was 6.0mm FWHM and DFOV was 70 mm and overlapping per bed was 9 mm. CT component used 8 slices using 2 mm thickness. It took iterative mode as a reconstruction method having 28 subsets and 2 iterations.

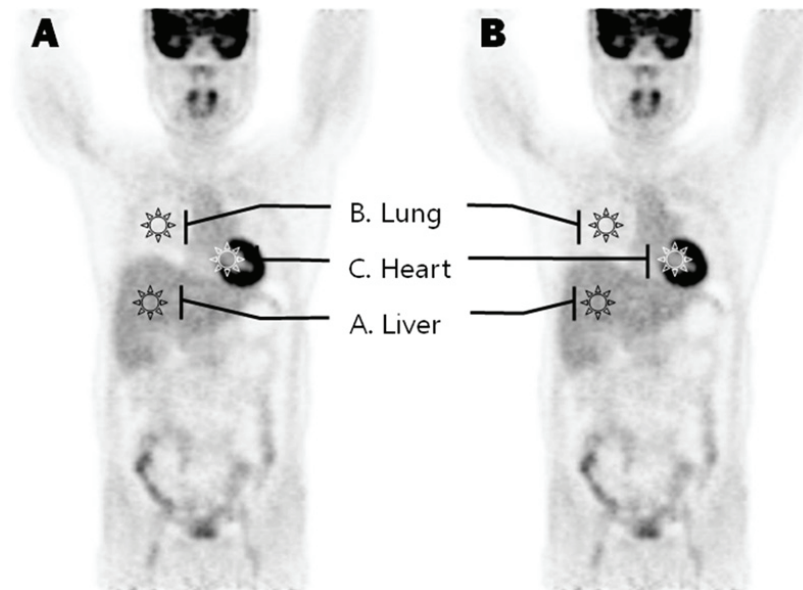


Fig. 3. On each patient, three of Region of Interest were drew both Attenuation Corrected PET image. (A) Liver region was drew the middle of the right hepatic lobe of the right branch of portal vein. (B) Lung region was drew the middle of the right superior lobe. (C) Heart region was drew the edge of the upper part of the ventricular septum around pulmonary valve. Each ROI's diameter was 200 mm on a circle shape.

Milwaukee, MI, United States of America) Scanner를 사용하여 3D (3 Dimensional)방법으로 촬영하였으며 크리스탈 (Crystal)은 BGO를 사용하였다. 고유 분해능(Intrinsic Resolution)은 6.0 mm의 반치폭을 사용하였고, DFOV (Display Field Of view)는 70.0 mm, 한 Bed당 Overlap은 9 mm, 3D

재구성 방법으로 Subset 28회, Iteration 2회 반복 실시하였다. CT는 2 mm의 Slice Thickness로 8 slice로 구성되어 있으며, 재구성 방법은 Iterative method를 사용하여 subset은 28회 iteration은 2회 시행하였다(Fig. 2).

3. 영상 분석

NCCT와 CECT에서 얻은 각각의 CT정보로 감쇠보정을 실시하여, 획득한 두 가지의 PET영상을 Advantage. Workstation Ver. 4.3 프로그램에서 PET Volume Viewer Method로 각 영상에 간, 폐, 심장에 동일한 관심 영역(Region of Interests : ROIs)을 설정하였다. 간은 간문맥의 오른 쪽 분지 부분의 우엽 중앙, 폐는 우측 상엽의 하부 중심, 심장은 심실 중격 상단 끝 부분과 폐동맥관 영역에 ROI를 그렸다. ROI는 지름 200 mm인 원형으로 하였고 해당 영역에서 SUV를 측정 후 비교하였다(Fig. 3). 모든 ROI는 CT, PET, Fusion 영상의 관상면, 시상면, 횡단면을 참조하여 횡단면을 기준으로 그려졌다.

4. 통계 분석

통계 분석은 SPSS 15 (SPSS Inc., USA)를 이용하였으며, 두 가지 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 30명의 환자에게서 간, 폐, 심장의 SUV의 최대값(SUV_{max})과 평균값(SUV_{mean})을 측정하여 총 180개 영역을 분석하였다. 조영제를 사용하기 전과 후의 SUV_{max}값과 SUV_{mean}값을 비교하였을 때 모든 영역에서 조영 후 SUV 값이 상승하는 것을 관찰할 수 있었다.

간의 NCCT영상에서 SUV_{max}값의 평균값과 표준편차는 2.48±0.59이었고 CECT에서는 2.97±0.59로 평균적으로 16.5%

정도의 SUV_{max}값의 상승이 있었으며, 유의확률이 0.001로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 간의 NCCT영상에서 SUV_{mean}값의 평균값과 표준편차는 1.99±0.41이었고 CECT에서는 2.13±0.41로 평균적으로 6.5% 정도의 SUV_{mean}값의 상승이 있었으며, 통계적 유의확률이 0.001로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$).

폐의 NCCT영상에서 SUV_{max}값의 평균값과 표준편차는 0.52±0.10이었고 CECT에서는 0.58±0.13로 평균적으로 10.3% 정도의 SUV_{max}값의 상승이 있었으며, 유의확률이 0.001로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 폐의 NCCT영상에서 SUV_{mean}값의 평균값과 표준편차는 0.42±0.09이었고 CECT에서는 0.46±0.11로 평균적으로 8.7% 정도의 SUV_{mean}값의 상승이 있었으며, 통계적 유의확률이 0.004로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$).

심장의 NCCT영상에서 SUV_{max}값의 평균값과 표준편차는 2.11±0.39이었고 CECT에서는 2.41±0.42로 평균적으로 12.4% 정도의 SUV_{max}값의 상승이 있었으며, 유의확률이 0.001로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 심장의 NCCT영상에서 SUV_{mean}값의 평균값과 표준편차는 1.61±0.32이었고 CECT에서는 1.76±0.53로 평균적으로 8.5% 정도의 SUV_{mean}값의 상승이 있었다. 하지만 통계적 유의확률이 0.234로 통계적으로는 유의하지 않은 것으로 나타났다($p > 0.05$).

각 영역별로 보았을 때 폐, 간에서 조영 전후의 SUV_{max}값과 SUV_{mean}값에 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 심장영역에 있어서는 SUV_{max}값에서 유의한 차이를 보였고 SUV_{mean}값에서는 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 1).

조영제를 사용하기 전과 후를 비교하였을 때, 측정된 모든 영역에서 조영 후의 최대 SUV가 상승하였지만, 심장영역의 SUV_{mean}값에서는 통계적으로 유의하지 않은 것을 관찰할 수 있었다.

Table 1. Mean and maximum standardized uptake values (SUV) for different regions averaged over all patients

Regions		NCCT (Mean±SD)*	CECT (Mean±SD)†	Increase of SUV (p value)
Liver	SUV _{max}	2.48±0.59	2.97±0.59	16.5% (0.01)
	SUV _{mean}	1.99±0.41	2.13±0.41	6.5% (0.01)
Lung	SUV _{max}	0.52±0.10	0.58±0.13	10.3% (0.01)
	SUV _{mean}	0.42±0.09	0.46±0.11	8.7% (0.04)
Heart	SUV _{max}	2.11±0.39	2.41±0.42	12.4% (0.01)
	SUV _{mean}	1.61±0.32	1.76±0.53	8.5% (0.23)

*NCCT; Non-contrast Computed Tomography, †CECT; Contrast Enhanced Computed Tomography.

를 사용하지 않은 CT의 SUV 보다 높게 나왔으나 기존의 보고된 논문에서는 이와 같은 결과는 실제 임상 판독에 있어서 큰 영향을 미치지 않는다고 보고되어 있다. 그러나 원발성 병변의 진행을 알아보는 과정에서는 SUV의 작은 변동도 분명 영향을 줄 수 있으므로 간 영역과 같이 SUV의 변동이 다른 영역에 비해 상대적으로 큰 영역에서는 수치의 변화에 대한 주의가 요구 될 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Young Jin Jeong, M.D. and Do-Young Kang, M.D. et al. The Effect of Intravenous Contrast on SUV Value in ^{18}F -FDG PET/CT using Diagnostic High Energy CT. *Nucl Med Mol Imaging* 2006; 40:169-176.
2. Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, Sashin D. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. *Med Phys* 1998; 25:2046-53.
3. Visvikis D, Costa DC, Croasdale I, Lonn AH, Bomanji J, Gacinovic S, et al. CT-based attenuation correction in the calculation of semi-quantitative indices of [^{18}F]FDG uptake in PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:344-53.
4. 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; 43:1339-42.
5. 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; 227:817-24.
6. Antoch G, Freudenberg LS, Stattaus J, Jentzen W, Mueller SP, Debatin JF, et al. Whole-body positron emission tomography-CT: optimized CT using oral and IV contrast materials. *Am J Roentgenol* 2002;179:1555-60.
7. Hubbell JH. Photon mass attenuation and mass energy-absorption coefficients for H, C, N, O, Ar, and seven mixtures from 0.1 keV to 20 MeV. *Radiat Res* 1977;70:58-81
8. 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;186:308-19.
9. 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;46:283-91.
10. Beyer T, Antoch G, Bockisch A, Stattaus J. Optimized intravenous contrast administration for diagnostic whole-body ^{18}F -FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2005;46:429-35.