

## 진단용 고선량 CT를 이용한 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 촬영시 정맥 조영제가 SUV 값에 미치는 영향

동아대학교 의과대학 핵의학교실  
정영진 · 강도영

### The Effect of Intravenous Contrast on SUV Value in $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT using Diagnostic High Energy CT

Young Jin Jeong, M.D. and Do-Young Kang, M.D.

Department of Nuclear Medicine, Dong-A University College of Medicine, Busan, Korea

**Purpose:** According to the development of CT scanner in PET/CT system, the role of CT unit as a diagnostic tool has been more important. To improve the diagnostic ability of CT scanner, it is a key aspect that CT scanning has to be performed with high dose energy and intravenous (IV) contrast. So we investigated the effect of IV contrast media on the maximum SUV (maxSUV) of normal tissues and pathologic lesions using PET/CT scanner with high dose CT scanning. **Materials & Methods:** The study enrolled 13 patients who required PET/CT evaluation. At first, the patients were performed whole body non-contrast CT (NCCT - 120 kVp, 130 mAs) scan. Then contrast enhanced CT (CECT) scan was performed immediately. Finally PET scan was followed. The PET emission data were reconstructed twice, once with the NCCT and again with the CECT. We measured the maxSUV of 10 different body regions that were considered as normal in all patients. Also pathologic lesions were investigated. **Results:** There were not seen focal artifacts in PET images based on CT with IV contrast agent. Firstly, 130 normal regions in 13 patients were evaluated. The maxSUV was significantly different between two PET images ( $p < 0.001$ ). The maxSUV was  $1.1 \pm 0.5$  in PET images with CECT-corrected attenuation and  $1.0 \pm 0.5$  in PET images with NCCT-corrected attenuation. The limit of agreement was  $0.1 \pm 0.3$  in Bland-Altman analysis. Especially there were significant differences in 6 of 10 regions, apex and base of the right lung, ascending aorta, segment 6 & segment 8 of the liver and spleen ( $p < 0.05$ ). Secondly, 39 pathologic lesions were evaluated. The maxSUV was significantly different between two PET images ( $p < 0.001$ ). The maxSUV was  $4.7 \pm 2.0$  in PET images with CECT-corrected attenuation and  $4.4 \pm 2.0$  in PET images with NCCT-corrected attenuation. The limit of agreement was  $0.4 \pm 0.8$  in Bland-Altman analysis. **Conclusion:** Although there were increases of maxSUVs in the PET images based on CT with IV contrast agent, it was very narrow in the range of limit of agreement. So there was no significant effect to clinical interpretation for PET images that were corrected attenuation with high dose CT using IV contrast. (Nucl Med Mol Imaging 2006;40(3):169-176)

**Key Words:** FDG-PET/CT, IV contrast, attenuation correction, enhanced CT, SUV, HU

## 서 론

최근 몇 년간 PET/CT의 사용이 보편화되었다.  $^{18}\text{F}$ -FDG를 이용하여 병태생리적인 변화를 찾는다는 점에 있어서 형

태학적인 변화만을 확인하는 기존의 기기와는 다른 진단적 접근 방법을 사용하여 중요한 진단 도구로 대두되고 있다. 또한 과거와 비교해서 PET 자체의 성능도 많은 향상이 있었지만 CT를 감쇠 보정에 이용하면서 촬영 시간을 크게 줄일 수 있었기 때문이기도 하다.<sup>1)</sup> PET/CT의 사용 초기에는 함께 장착된 CT를 주로 감쇠 보정의 목적으로만 사용하였으나 최근에는 64 채널의 CT를 장착한 PET/CT까지 개발되어 이제 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

• Received: 2006. 4. 8. • Accepted: 2006. 5. 2.  
• Address for reprints: Do-Young Kang, M.D., Department of Nuclear Medicine, Dong-A University Medical Center, #1 3ga Dongdaesin-dong, Seo-gu, Busan 602-715, Korea  
Tel : 82-51-240-5630, Fax : 82-51-242-7237  
E-mail : dykang@dau.ac.kr  
\* 이 논문은 2001년도 동아의료원 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

생각된다.<sup>2,3)</sup>

이러한 진단적 CT의 이용을 위해서는 기존의 CT 촬영과 같이 고선량의 CT 촬영과 조영제를 사용하는 것이 필요하다. 물론 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. 하지만 그동안 PET/CT 촬영시에 사용하는 요오드 조영제가 감쇠 보정에 영향을 줄 수 있다는 이유로 조영제의 사용에 대해 이견이 많았다.<sup>4-8)</sup> 물리적인 측면에서 볼 때, CT의 40-140 keV 정도의 낮은 엑스선은 조영제로 인해 감쇠가 많이 되지만 511 keV의 에너지를 가진 감마선은 조영제로 인해 거의 영향을 받지 않게 되고<sup>9)</sup> 이로 인해 감쇠 보정시 과보정을 하여 PET 영상에서 오류를 나타낼 수 있다는 것이다. 과거의 몇몇 연구에서 이러한 영상의 오류를 보고하기도 하였다.<sup>4-7)</sup> 하지만 최근의 연구들에서는 과보정으로 인해 SUV (Standard Uptake Value) 값이 변할 수는 있지만 실제 판독에 미치는 영향은 거의 없어서 조영제의 사용이 큰 문제가 되지 않는다는 보고도 있다.<sup>3,10-12)</sup> 또 기존의 연구들은 대개 감쇠 보정 목적의 저선량 CT를 사용한 연구로서 진단용 CT와 동일한 고선량 CT에서의 감쇠 보정에 관한 보고는 많지 않다. 이에 본 연구에서는 고선량 CT에서 정맥 조영제의 사용이 임상 상황에서 판독에 미치는 영향에 대해 육안 판독과 SUV 값을 이용한 정량적 도구를 이용하여 살펴보았다. CT 촬영시에 사용하는 조영제에는 경구 조영제와 정맥 조영제가 있다. 경구 조영제는 다량을 환자가 섭취해야 하는 불편감과 조영제 자체로 인한 거부감뿐만 아니라 위장관계에만 효과를 볼 수 있기 때문에 진단방사선과 영역에서도 특별한 목적을 제외하고 일반적으로 사용되지 않아 모든 장기의 CT 영상에 영향을 미치는 정맥 조영제에 비해 중요성이 떨어진다. 또 경구 조영제는 이미 제품화 된 물을 이용한 negative contrast의 사용으로 기존의 조영제를 대신할 수 있지만<sup>13)</sup> 정맥 조영제는 아직까지 대체 수단이 없고 정맥 주사라는 간단한 방법으로 CT를 통해 더 많은 임상 정보를 제공할 수 중요한 방법이므로 본 연구에서는 정맥 조영제의 영향이 SUV에 어떤 영향을 미치는지에 대해서만 살펴보았다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

2005년 10월에서 2006년 2월 사이에 본원에서 PET/CT 검사를 시행한 환자 중 요오드 조영제에 대한 부작용이 없고 당뇨병이 없는 사람들을 대상으로 하였다. 중앙의 진단 및

추적 관찰을 위해 PET/CT 검사를 시행한 10명(남 : 6, 여 : 4, 평균 나이 :  $54 \pm 10$ 세)과 건강 검진 목적으로 시행한 3명(남 : 1, 여 : 2, 평균 나이 :  $60 \pm 9$ 세)을 대상으로 후향적으로 조사하였으며 모든 환자에게 검사 과정에 대해 설명하였다. 검사 전 최소 8시간 이상 금식하였고, 검사 직전 혈당은 모두 6.69 mmol/L 이하이었다. 5.6 MBq/kg (0.15 mCi/kg)의  $^{18}\text{F}$ -FDG를 정맥 주사하고, 주사 후 60분간 안정을 취하였다. 안정 시간 동안 500 ml 이상(평균 700 ml)의 물을 마시도록 하였으며, 검사 전 배뇨하여 방광을 비우도록 하였다. 안정을 취하기 전에 조영제를 주입하기 위한 18 gauge 카테터를 좌측 혹은 우측 전주와 정맥에 삽입하였다.

### 2. 촬영 방법

PET/CT 촬영은 Allegro PET과 16 channel Brilliance CT가 장착된 GEMINI 스캐너 (Philips, USA)를 사용하였다. CT 영상은 120 kVp, 130 mAs, 0.9 sec의 피치, 5 mm의 두께, 0.5 sec의 겐트리 회전시간으로 조건을 설정하여 영상을 얻었으며, PET 영상은 1 bed 당 3분간의 방출 영상을 얻었고 Ordered Subset Expectation Maximization algorithm (4 iteration, 8 subunits)을 이용하여 영상을 재구성하였다. 환자는 양와위로 양 팔을 올린 상태에서 뇌 기저부에서 허벅지의 중간 지점까지 조영제를 사용하지 않은 non-contrast CT (NCCT)를 먼저 촬영하였고 곧 이어서 조영제를 사용한 contrast enhanced CT (CECT)를 촬영하였다. 각각의 CT 촬영시 촬영 조건은 동일하였다. 두 번의 CT 촬영이 끝나고 곧 바로 PET을 촬영하였으며 모든 촬영은 머리에서 허벅지 방향으로 촬영하였다. CECT 촬영시 조영제 (OMNIPAQUE, Amersham Health Co., Ireland, 1 ml 당 요오드 300 mg 포함) 100 ml를 초당 2 ml의 속도로 자동 주입기인 Dual shot injector (Nemoto Co. LTD)를 이용하여 정맥 주입하였으며, 주입이 완료되고 60초 후에 CT 영상을 얻었다. 조영제의 주입 시작부터 CT 촬영의 완료까지 모든 과정은 프로그램에 의해 자동으로 진행되도록 설정하였다. 모든 촬영이 끝나고 NCCT와 CECT를 각각 이용하여 감쇠 보정을 실시한 두 가지 PET 영상을 얻었다.

### 3. 영상 및 통계 분석

영상 분석은 workstation의 Syntegra (ver. 2.1E) 프로그램을 이용하여 2명의 핵의학과 의사가 육안 분석과 정량적 분석을 실시하였다. 먼저 육안 분석을 통해 조영제로 인하여 조영제를 사용하기 전에 관찰되지 않았던 인공 산물의 발생 여부를 조사하였다. 두 번째로 정량적 분석을 위해서 NCCT와 CECT로 감쇠 보정한 각각의 PET 영상에서 동일한 부위

**Table 1.** Clinical Data of Patients

No.	Sex	Age	Diagnosis
1	M	57	Laryngeal cancer
2	F	45	Breast cancer
3	F	54	Breast cancer
4	M	49	Non-Hodgkin Lymphoma
5	M	69	Laryngeal cancer
6	F	36	Tongue cancer
7	M	69	Lt. thigh mass
8	M	68	Healthy individual
9	M	57	Stomach cancer
10	F	63	Healthy individual
11	F	55	Breast cancer
12	F	50	Healthy individual
13	M	47	Non-Hodgkin Lymphoma

에 2D법의 관심 영역(Region of Interest)을 그렸다. 13명의 환자에게 모두 이상 소견이 관찰되지 않은 우측 폐의 침부와 기저부, 상행대동맥, 간의 6, 8번 분절, 비장, 10번 흉추의 몸체, 10번 흉추의 우측에 있는 척추 주위 근육, 우측 대퇴골두, 4번 요추 수준의 좌측 장요근의 10곳에 관심 영역을 그렸고 병변이 있는 환자의 경우 비정상적인 림프절이나 중앙병소에 관심 영역을 그려 maxSUV와 Hounsfield Unit (HU)을 측정하였다. 또 모든 환자를 대상으로 조영제가 가

장 많이 축적되어 있는 좌측 혹은 우측 쇄골하정맥의 maxSUV와 HU를 조영 전후의 영상에서 각각 구하였다.

통계 분석은 SPSS 12 (SPSS Inc., USA)를 이용하였으며, 두 가지 PET 영상의 정량 분석의 비교에서는 paired t-test 혹은 Wilcoxon 순위합 검정을 사용하였고, 총 10곳의 정상 부위와 병변 부위 각각에서 조영제를 사용하기 전과 후의 maxSUV 값의 차이의 비교를 위해 Bland-Altman 분석을 시행하였다. 또한 조영 전후의 HU 값의 차이와 maxSUV 값의 차이의 비교를 위해 상관 분석을 시행하였다. p<0.05인 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 인정하였으며 제시된 모든 값은 평균±표준편차로 표시하였다.

## 결 과

검사 시행 중 13명 모두에게 조영제로 인한 특별한 부작용은 관찰되지 않았고, 모두 당뇨병은 없었다. 대상 환자들의 특징은 표에 기술하였다.(Table 1)

### 1. 육안 분석

NCCT와 CECT에 각각 감쇠 보정을 시행한 두 가지의



**Fig. 1.** There was no contrast-induced artifact at the retention site of contrast media (circle) on PET image with attenuation correction using contrast enhanced CT.

**Table 2.** Comparison of Change of the Mean MaxSUV and the HU Value between NCCT-PET and CECT-PET in 10 Normal Tissues. (n=13)

Regions	NCCT		CECT		Increase of maxSUV(%) (Significance)
	maxSUV	HU	maxSUV	HU	
Upper lung	0.4±0.1	-297±102	0.6±0.2	-219±139	38.6% (*)
Lower lung	0.6±0.1	-354±147	0.7±0.2	-308±134	19.7% (*)
A. Aorta	1.2±0.2	64±5	1.5±0.3	190±47	18.1% (*)
F. head	0.5±0.1	552±101	0.5±0.1	553±122	1.3%
Up. liver (S8)	1.8±0.3	72±12	1.9±0.3	126±20	8.3% (*)
Lo. liver (S6)	1.7±0.2	79±10	1.8±0.2	142±25	4% (*)
Spleen	1.4±0.2	82±29	1.6±0.2	181±48	14.3% (*)
T10 body	1.0±0.2	353±114	1.0±0.2	394±177	0%
Paraspinal m.	0.7±0.3	70±14	0.7±0.3	82±15	0%
Iliopsoas m.	0.6±0.2	75±11	0.6±0.1	88±16	1.6%

(Mean±SD)

\* : p<0.05

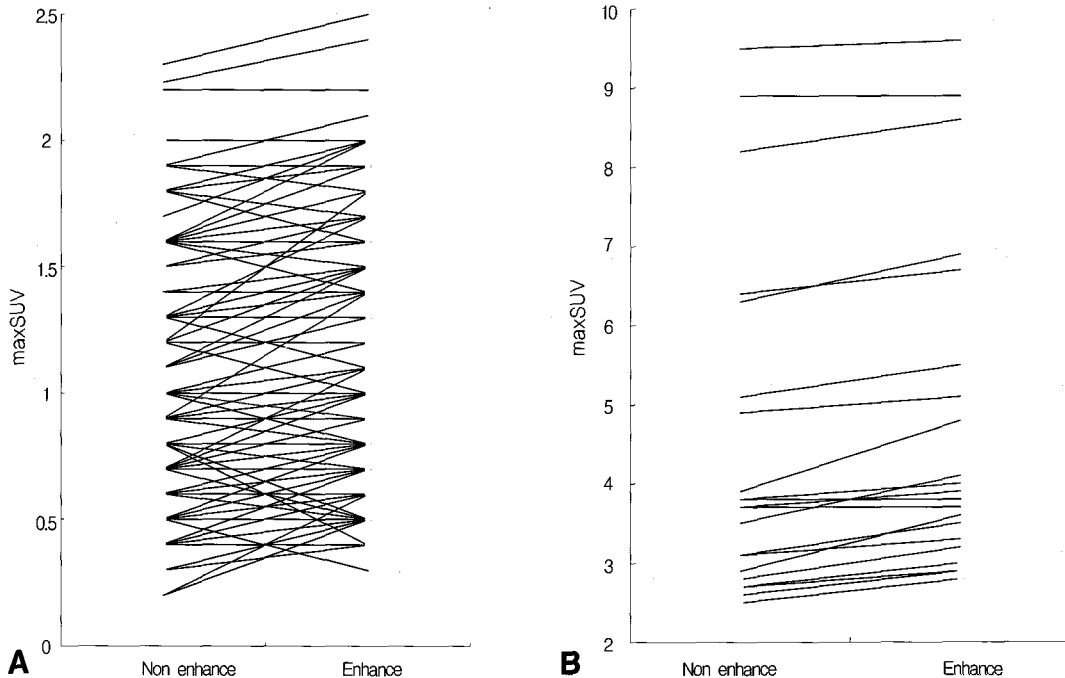
A.Aorta : Ascending Aorta, F.head : Femoral head, Up. liver (S8) : Upper liver (Segment 8), Lo. liver (S6) : Lower liver (Segment 6), Paraspinal & Iliopsoas m. : Paraspinal & Iliopsoas muscle

PET 영상을 13명 모두에서 비교하였을 때, 조영제로 인한 추가적인 섭취 증가는 관찰되지 않았다. 특히 조영제가 일시적으로 과다하게 축적되어 CT상에서 강한 조영 증강이 있었던 쇄골하정맥 부위에서도 PET 영상에서는 조영제를 사용하기 전 영상과 특별한 차이를 보이지 않았다.(Fig. 1)

모든 환자에서 쇄골하정맥 부근의 maxSUV 값을 측정하였고 조영 전의 값은 0.9였고 조영 후의 값은 1.07로 약 18% 정도의 maxSUV 값의 상승을 보였다. 또한 각 환자마다 동일한 10곳의 정상 부위의 maxSUV 값을 구하였으며, 총 130개 영역을 분석하였다. 조영제를 사용하기 전과 후의 maxSUV 값을 비교하였을 때 대부분의 영역에서 조영 후 maxSUV 값이 상승하는 것을 관찰할 수 있었다.(Table 2, Fig. 2A) 조영 전 영상에서 maxSUV 1.0±0.5 이었고 조영

**2. 정량 분석**

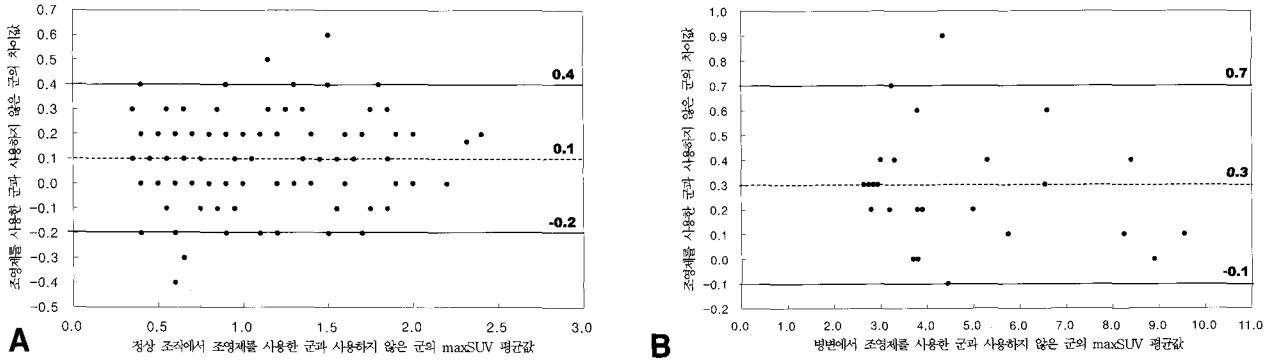
1) 정상 조직



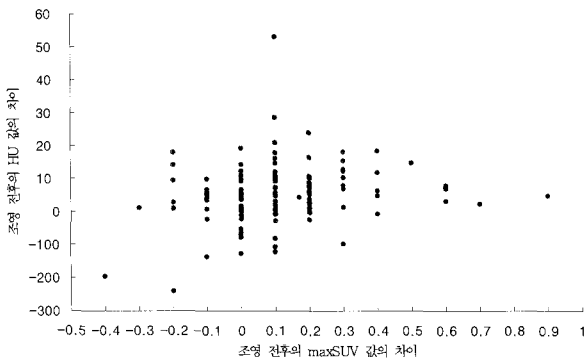
**Fig. 2.** The graphs showed tendency of increasing maxSUV from NCCT-PET to CECT-PET in both normal tissues (A) and pathologic tissues (B).

**Table 3.** Comparison of the MaxSUV Obtained by Attenuation Correction using NCCT and CECT in Normal and Pathologic Tissues. (Mean±SD)

Regions	maxSUV without enhance	maxSUV with enhance	Increase of maxSUV (%) (p value)
Normal tissue	1.0±0.5	1.1±0.5	10 (0.001)
Pathologic tissue	3.7±2.1	4.0±2.1	8 (0.001)



**Fig. 3.** Charts of Bland-Altman analysis showed very narrow range of limits of agreement between two maxSUVs obtained by attenuation correction using NCCT and CECT in normal tissues (A) and pathologic tissues (B).



**Fig. 4.** This scattering graph revealed that difference in HU values due to contrast agent was poor correlated with difference in maxSUV ( $r=0.26$ ).

후 영상에서는  $1.1 \pm 0.5$ 로 평균적으로 10% 정도의 maxSUV 값의 상승이 있었으며, (Table 3) 이는 통계적으로 유의한 차이였다 ( $p < 0.001$ ). CT의 HU 값은 조영 전과 후에서 전체적으로 평균 56% 정도의 상승이 관찰되었다. (Table 2) 각 영역별로 보았을 때 폐 첨부, 간의 상부(S8)와 하부(S6), 상행 대동맥과 비장에서 조영 전후의 maxSUV 값에 유의한 차이를 보였으며 ( $p < 0.05$ ) 나머지 부위에서는 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. (Table 2) 전체 130개 영역을 대상으로 Bland-Altman 분석을 시행하였으며 일치의 한계 범위는 -0.1에서 0.4 사이를 보였으며 평균값은 0.1 이었다. (Fig. 3A)

**2) 병변**

병변은 8명에서 총 39개 영역들이 관찰되었고 이들 부위에서 조영 전과 후의 PET 영상에서 maxSUV 값을 구하였다. 조영제를 사용하기 전과 후의 maxSUV 값을 비교하였을 때 마찬가지로 대부분의 영역에서 조영 후 maxSUV 값이 상승하는 것을 관찰할 수 있었다. (Fig. 2B) 조영 전 영상에서 maxSUV는  $3.7 \pm 2.1$  이었고 조영 후 영상에서는  $4.0 \pm 2.1$ 로 평균적으로 8% 정도의 maxSUV 값의 상승이 있었으며 (Table 3), 이는 통계적으로 유의한 차이였다 ( $p < 0.001$ ). CT에서 조영 전과 후의 HU의 값은 전체적으로 평균 73% 정도 상승이 관찰되었다. 전체 39개 영역을 대상으로 Bland-Altman 분석을 시행하였으며 일치의 한계 범위는 -0.1에서 0.7 사이를 보였으며 평균값은 0.3 이었다. (Fig. 3B)

3) 조영 전후의 maxSUV 값의 차이와 HU 값의 차이의 비교  
조영제를 사용하기 전과 후의 maxSUV 값의 차이와 동일한 영역에서 HU 값의 차이를 정상 조직과 병변 모두에서 비교하였다. maxSUV 값의 차이의 평균은  $1.0 \pm 1.9$  이었고 HU 값의 차이의 평균은  $53.3 \pm 90.3$  이었으며, 두 값의 상관 계수  $r=0.26$  이었다. (Fig. 4)

**고 찰**

PET/CT 촬영 시 조영제의 사용이 반드시 필요한가에 대

한 물음에 판독자의 경험과 우리 나라의 실정을 고려할 때 다양한 답이 나올 수 있을 것이다. 하지만 최근의 PET/CT 장비가 급격히 발전하여 64 채널 CT가 장착된 PET/CT 스캐너까지 등장함에 따라 더 이상 CT가 이전처럼 감쇠 보정과 대략의 위치를 파악하는데 머무르지 않고 진단적 목적의 CT 개념과 필요성이 점차 대두되고 있다.<sup>2,3,8,12)</sup> 따라서 최적의 CT 영상을 얻기 위한 연구는 필연적인 것이고 그 중의 하나가 PET/CT 촬영 시 조영제의 사용에 대한 것이다. 판독자의 경험이 많은 부분을 차지할 수 있을 것이나 조영제의 사용이 CT 영상의 질을 높이는 것은 분명하다. 기존 연구들에서 조영제를 사용하지 않았을 때보다 조영제를 사용하였을 때 간내 병변의 발견율이 63%에서 90%로 향상되었고,<sup>14)</sup> 조영제를 사용하지 않았을 때 보다 조영제를 사용한 PET/CT 영상에서 병변의 발견율이 11% 정도 증가되었음을 보고하고 있다.<sup>3)</sup> 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.<sup>3)</sup>

조영제를 사용하고자 할 때 처음 대두되는 문제는 조영제를 사용하였을 때 PET 영상 구성 시에 감쇠 보정에 영향을 준다는 것이다. 앞서 기술한 바와 같이 140 keV 이하의 CT 에너지와 511 keV의 PET 에너지 차이로 인한 요오드의 감쇠 정도의 차이에 의해 감쇠 보정 단계에서 과보정이 나타나 인공 산물이 나타나거나 SUV 값이 매우 차이가 남으로 인해 PET/CT 촬영 시에 조영제의 사용에 대한 논의가 많았으나 최근에는 이러한 차이는 통계적인 차이에 불과하며 임상적 판독에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 보고하고 있다.<sup>7,10,11,15)</sup> 이러한 사실은 본 연구에서도 확인할 수 있었다. 이번 연구에서 SUV의 값이 정상 조직과 병변에서 모두 조영 전후를 비교할 때 두 방법 사이에 통계적인 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 특히 간, 비장, 혈관 등의 혈류가 풍부한 곳에서 조영제로 인한 SUV 값에 유의한 차이가 나타났으며, 종양 등의 병변 역시 정상 부위에 비해 혈류가 증가되어 있으므로 조영 전후의 SUV 값의 차이가 정상 조직보다 좀 더 많은 편차가 있었음을 확인할 수 있었다. 하지만 일치의 한계 범위가 정상 조직에서 -0.1에서 0.4, 병변에서 -0.1에서 0.7로 매우 좁기 때문에 임상 상황에서 판독에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 생각된다. 판독 상에서 가장 문제가 되는 조영제로 인한 인공 산물은 이번 연구에서는 전혀 관찰되지 않았다. 기존 연구에서 인공 산물은 대부분 조영제가 정체되어 있는 곳에서 발생하였으나 본 연구에서는 조영제가 주입되는 쇄골하 정맥 부근에도 SUV 값은 조영 전 0.9에서 조영 후 1.07로 18% 정도 상승하였지만 육안 판독상 차이는 발견

할 수 없었다. 대상 환자 수가 적었기 때문일 수도 있지만 평균 HU가 1583 (범위 : 717 - 2782) 정도로 이전 연구에서도 HU 값이 1900 이상에서만 인공 산물이 나타난 것으로 보아<sup>6,15)</sup> HU의 값이 적었기 때문으로 생각된다. 하지만 이번 연구에서 3명이 HU가 1900을 넘었지만 인공 산물은 발생하지 않았다.

본 연구에서 정상 조직과 병변 모두에서 조영 전과 후의 HU 값의 차이와 SUV 값의 차이 사이에 상관 관계는 발견할 수 없었다( $r=0.26$ ). 이러한 결과는 기존 연구에서도 동일한 보고를 하고 있는데<sup>10,11,15)</sup> 그 이유는 명확히 알 수 없으나 SUV 값이 단순히 그 부위의 HU에만 영향을 받는 것이 아니라라는 것과 조영 전후의 각각의 CT와 PET 영상을 융합할 때 정확히 동일한 부위에 일치되는 것이 아니기 때문일 것이라는 추측을 하고 있다.

조영제를 사용할 때 발생할 수 있는 또 하나의 문제로 여겨졌던 사실은 정상 조직의 SUV 값이 전반적으로 상승함에 따라 병변 대 주변 조직의 비가 감소함으로 인해 병변의 발견율이 감소할 것이라는 점이다.<sup>7,11)</sup> 본 연구에서 주변의 정상 조직의 섭취는 10% 정도의 SUV 값의 상승이 관찰되었으며 병변의 섭취는 8% 정도의 SUV 값의 상승이 관찰되었다.(Table 3) 하지만 절대적인 값을 비교할 때 주변 조직의 섭취는 조영 후에도 SUV 값이 대부분 1 이하로 육안으로 보았을 때 큰 변화는 관찰할 수 없었으며 이에 반해 병변은 훨씬 높은 값을 보이므로 조영제로 인한 SUV 값의 상승 정도가 주변 정상 조직보다 낮다 할지라도 조영제로 인한 병변 발견율의 감소는 없을 것으로 생각된다.

조영제를 사용하지 않았던 과거의 논문에서 치료 전후의 PET 영상을 비교하여 화학 항암 요법의 효과를 판단할 때 1차 화학 요법 후 SUV 값이 15% 이상 감소할 때 효과가 있는 것으로 보고하고 있다.<sup>16)</sup> 하지만 화학 요법으로 인해 암의 혈관 신생의 정도가 달라지게 되고 이로 인해 조영제의 종양 내 순환이 달라지면서 감쇠의 정도가 차이가 나게 되어 SUV 값이 종양의 상태를 정확하게 반영하지 못할 수 있으므로 치료 효과의 판정시에 조영증강 CT로 감쇠보정을 한 PET을 이용하는 경우 이러한 점을 고려해야 한다.

이번 연구에서 CT 촬영시 120 kVp, 130 mAs의 비교적 고선량을 사용하였다. 감쇠 보정을 위한 CT 촬영시 대개 30 mAs 이하의 저선량을 사용하지만 진단 목적의 CT 촬영을 위해서는 보다 고선량이 필요하며, 에너지가 낮을수록 조영제에 의한 감쇠 효과가 더 증가되므로<sup>15)</sup> 조영제를 사용한 촬영 시는 고선량이 필요할 것으로 생각된다. 이 때 환자의 방사선 피폭 정도는 기존 연구에서 보고한 것을 참고로 할 때, 조영 CT와 PET 영상 촬영 시 모두 20-25 mSv 정도로 예측

하고 있다.<sup>8,17)</sup> 또 조영제의 주입이 끝나고 60초 후에 촬영을 시작하였는데, 일반적으로 조영제가 신장으로 배설되기 전의 정맥-문맥에 해당하는 시간이며 쇄골하 정맥의 조영제 정체를 피하면서 몸 전체를 조영할 수 있는 시간에 해당한다.<sup>11)</sup> 하지만 장기별로 최적의 조영 시간이 다르며 인공 산물의 발생 가능성은 적다하더라도 여전히 존재하기 때문에 이러한 문제를 해결하려는 시도들이 보고되고 있다. 여러 연구자들이 장기별로 최적의 조영 시간이 다르기 때문에 이를 해결하기 위해 CT 촬영 순서를 기존에 한 방향으로만 한 번 촬영하던 것을 조영제가 혈관 내에서 이동하는 시간을 고려하여 촬영 부위를 두경부, 폐, 복부로 나누어 다른 순서로 촬영하거나<sup>3,12)</sup>, 이전에 조영제를 일정한 속도로 한 번에 주입하던 것을 조영제 주입 횟수와 시간을 다양하게 하는 시도 등을 보고하였고<sup>12,16)</sup> 기존 방법들에 비해 더 나은 영상을 보고하고 있다.

이번 연구에서는 그러한 다양한 기법을 이용하여 비교하지는 않았으나 현재 병원에서 일반적으로 사용 가능한 방법을 가지고 연구하였으므로 연구의 의의는 있다고 생각한다. 또 조영제의 주입이 환자의 키, 체중 등의 상태에 관계없이 동량의 조영제를 동일한 속도로 주입하여 사람마다 조영제의 체내 분포가 다를 수 있으며 이로 인해 감쇠 정도가 달라질 수 있을 것으로 예상되며 향후 이러한 보정을 첨가한 연구가 더 추가되어야 할 것이다.

결론적으로 PET/CT 촬영 시에 조영제의 사용은 정상 조직과 병변에서 조영제를 사용하지 않았을 때보다 SUV 값에 통계적으로 유의한 차이를 보이거나 일치의 한계 범위는 매우 좁아서 실제 판독 상에 미치는 영향은 크지 않기 때문에 조영제를 사용한 고선량 CT를 이용하여 감쇠 보정한 PET 영상을 임상적으로 문제없이 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

**목적:** 현재 PET/CT에서 CT의 역할은 단순히 감쇠 보정만을 위한 도구에서 진단을 위한 도구로 그 역할이 발전해가고 있다. 따라서 양질의 CT 영상을 얻기 위한 정맥 조영제의 사용과 고선량의 CT 촬영이 요구되고 있으며 최근 조영제가 감쇠 보정한 PET 영상에 크게 영향을 미치지 않는다는 보고가 나오고 있다. 이에 본 연구에서는 고선량 CT에서 정맥 조영제의 사용이 감쇠 보정에 미치는 영향을 알아보았다. **대상 및 방법:** 총 13명의 환자에게 PET/CT 검사를 시행하였다. <sup>18</sup>F-FDG를 주사하고 1시간 후에 촬영하였고, 첫 번째로 조영제의 사용 없이 CT(NECT - 120 kVp, 130 mAs)를 촬영하고 이어서 바로 조영제를 사용하여 CT

(CECT)를 촬영한 후 PET을 시행하였다. 각 환자마다 NECT와 CECT에 의해 각각 보정된 PET 영상에서 10 곳의 신체 부위(병변이 없는 폐첨부, 폐기저부, 상행대동맥, 간의 상부 및 하부, 비장, 척추, 대퇴골두, 장요근과 10번 척추와 척추 인접 근육)에서 HU와 maxSUV 값을 구하였고, 종양과 임파선 병변의 값도 함께 측정하였다. **결과:** 조영제를 사용하였을 때 국소적으로 섭취가 증가된 곳은 관찰되지 않았다. 총 130개의 정상 조직의 maxSUV 값을 측정하여 비교하였을 때, 조영제를 사용한 군과 사용하지 않은 군의 평균 maxSUV 값은 각각  $1.1 \pm 0.5$ ,  $1.0 \pm 0.5$ 이고 두 군 사이에  $p < 0.001$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 정상 조직에 대해 Bland-Altman 분석을 시행하였을 때 일치의 한계 범위는  $0.1 \pm 0.3$  이었다. 10개의 대상 영역 중 폐첨부, 폐하부, 상행대동맥, 간의 상부와 하부, 비장에서 maxSUV 값이 두 군에서 유의한 차이( $p < 0.05$ )가 있었다. 총 39개 병변의 maxSUV 값을 측정하여 비교하였을 때, 조영제를 사용한 군과 사용하지 않은 군의 평균 maxSUV 값은 각각  $4.7 \pm 2.0$ ,  $4.4 \pm 2.0$ 이고 두 군 사이에  $p < 0.001$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 병변에 대해 Bland-Altman 분석을 시행하였을 때 일치의 한계 범위는  $0.4 \pm 0.8$  이었다. **결론:** 조영제로 인해 maxSUV의 값은 증가되었으나 정상 조직과 병변에서 일치의 한계 범위가 매우 좁았다. 따라서 진단용 고선량 CT를 이용한 PET/CT 촬영 시에 조영제의 사용이 임상 상황에서 판독에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

## References

1. Nakamoto Y, Osman M, Cohade C, Marshall LT, Links JM, Kohlmyer S, et al. PET/CT: comparison of quantitative tracer uptake between germanium and CT transmission attenuation-corrected images. *J Nucl Med* 2002;43:1137-43.
2. Beyer T, Antoch G, Muller S, Egelhof T, Freudenberg LS, Debatin J, et al. Acquisition protocol considerations for combined PET/CT imaging. *J Nucl Med* 2004;45 Suppl 1:25S-35S.
3. Antoch G, Freudenberg LS, Beyer T, Bockisch A, Debatin JF. To enhance or not to enhance? <sup>18</sup>F-FDG and CT contrast agents in dual-modality <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2004;45 Suppl 1:56S-65S.
4. Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, Sashin D. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. *Med Phys* 1998;25:2046-53.
5. 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 [<sup>18</sup>F]FDG uptake in PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:344-53.
6. Antoch G, Freudenberg LS, Egelhof T, Stattauss 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.

7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Beyer T, Antoch G, Bockisch A, Stattaus J. Optimized intravenous contrast administration for diagnostic whole-body  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2005;46:429-35.
13. Antoch G, Kuehl H, Kanja J, Lauenstein TC, Schneemann H, Hauth E, et al. Dual-modality PET/CT scanning with negative oral contrast agent to avoid artifacts: introduction and evaluation. *Radiology* 2004;230:879-85.
14. Violante MR, Dean PB. Improved detectability of VX2 carcinoma in the rabbit liver with contrast enhancement in computed tomography. *Radiology* 1980;134:237-9.
15. Berthelsen AK, Holm S, Loft A, Klausen TL, Andersen F, Hojgaard L. PET/CT with intravenous contrast can be used for PET attenuation correction in cancer patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2005;32:1167-75.
16. Young H, Baum R, Cremerius U, Herholz K, Hoekstra O, Lammertsma AA, et al. Measurement of clinical and subclinical tumour response using [ $^{18}\text{F}$ ]-fluorodeoxyglucose and positron emission tomography: review and 1999 EORTC recommendations. European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) PET Study Group. *Eur J Cancer* 1999;35:1773-82.
17. Mejia AA, Nakamura T, Masatoshi I, Hatazawa J, Masaki M, Watanuki S. Estimation of absorbed doses in humans due to intravenous administration of fluorine-18-fluorodeoxyglucose in PET studies. *J Nucl Med* 1991;32:699-706.
18. Brechtel K, Klein M, Vogel M, Mueller M, Aschoff P, Beyer T, et al. Optimized contrast-enhanced CT protocols for diagnostic whole-body  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT: technical aspects of single-phase versus multiphase CT imaging. *J Nucl Med* 2006;47:470-6.