

전신 PET/CT 영상에서 조영제 영향의 보정 유·무에 따른 SUV 평가

*연세대학교 방사선학과, †연세대학교 보건과학연구소, ‡식품의약품안전청 의료기기평가부 방사선표준팀,
§연세의료원 세브란스병원 핵의학과

남소라*† · 손혜경† · 임한상§ · 박훈희§ · 조효민*† · 이창래*† · 김희중*†

본 연구의 목적은 전신 PET/CT영상에서 조영제의 영향에 대한 보정 유·무가 SUV (standard uptake value)에 미치는 영향을 평가하는 것이었다. 영상획득은 GE DSTE PET/CT 시스템을 사용하였으며, 간질환(hepatocellular carcinoma, HCC)과 신장질환(renal cell carcinoma, RCC)이 있는 환자를 대상으로 하여 영상을 평가하였다. 영상 평가는 조영제에 의한 영향을 보정한 영상과 보정하지 않은 영상에서 각각 동일한 위치에 같은 크기의 관심영역을 설정한 후 각 관심영역으로부터 구한 SUV를 비교함으로써 수행하였다. HCC 환자의 경우 조영제에 의한 영향의 보정 유·무에 따른 평균 SUV의 차이는 $1.5 \pm 1.2\%$ 이었고, 최대 4.3%의 SUV 차이를 나타내었다. RCC 환자의 경우 평균 SUV의 차이는 $1.0 \pm 0.9\%$ 이었고, 최대 1.9%의 SUV 차이를 나타내었다. 조영제를 사용한 PET/CT 영상에서 조영제에 의한 영향을 보정하지 않았을 경우는 조영제에 의한 영향을 보정해준 경우에 비해 상대적으로 높은 SUV를 나타내었다. 본 연구의 결과는 HCC 환자와 RCC 환자의 경우 조영제에 의한 영향을 보정한 경우와 보정하지 않은 경우 SUV에 큰 차이를 보이지는 않았으나, 향후 보다 많은 수의 HCC 환자와 RCC 환자를 대상으로 한 추가적인 연구가 필요할 것이라고 생각한다. 또한 다른 질환을 가진 환자의 경우에 대해서도 조영제가 SUV에 미치는 영향을 평가하는 것은 매우 유용하리라 생각한다.

중심단어: 전신 PET/CT, 조영제, SUV

서 론

PET/CT (positron emission tomography/computed tomography)는 암 등의 난치성 질환 등을 효율적으로 진단하고 치료를 계획할 수 있는 혁신적인 기기로서 알려져 있다. 한 예로서 건강검진을 위하여 PET/CT를 수행한 사람들 중 100명당 2명꼴로 암을 발견하였다는 기사가 보도된 바 있다. 또한 이 기사에서는 암 이외에도 단순 질환과 난소 낭종 등의 양성 종양을 발견한 사례 역시 43.1%로 높은 발견율을 나타내는 것으로 보고하였다.¹⁾

일반적으로 PET은 조직의 기능적인 역할을 평가하는 것은 매우 우수하지만 PET 자체만으로는 높은 해상력의 해부학적 구조를 명확히 나타내는 데는 한계가 있는 것으로 알려져 있다. 이 때문에 감쇠 보정과 함께 해상력의 한계를

보완하는 방안으로 PET/CT가 개발되었다. PET/CT를 이용한 영상의 형태는 질환의 진단과 치료과정을 관찰하는 데도 매우 중요한 역할을 하고 있다.

PET 영상은 정확한 진단과 연구를 위하여 정량화하는 것이 매우 중요하며 이의 기반이 되는 것이 감쇠 보정이다. 감쇠 보정으로 인해 획득되는 장점은 아래와 같다.

첫번째, 병변의 크기나 모양, 병변의 위치 등을 더욱 실제와 흡사하게 묘사할 수 있다.

두번째, 체내 심부에서의 병변의 방사능 세기를 복원하여 인체와 종양에서의 정확한 방사능 농도 측정을 가능하게 할 수 있다.²⁾

이처럼 중요한 PET의 감쇠 보정은 기존에는 ⁶⁸Ge 또는 ¹³⁷Cs 등의 투과선원을 이용하였으나 PET/CT 시스템은 CT를 이용하여 감쇠 보정용 지도를 만들어냄으로써 검사 시간의 단축과 함께 잡음 제거 측면에서도 그 우수함을 나타내었다.³⁾ 그리고 정확한 정량화를 위하여 DUR (Differential Uptake Ratio), DAR (Distribution Activity Ratio), SUV (Standard Uptake Value) 등과 같이 조직의 방사능 농도를 간편하게 정량화하는 방법들이 널리 사용되고 있다.⁴⁾

PET/CT를 수행함에 있어서 CT검사를 수행할 때 일반적으로 진단을 위한 CT를 수행하고 그 CT를 진단용으로 사

이 연구는 2006년도 과학기술부 원자력연구개발사업(M20513000023-06A1300-02310) 지원에 의하여 이루어진 것임.
이 논문은 2006년 12월 12일 접수하여 2006년 12월 22일 채택되었음.
책임저자 : 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지 연세대학교 방사선학과
Tel: 033)760-2475, Fax: 033)760-2815
E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

용하거나 또는 감쇠보정용으로 사용할 수가 있다. 이 CT검사를 수행하기 위해서는 흔히 CT용 조영제를 사용하기도 한다. CT용 조영제는 인체 내에 투입 후 조직의 내부나 조직 주변에 침착되어 X선 영상에 의하여 조직이 구분될 수 있는 물질을 의미하며 이는 검사하고자 하는 목적부위의 대조도를 증강시키거나 목적부위의 기능적 변화를 명백히 하여 진단의 효율을 높이기 위하여 사용한다. 그러나 이 조영제가 인공산물을 생성할 수 있다는 연구 결과들이 보고되기도 하였다.⁵⁾ 이와는 반대로 조영제에 의해 생겨난 인공산물들은 임상적인 판독에 있어서 의미가 있을 정도로 명확하지 않다는 연구 결과들 역시 보고되었다.^{6,7)}

본 연구의 목적은 실제 임상환경에 있어서 CT용 조영제가 PET 영상에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 평가하는 것이었다.

재료 및 방법

본 기관에 도입된 PET/CT 장치인 GE DSTe system (DSTe, General Electric Medical System, USA)은 PET 영상을 구성하기 위한 CT 데이터를 조영제의 영향을 보정을 수행하지

않은 경우와 조영제의 영향 보정을 수행한 경우의 재구성 방식을 선택항목으로 설정하여 평가할 수 있다. 본 연구에서는 아래와 같이 실험 대상을 정하여 병변 부위에 관심영역(region of interest, ROI)를 잡은 후 조영제의 영향에 대하여 보정을 수행한 경우와, 수행하지 않은 경우의 SUV를 평가하였다.

1. 실험 대상

간의 경우는 정상적인 간세포에서 FDG는 어느 정도 섭취가 있으나 간에서의 대부분의 악성 병변들은 FDG 섭취가 정상조직보다 증가되는 반면에 대부분의 양성 병변들은 FDG 섭취가 증가되지 않으므로 PET검사가 유용한 장기중 하나이다.⁸⁾ 연세의료원 세브란스병원 핵의학과의 내원 환자들 가운데 간질환이 있는 환자(hepatocellular carcinoma, HCC) 7명(여자 3명, 남자 4명)과 신장질환이 있는 환자(renal cell carcinoma, RCC) 2명(여자 2명)을 평가 대상으로 선정하였다. 환자의 나이는 최소 52세에서 최대 67세였다. 환자들은 가능한 한 뚜렷한 병변을 가지는 자들로 선정하였다. 선정된 환자들은 모두 전신 PET/CT scan을 수행하였으며 그 중 CT는 조영제가 주입되는 촬영 조건으로 수행

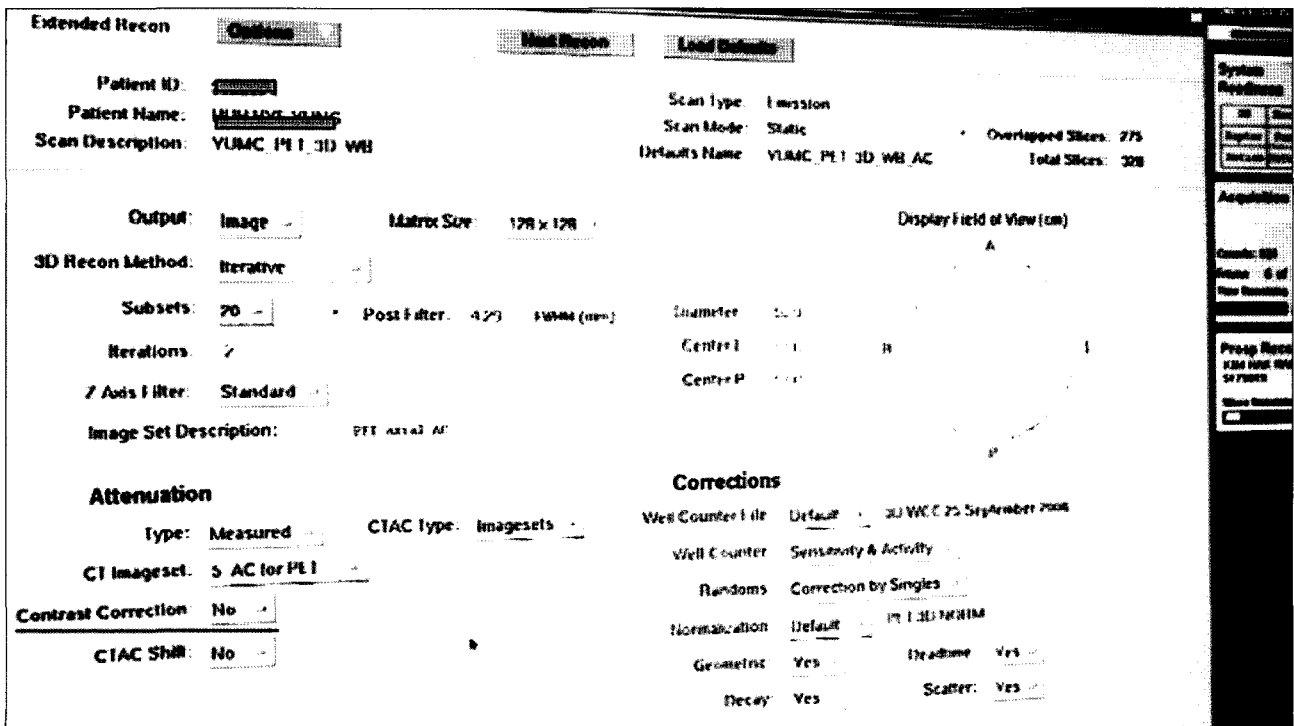


Fig. 1. Reconstruction method can select correction for effect of contrast media manually.

되었다.

2. 실험 방법

대상 환자에게는 FDG 370~444 MBq을 주입하였으며 주사 후 1시간 안정된 자세를 취한 후 검사를 시행하였다. CT의 촬영 조건은 관전압 140 kV, 관전류 210 mA로 설정해 주었다. CT 검사에 수반되는 조영제는 환자의 몸무게 1 kg당 2 cc를 주입하였다. 검사에 사용된 기기는 GE DSTe PET/CT system을 사용하였으며 이 기기의 종축 가시영역(longitudinal field of view)은 15.2 cm이다. 촬영 시 각 영상 간격은 3.75 mm로 수행되었으며, 모두 바로 누운 자세를 취하였다. 획득한 횡축 영상에 대하여 반복적 재구성 방식을 이용하여 재구성하였다.

환자 영상들에 대하여 평균적으로 2개 이상의 ROI를 설정하였으며 병변의 크기가 매우 작고 단순한 경우 1개의 ROI를 설정하였고, 병변의 크기가 매우 크거나 다양한 부위에 분포되어 있는 경우 최대 4개의 ROI를 설정하였다. PET/CT 수행 후 가공되지 않은 형태의 최초 획득 데이터(raw data)를 이용하여 조영제 영향 보정을 수행한 CT 데이터와 조영제 영향 보정을 수행하지 않은 CT 데이터, 두 가지 종류의 재구성 프로토콜을 설정하여 감쇠 보정에 이용할 CT 데이터를 만들었다(Fig. 1). Fig. 1에서 보이는 바와 같이 본 실험에 사용된 기기는 조영제에 대한 영향 보정을 선택적으로 수행하거나 수행하지 않을 수 있다.

3. 영상의 분석

SUV는 흔히 이용되는 반정량적인 방법으로 정상조직과 종양 조직들 간의 방사성 동위원소 섭취 비를 측정할 수 있고, 인체 내에 주입한 방사성 동위원소가 균등하게 퍼져 있다는 가정 하에 종양 내의 분포가 평균보다 얼마나 높게 섭취되는지를 평가하기 위한 하나의 지표로서 아래와 같은 공식을 이용하여 SUV를 측정하거나 체중 대신 체표면적이거나 지방을 제외한 체적(lean body mass)을 이용하기도 한다.

$$SUV = \frac{\text{종양 1 g당 집적된 방사능량}}{\text{주입한 총방사능량/환자의 체중}}$$

특히 SUV는 PET을 이용하여 살아있는 인체의 암조직에서 포도당 대사율의 증가 정도에 대한 절대적인 정량 분석 방법이 통상의 임상검사에 적용하기에는 복잡하기 때문에 임상적으로 간단하게 이를 판별하기 위하여 사용한다.⁸⁾

본 실험에서는 조영제 영향 보정을 수행하지 않은 CT 데이터를 이용하여 PET영상을 재구성하고(Fig. 2a) 같은 환자에 대하여 조영제 영향 보정을 수행한 상태의 CT 데이터를 이용하여 PET 영상을 재구성하였다(Fig. 2b). 이후 GE DSTe PET/CT system에 내장되어 있는 “Volume Viewer PET” 프로그램의 “Axial PETCT Fused” 프로그램을 이용하여 영상의 병변 부위에 ROI를 잡고 그 ROI에 대한 SUV값을 평가하였다. 이 프로그램은 자동 연산 처리에 의해서 영상 내에서 선택 영역에 대한 SUV를 자동적으로 계산해주

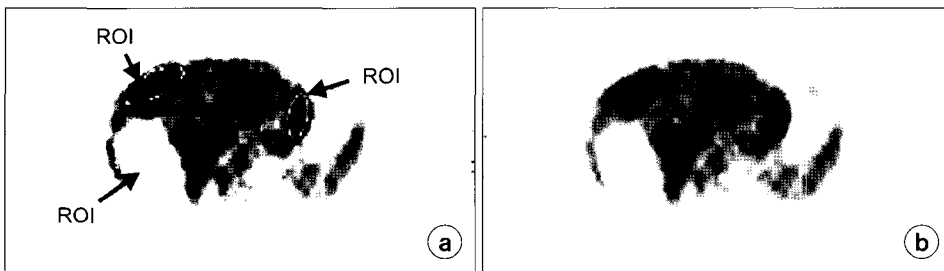


Fig. 2. ROIs in hepatocellular carcinoma patient image. (a) The SUV evaluation in ROIs without correction for effect of contrast media. (b) The SUV evaluation in ROIs with correction for effect of contrast media.

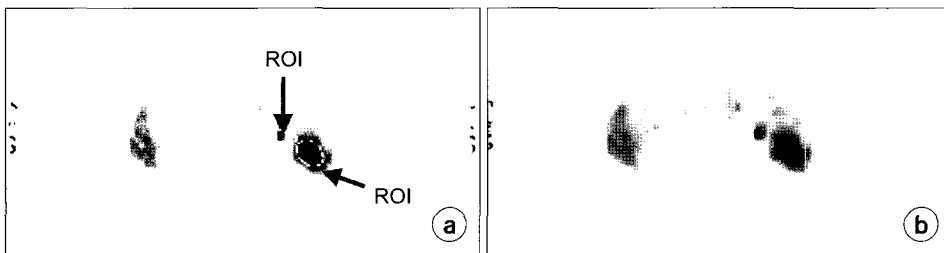


Fig. 3. ROIs in renal cell carcinoma patient image. (a) The SUV evaluation in ROIs without correction for effect of contrast media. (b) The SUV evaluation in ROIs with correction for effect of contrast media.

는 기능을 가지고 있다.

같은 위치와 동일한 면적으로 ROI를 설정하기 위하여 이미 선택한 ROI (Fig. 2a)의 위치는 그대로 두고 영상만을 바꾸어서 SUV를 평가하였다(Fig. 2b).

RCC의 경우에도 HCC영상에서의 SUV평가 방법과 동일하게 이미 선택한 ROI (Fig. 3a)의 위치는 그대로 두고 영상만을 바꾸어서 다른 재구성 방식에서의 SUV를 평가(Fig. 3b)하였다.

결 과

임상 전신 PET/CT 영상에 대하여 조영제 영향 보정을 수행하지 않은 CT 데이터를 이용하여 재구성한 PET영상

ROI의 SUV와 조영제 영향 보정을 수행한 CT 데이터를 이용하여 재구성한 PET영상 ROI의 SUV를 비교하였다(Table 1, 2). Table 1은 간 부위에 질환이 있는 환자들(HCC)의 SUV를 비교한 표이고 Table 2는 신장 부위에 질환이 있는 환자들(RCC)의 SUV를 비교한 표이다. Table 1에서 볼 수 있듯이 조영제 영향 보정을 수행하지 않은 영상의 SUV가 조영제 영향 보정을 한 영상의 SUV보다 높은 값으로 나타났다. 그러나 그 차이는 평균적으로 $1.5 \pm 1.2\%$ 정도로 매우 미약한 변화를 나타내었으며 최대 4.3% 정도의 차이를 나타내었다. 또한 조영제의 영향 보정 유·무에 따른 SUV의 변화가 없었던 환자의 경우도 존재하였다. Table 2는 조영제의 영향 보정 유·무에 따른 절대적인 SUV값의 변화는 Table 1의 간 질환의 경우보다 더 컸다. 그러나 상대적인

Table 1. SUV with correction for effect of contrast media each ROI and SUV without correction for effect of contrast media (CM) each ROI in Hepatocellular carcinoma patients.

Patient number	ROI1			ROI2			ROI3			ROI4		
	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)
	Without correction for CM	With correction for CM		Without correction for CM	With correction for CM		Without correction for CM	With correction for CM		Without correction for CM	With correction for CM	
A	4.1	4.0	2.5	4.9	4.7	4.3	5.0	4.9	2.0			
B	12.0	11.7	2.6	8.2	8.0	2.5	14.1	13.8	2.2	11.9	11.7	1.7
C	11.6	11.6	0.0	5.9	5.9	0.0						
D	6.5	6.5	0.0	4.2	4.2	0.0	1.3	1.3	0.0			
E	7.7	7.6	1.3	6.5	6.4	1.6	6.2	6.1	1.6			
F	4.9	4.8	2.1	3.7	3.6	2.8	8.0	7.9	1.3			
G	2.7	2.7	0.0									
Total average										6.6±3.4	6.4±3.3	1.5±1.2

Table 2. SUV with correction for effect of contrast media each ROI and SUV without correction for effect of contrast media (CM) each ROI in renal cell carcinoma patients.

Patient number	ROI1			ROI2			ROI3			ROI4		
	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)	1	2	(1-2)/ 2×100 (%)
	Without correction for CM	With correction for CM		Without correction for CM	With correction for CM		Without correction for CM	With correction for CM		Without correction for CM	With correction for CM	
A	23.5	23.1	1.7	19.4	19.1	1.6	58.9	57.9	1.7	21.5	21.1	1.9
B	6.5	6.5	0.0	5.7	5.7	0.0	5.3	5.3	0.0			
Total average										20.1±18.8	19.8±18.5	1.0±0.9

변화의 크기로는 평균적으로 1.0 ± 0.9 의 SUV값 차이가 나타났으며 최대 1.9%의 SUV 차이를 보였다. 신장의 경우 역시 조영제에 의한 영향 보정 유·무에 따른 SUV의 변화가 없었던 환자의 경우가 존재하였다.

고찰 및 결론

감쇠 보정은 PET/CT 영상의 질을 높이고 정량적인 정확도를 획득하기 위한 중요한 인자이다. 최근 PET/CT의 공급이 가속화되면서 많은 의료기관이 CT영상을 감쇠 보정에 사용하고 있다. CT영상을 이용한 감쇠 보정은 총 PET/CT 검사시간을 줄여줌은 물론 우수한 잡음 특성으로 그 이용도가 매우 높다. PET/CT scan에서 CT scan 시 조영제의 사용 또한 증가하고 있는 추세이다.³⁾ 이 CT용 조영제는 인체 내에 투입 후 조직의 내부나 조직 주변에 침착되어 X선 영상에 의하여 조직이 구분될 수 있는 물질을 의미하며 이는 검사하고자 하는 목적부위의 대조도를 증강시키거나 목적부위의 기능적 변화를 명백히 하여 진단의 효율을 높이기 위하여 사용한다.

그러나 최근 몇몇 논문에서 조영제가 여러 가지 인공 산물을 만들어내고 있다는 보고가 있다.⁵⁾ 이는 대부분의 상용 PET/CT 시스템이 에너지 변환 시 비교적 밀도가 높은 물질에 해당하는 조영제를 고려하지 않기 때문에 생긴 인공물이라고 할 수 있겠다.³⁾ 또 위의 의견과는 반대로 조영제에 의해 생겨난 인공산물들은 임상적인 판독에 있어서 의미가 있을 정도로 명확하지 않다는 연구 결과들 역시 보고되고 있다.^{6,7)} 이를 증명하기 위해 조영제의 비 균일 분포의 영향은 조영제의 농도, 분포, 크기, 잡음의 정도 및 재구성 알고리즘에 의해 영향을 받는다는 연구결과 역시 보고되었다.³⁾ 이러한 여러 가지 인자들이 조영제에 의한 영향을 감소시키거나 변화시킬 수 있는 경우를 만들 수 있어 임상적으로는 조영제에 따른 영향이 무의미한 변화를 가져온다고 주장하는 보고도 타당할 것으로 생각된다.

이 두 연구 결과의 차이를 임상적으로 확인해 보기 위해

본 실험을 수행한 결과, 실제 임상적으로도 조영제의 영향 보정을 수행한 영상의 SUV와 조영제의 영향 보정을 수행하지 않은 영상의 SUV에는 작지만 유의한 차이가 있음을 정량적으로 확인할 수 있었다. 또한 그 유의한 차이는 상대적인 SUV의 차이는 HCC가 더 큰 값을 나타내었으나 절대적인 SUV의 차이는 RCC가 더 큰 값을 나타내는 것을 확인하였다. 그러나 이 차이는 임상적으로 영향을 미치기에는 매우 작은 차이를 나타내는 것으로 확인할 수 있었다 (Table 1, 2).

본 연구는 HCC와 RCC의 경우에 대한 결과로 다른 장기나 질환에 대한 PET/CT 영상의 조영제 영향 보정 유·무에 대한 SUV의 변화에 대하여는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 대전일보 2006-11-14 '건강검진 PET/CT 검사'
2. Wahl RL: To AC or not to AC: that is the question. J Nucl Med 40:2025-2028 (1999)
3. 손혜경, Turkington Timothy G, 권윤영, 정해조, 김희중: CT영상을 이용한 감쇠 보정시 조영제가 PET영상에 미치는 영향. 의학물리 16:192-201 (2005)
4. 김인주, 김창근, 배상근 외(이재태, 이규보 편저): 핵의학-분자영상의학. 제2판. 고문사, 서울(2003), pp. 88-89
5. Antoch G, Jentzen W, Freudenberg LS, et al: Effect of oral contrast agents on computed tomography-based positron emission tomography attenuation correction in dual-modality positron emission tomography/computed tomography imaging. Invest Radiol 38:784-789 (2003)
6. Dizendorf EV, Treyer V, von Schulthess GK, Hany TF: Application of oral contrast media in coregistered positron emission tomography-CT. AJR Am J Roentgenol 179:477-481 (2002)
7. Dizendorf E, Hany TF, Buck A, von Schulthess GK, Burger C: Cause and Magnitude of the error induced by oral CT contrast agent in CT-based attenuation correction of PET emission studies. J Nucl Med 44:732-738 (2003)
8. 류진숙: 소화기 암에서의 PET의 임상 적용. 14th Korean Society of Gastroenterology seminar. (2002) pp. 23-28

The Evaluation of SUV Using with and without Correction for Effect of Contrast Media in Whole Body PET/CT Imaging

Sora Nam*[†], Hye-Kyung Son[†], Han Sang Lim[§], Hoon-Hee Park[§],
Hyo-Min Cho*[†], Chang-Lae Lee*[†], Hee-Joung Kim*[†]

*Department of Radiological Science, [†]Institute of Health Science, Yonsei University,

[†]Radiation Standards Team, Department of Medical Devices and Radiation Health, KFDA,

[§]Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Medical Center

The purpose of this study was to evaluate SUV (standard uptake value) using different reconstruction methods in whole body PET/CT imaging. PET/CT studies were performed with and without correction for effect of contrast media. The patients data were acquired using GE DSTe commercial PET/CT system. The liver disease (hepatocellular carcinoma, HCC) and renal disease (renal cell carcinoma, RCC) patients were selected for this study. The PET/CT data were reconstructed using post CT scan with and without correction for effect of contrast media. We selected ROIs (region of interest) at the same location and same area for the same patient to compare SUVs in these two methods. For HCC and RCC, the average differences of SUVs were measured as $1.5 \pm 1.2\%$ and $1.0 \pm 0.9\%$, respectively. For HCC and RCC, the maximum differences of SUVs were measured as 4.3% and 1.9%, respectively. We observed that SUVs without correction for effect of contrast media were higher than SUVs with correction for effect of contrast media. However the differences of SUVs were very minimal. These results may be limited to HCC and RCC and further studies will be needed for other organs or diseases to see any changes in SUV with and without correction for effect of contrast media.

Key Words: Whole body PET/CT, Contrast media, SUV