

## PET 검사에서 CT 장비의 차이에 따른 PET/CT의 SUV 비교 평가

서울아산병원 핵의학과

김우현 · 고현수 · 이정은 · 김호성 · 류재광 · 정우영

### The Comparison Evaluation of SUV Using Different CT Devices in PET/CT Scans

Woo Hyun Kim, Hyeon Soo Go, Jeong Eun Lee, Ho Sung Kim, Jae Kwang Ryu and Woo Young Jung  
*Department of Nuclear Medicine, ASAN Medical Center, Seoul, Korea*

**Purpose:** Among different PET/CT devices which are composed of same PET model but different CT models, SUV, usually used for quantitative evaluation, was measured to assess the accuracy of follow up scans in different PET/CT and confirm that interequipment compatibility is useful in arranging the PET/CT exam appointment. **Materials and Methods:** Using ACR PET Phantom, PET NEMA IEC Body Phantom, SNM Chest Phantom and Ge-68 cylinder Phantom,  $SUV_{mean}$  and  $SUV_{max}$  was measured by 3 different models of PET/CT (Discovery 690, Discovery 690Elite and Discovery 710, GE) made in same company. ANOVA was used to evaluate the significant difference in the result. **Results:** In the result, the average of  $SUV_{max}$  was D690 (25 mm-1.82, 16 mm-1.75, 12 mm-1.73, 8 mm-1.44), D690E (25 mm-1.76, 16 mm-1.92, 12 mm-1.78, 8 mm-1.55) and D710 (25 mm-1.84, 16 mm-1.89, 12 mm-1.77, 8 mm-1.61) in ACR Phantom, D690 (25 mm-2.26, 16 mm-2.25, 12 mm-1.92, 8 mm-1.85), D690E (25 mm-2.45, 16 mm-2.25, 12 mm-2.05 8 mm-1.91) and D710(25 mm-2.49, 16 mm-2.20, 12 mm-2.30, 8 mm-2.05) in PET NEMA IEC Body Phantom, D690-1.04, D690E-1.10 and D710-1.09 in SNM Chest Phantom and D690-0.81, D690E-0.81, D710-0.84 in Ge-68 cylinder Phantom. The differences between average SUV of 4 phantoms were  $SUV_{mean}$ -1.87%,  $SUV_{max}$ -2.15%. And also as a result of ANOVA analysis, there was no significant difference statistically. **Conclusion:** If different models of PET/CT have same specification of PET system, there was no significant difference in  $SUV_{mean}$  and  $SUV_{max}$  even though they have different CT system. And also differences of  $SUV_{mean}$  and  $SUV_{max}$  in phantom images were under 5% which many manufacturers recommend. Therefore, follow up scan will be possible using different PET/CT if it has same specification of PET system with the previous PET/CT. This information will enable the accurate comparative analysis when conducting follow up scans and be helpful to schedule PET/CT exam more effectively. (Korean J Nucl Med Technol 2014;18(1):10-18)

**Key Words :** PET/CT, SUV, Optima™ CT 660, LightSpeed™ VCT, BrightSpeed™ Elite

## 서 론

PET/CT는 한 번의 검사로 PET의 기능적인 정보와 CT의

해부학적 정보를 획득할 수 있으며 CT 정보에 의해 신속하고 최적화된 감쇠보정된 PET 영상을 얻을 수 있다.

이로 인해, 비정상적인 부분(병소)과 생리학적인 방사성 동위원소의 섭취(정상 섭취부위)에 대한 민감도와 특이도가 증가되며 병소의 국소화가 정밀하게 이루어져 정확한 진단에 도움을 주고 있다. 그 결과, PET 검사는 암에 대한 감별 진단, 병기 설정, 재발 평가, 치료 효과 판정 등에 유용한 검사로 알려지면서 검사의 빈도가 급증하고 있다. 이에 따라 각 병원마다 PET/CT 장비의 구입은 증가하고 있으며

• Received: March 28, 2014. Accepted: April 21, 2014.  
• Corresponding author : **Woo Hyun Kim**  
Department of Nuclear Medicine, ASAN Medical Center,  
88 Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea  
Tel: +82-2-3010-2491, Fax: +82-2-3010-2308  
E-mail: sada515@hanmail.net

전국 병원의 보유현황은 2012년을 기준으로 2005년 대비 5.4배 증가되었다. 이렇듯 PET/CT 장비가 증가됨에 따라 PET 검사를 시행하기 위한 환자들의 기다림은 줄었지만 항암치료나 방사선 치료 등을 시행하고 치료 효과를 판정하는 경우에는 치료 전과 동일한 장비가 아닌 경우 정량평가에 제약이 따를 수 있어 추적검사 시에는 동일한 장비에서 검사를 시행하도록 EANM (European Association of Nuclear Medicine)에서 권고하고 있다. 이는 정량평가를 위해 이용되고 있는 SUV (standard uptake value)가 장비의 특성, 재구성 방법 등에 따라 달라지기 때문이다. 그래서 병원마다 치료 결과 및 전이 여부를 확인하기 위해 추적 검사를 시행하는 환자들의 경우 가급적 동일한 장비에서 검사가 진행되도록 검사 일정을 조정하고 있다. 본원의 경우 과거에 검사 경험이 있는 환자는 동일한 장비에서 검사가 시행되도록 하고 있으며, 특히 12개월 이내에 검사를 시행하는 환자의 경우에는 반드시 동일한 장비에서 검사되도록 예약프로그램이 전산화되어 있다. 그러나 환자의 사정이나 장비 고장 등의 이유로 검사 일정을 변경해야 할 경우, 동일한 장비를 보유하고 있지 않다면 정확한 SUV 비교를 위한 검사 진행이 쉽지 않을 것이다. 이런 경우 장비간 특성 차이에 따른 SUV 차이를 보정할 수 있는 Factor를 개발하여 사용하거나 실험을 통해 장비간 SUV가 허용 가능한 범위 내에 있는 장비를 호환해서 사용한다면 보다 정확한 SUV 비교가 될 수 있을 것으로 생각된다. 동일 장비에서 CT 조건(kVp, mAs) 변화에 따른 SUV의 차이는 크지 않다는 사전 연구 결과를 토대로, 본 연구에서는 CT의 기종이 다른 3대의 PET/CT 장비를 대상으로 장비 성능에 따른 SUV 차이가 허용 범위 내에 포함되는지 실험해 보았으며 기종이 다른 장비에서 SUV 차이가 허용 범위라고 인정될 때 장비간 호환성에 의해 추적검사 시 SUV 정확도 및 일정 변경 등의 검사 편의성 향상에 도움이 되는지 확인하였다.



Fig. 1. The experiment were performed by Discovery 690, Discovery 690Elite, Discovery 710 PET/CT scanners (GE Healthcare, USA).

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험 기기

PET/CT 장비(Fig. 1)는 Discovery 690, Discovery 690Elite, Discovery 710 (GE Healthcare, USA)를 사용하였으며 SUV를 측정하여 장비간 비교하기 위해 ACR phantom, NEMA IEC Body phantom, SNM Chest phantom, <sup>68</sup>Ge-cylinder phantom (Figs. 2-5)을 사용하였다.

PET/CT 장비의 기본적인 사양은 Fig. 6과 같으며 PET의 사양은 동일하나 CT의 기종은 다소 상이한 부분이 있다.

### 2. 실험 방법

CT 사양이 다른 3대의 PET/CT 장비에서 동일한 검사



Fig. 2. ACR Phantom was used for this study.

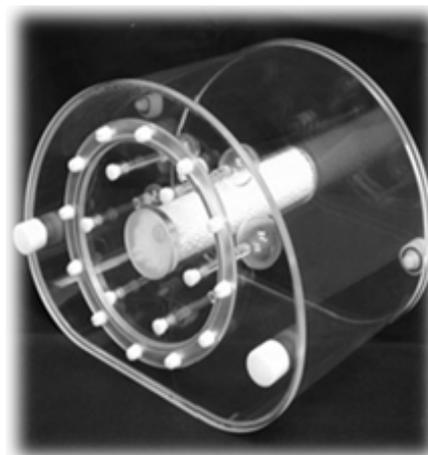


Fig. 3. NEMA IEC Body Phantom was used for this study.

조건(Table 1.)으로 각 phantom에 대해 연속적으로  $SUV_{mean}$ 와  $SUV_{max}$ 를 측정하였으며,  $^{68}Ge$ -cylinder phantom은 전체 면적의 80% 정도에 ROI를 설정하고 나머지 3개의 phantom은 hot spot 부위에 ROI를 설정하여 각 slice의 SUV를

측정하였다(Fig. 7). NEMA IEC Body phantom과 SNM Chest phantom은 1회, ACR phantom과  $^{68}Ge$ -cylinder phantom은 최초 측정된 날로부터 3개월 경과 후에 추가 측정하여 총 2회의 SUV 비교를 통해 장비 간 비교를 하였다.



Fig. 4. SNM Chest Phantom was used for this study.

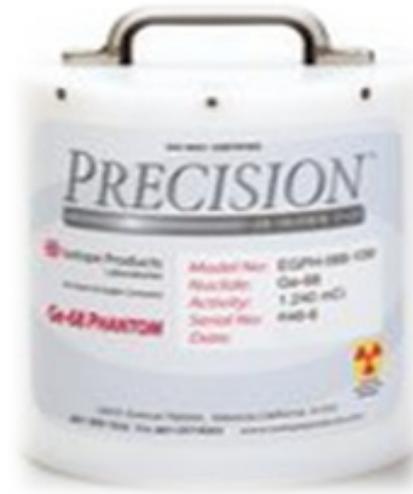


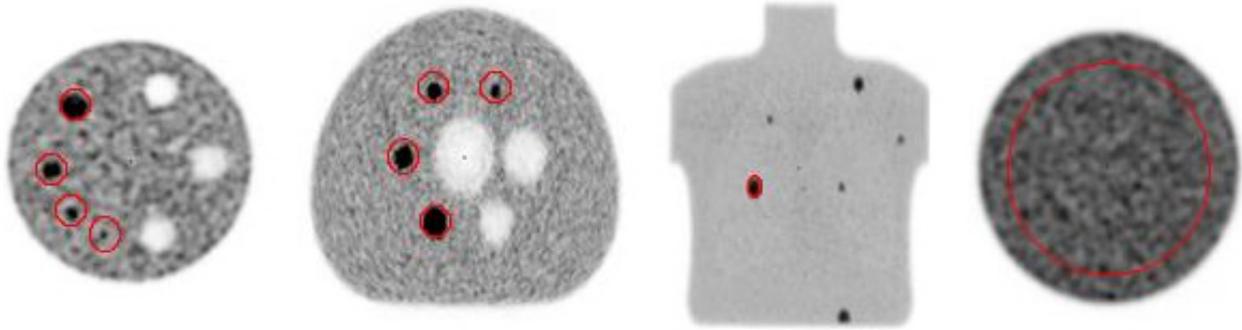
Fig. 5.  $^{68}Ge$ -cylinder Phantom was used for this study.

		D690	D690Elite	D710
CT Physical Assembly	Gantry aperture:	70 cm	70 cm	70 cm
	Detector elements	58,368	21,888	58,368
	Type of detector	V-Res™	HiLight Matrix II	V-Res™
	X-ray generator	85 kW	53 kW	72 kW
	kVp range	80 kVp - 140 kVp	80 kVp - 140 kVp	80 kVp - 140 kVp
	mA range	10 mA - 700 mA	10 mA - 440 mA	10 mA - 600 mA
	Anode heat storage capacity	8.0 MHU	6.3 MHU	6.3 MHU
	Tube Focal spot	small 0.6x0.7 mm Large 0.9x0.9 mm	small 0.9x0.7 mm Large 1.2x1.1 mm	small 0.9x0.7 mm Large 1.2x1.1 mm
CT Scan Parameters	Principle	Slip-ring technique	Slip-ring technique	Slip-ring technique
	Aperture	70 cm	70 cm	70 cm
	Scan FOV	70 cm	70 cm	70 cm
	Maximum number of slices	64 slices	16 slices	128 slices
	Minimum slice thickness	0.625 mm	0.625 mm	0.625 mm
	Minimum Scan speed	0.4 sec	0.5 sec	0.35 sec
PET system components	Crystal type : LYSO crystal			
	Crystal dimensions: 4.2 x 6.3 x 25 mm			
	Number of crystals: 13,824 ea			
	Detector ring diameter: 810 mm			
	Plane spacing: 3.27 mm			
	Transaxial FOV: 70 cm			
Axial FOV: 15.7 cm				

Fig. 6. The components of PET & CT equipment.

**Table 1.** Scan parameter of this study

	PET		CT
Scan time	2 min/bed	Scan type	Helical
Recon type	VUE Point FX	Rotation time (sec)	0.5
Filter Cutoff (mm)	4.0	Detector Coverage (mm)	40.0
Iterations	4	Thickness (mm)	3.75
Subsets	18	Pitch	0.984
SharpIR	On	kV	140
Matrix size	192×192	mA	Auto mA (30-210)
DFOV (cm)	50	DFOV (cm)	50



**Fig. 7.** These phantom images were measurement method of SUV.

**Table 2.** Compared with  $SUV_{mean}$  and  $SUV_{max}$  of ACR phantom

	ACR	No. of slice	Mean±SD (1th)	Mean±SD (2nd)	F	P-value
$SUV_{mean}$	D690	47	1.06±0.50	0.99±0.52	0.071	0.931
	D690E	47	1.04±0.49	0.96±0.54	0.059	0.943
	D710	47	1.08±0.53	0.99±0.53		
$SUV_{max}$	D690	47	1.82±0.92	1.66±0.91	0.091	0.913
	D690E	47	1.76±0.86	1.63±0.95	0.054	0.948
	D710	47	1.84±1.03	1.69±0.98		

## 결 과

### 1. 장비 별 각 phantom의 SUV 측정값

#### 1) ACR Phantom 분석 결과

ACR phantom의 SUV를 분석해 본 결과,  $SUV_{mean}$ 의 평균값은 1차 측정에서 D690은 1.06, D690Elite은 1.04, D710은 1.08이었으며, 2차 측정에서는 D690에서 0.99, D690Elite에서 0.96, D710에서 0.99로 조사되었다.  $SUV_{max}$ 의 평균값은 D690이 1.82와 1.66, D690Elite는 1.76과 1.63, D710에서는 1.84와 1.69로 조사되었으며 1차와 2차 측정 모두 장비간 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2, Fig. 8).

#### 2) NEMA IEC Body phantom 분석 결과

$SUV_{mean}$ 는 D690에서 1.05, D690Elite에서 1.06, D710에서 1.07이었으며,  $SUV_{max}$ 는 D690이 2.25, D690Elite이 2.25, D710에서 2.23이었다. 장비 간 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3, Fig. 9).

#### 3) SNM Chest phantom 분석 결과

SNM Chest phantom에서  $SUV_{mean}$ 의 평균값은 D690에서 0.64, D690Elite에서 0.67, D710에서 0.66이며,  $SUV_{max}$ 는 D690에서 1.07, D690Elite에서 1.10, D710에서 1.09로 조사되었다. 장비간 SUV차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 4, Fig. 10).

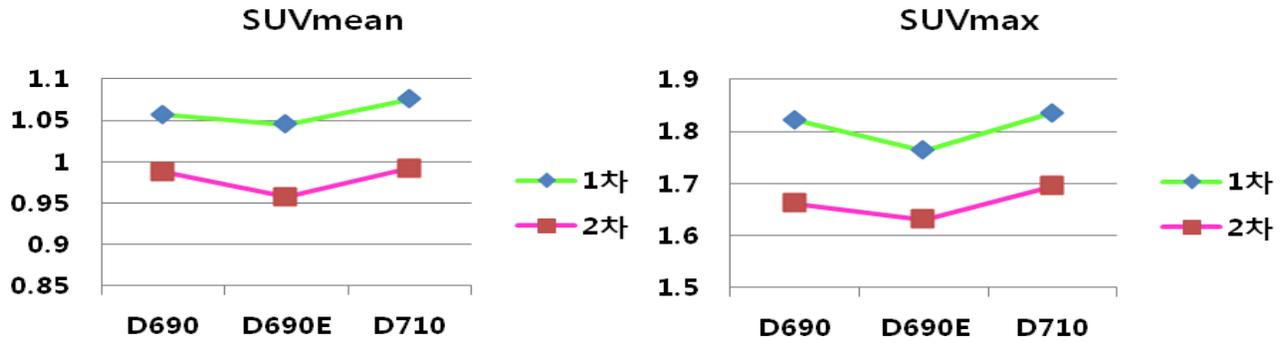


Fig. 8. These graphs were compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of ACR phantoms by 3 different PET/CT scanners.

Table 3. Compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of NEMA IEC body phantom

IEC	No. of slice	Mean±SD	F	P	
SUV <sub>mean</sub>	D690	47	1.05±0.37	0.032	0.968
	D690E	47	1.06±0.37		
	D710	47	1.07±0.38		
SUV <sub>max</sub>	D690	47	2.25±0.37	0.021	0.979
	D690E	47	2.25±1.37		
	D710	47	2.23±1.27		

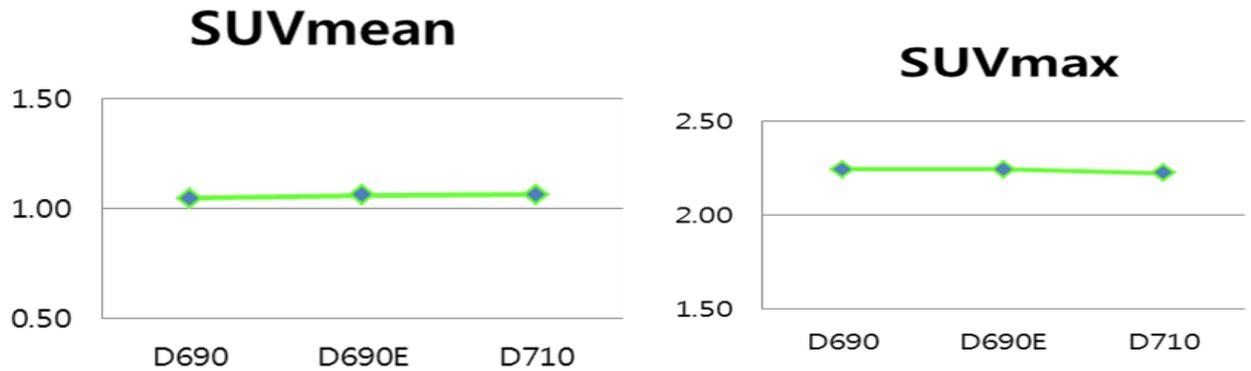


Fig. 9. These graphs were compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of NEMA IEC Body phantoms by 3 different PET/CT scanners.

Table 4. Compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of SNM chest phantom

SNM	No. of slice	Mean±SD	F	P	
SUV <sub>mean</sub>	D690	83	0.64±0.47	0.069	0.934
	D690E	83	0.67±0.48		
	D710	83	0.66±0.48		
SUV <sub>max</sub>	D690	83	1.07±0.85	0.115	0.892
	D690E	83	1.10±0.93		
	D710	83	1.09±0.90		

4) <sup>68</sup>Ge-cylinder phantom 분석 결과

SUV<sub>mean</sub>의 평균값은 D690에서 0.62와 0.64였으며, D690Elite은 1차, 2차 모두 0.61이며, D710은 0.62와 0.63

으로 조사되었다. SUV<sub>max</sub>는 D690이 0.81과 0.86, D690Elite는 0.81과 0.84였으며, D710에서는 0.84와 0.87로 측정되었다. 결과값은 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 5, Fig. 11).

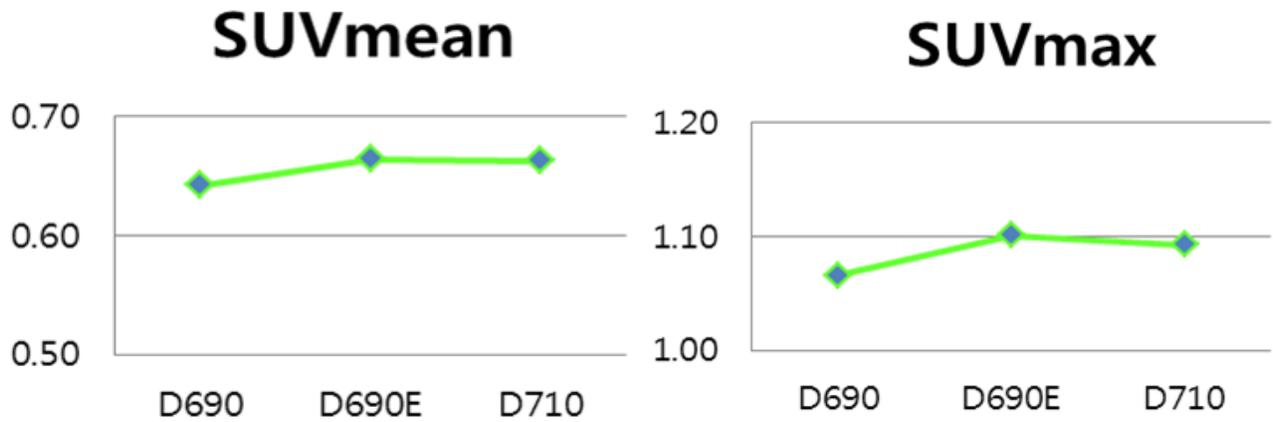


Fig. 10. These graphs were compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of SNM Chest phantom by 3 different PET/CT scanners.

Table 5. Compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of <sup>68</sup>Ge-cylinder phantom

<sup>68</sup> Ge-cylinder	No. of slice	Mean±SD (1th)	Mean±SD (2nd)	F	P-value	
SUV <sub>mean</sub>	D690	83	0.62±0.40	0.64±0.41	0.033	0.967
	D690E	83	0.61±0.40	0.61±0.40	0.062	0.940
	D710	83	0.62±0.41	0.63±0.41		
SUV <sub>max</sub>	D690	83	0.81±0.51	0.86±0.54	0.068	0.934
	D690E	83	0.81±0.51	0.84±0.53	0.053	0.948
	D710	83	0.84±0.53	0.87±0.55		

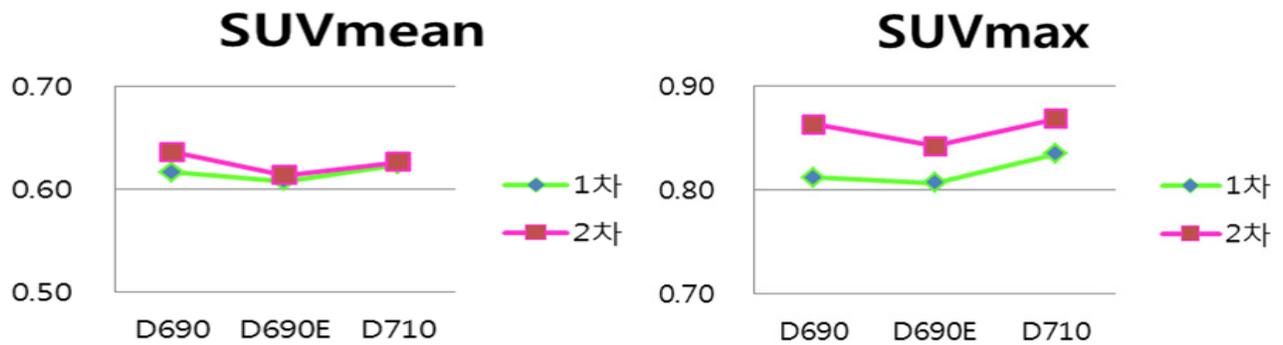


Fig. 11. These graphs were compared with SUV<sub>mean</sub> and SUV<sub>max</sub> of <sup>68</sup>Ge-cylinder phantom by 3 different PET/CT scanners.

Table 6. The difference of SUV<sub>mean</sub> by each PET/CT scanners in phantoms test

Group		ACR		IEC	SNM	<sup>68</sup> Ge-cylinder	
		1th	2nd			1th	2nd
D690	D690E	1.11	3.07	1.49	3.35	3.35	2.39
	D710	1.80	0.43	1.73	3.15	3.15	0.60
D690E	D690	1.12	3.17	1.46	3.24	3.24	2.45
	D710	2.94	3.61	0.24	0.19	0.19	3.06
D710	D690	1.77	0.43	1.70	3.05	3.05	0.60
	D690E	2.86	3.49	0.24	0.19	0.19	2.97

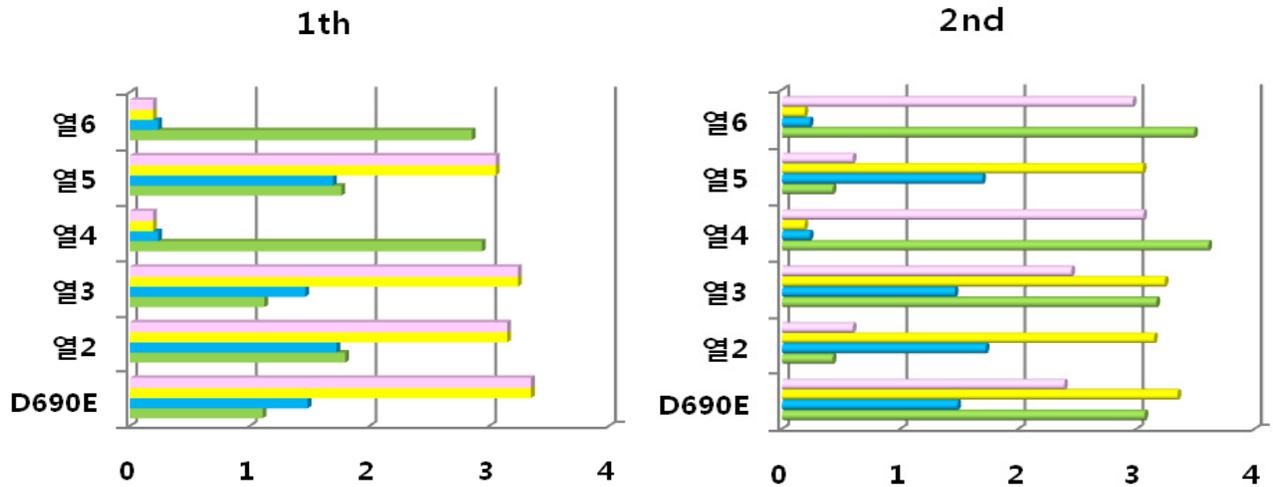


Fig. 12. These graphs were difference of  $SUV_{mean}$  by 3 different PET/CT scanners.

Table 7. The difference of  $SUV_{max}$  by each PET/CT scanners in phantoms test

Group		ACR		IEC	SNM	68Ge-cylinder	
		1th	2nd			1th	2nd
D690	D690E	3.24	1.88	0.03	3.29	0.63	2.39
	D710	0.74	1.98	2.18	2.52	2.81	0.60
D690E	D690	3.35	1.92	0.03	3.19	0.63	2.45
	D710	4.11	3.94	2.21	0.75	3.47	3.06
D710	D690	0.73	1.95	2.23	2.46	2.74	0.60
	D690E	3.95	3.79	2.26	0.75	3.35	2.97

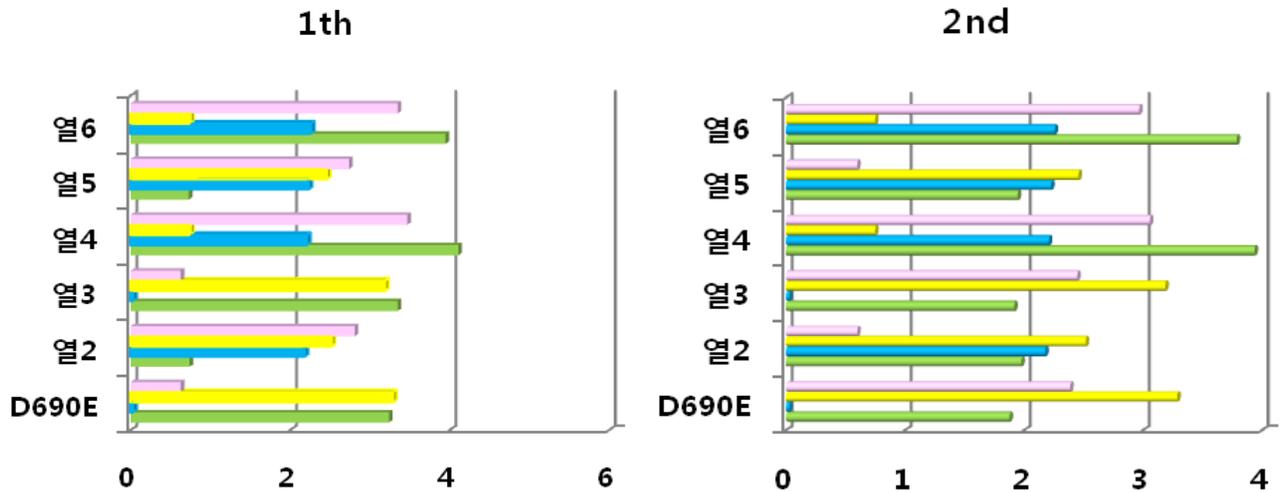


Fig. 13. These graphs were difference of  $SUV_{max}$  by 3 different PET/CT scanners.

## 2. 장비 별 SUV 차이

### 1) $SUV_{mean}$

ACR phantom에 대한 장비 별 차이는 최대 3.61%, 최소

0.43%였으며, IEC phantom은 최대 1.73%, 최소 0.24%, SNM Chest phantom은 최대 3.35%, 최소 0.19%,  $^{68}\text{Ge}$ -cylinder phantom은 최대 3.35%, 최소 0.19%로 조사되었다 (Table 6, Fig. 12).

## 2) SUV<sub>max</sub>

ACR phantom에 대한 장비 별 차이는 최대 4.11%, 최소 0.73%였으며 IEC phantom은 최대 2.26%, 최소 0.03%, SNM Chest phantom은 최대 3.29%, 최소 0.75%, <sup>68</sup>Ge-cylinder phantom은 최대 3.47%, 최소 0.6%로 조사되었다.

## 고 찰

의료장비의 발전으로 하나의 장비로 해부학적 영상과 기능적인 영상을 동시에 획득 가능하게 되었으며 최근 몇 년 동안 신체의 기능적인 부분과 형태적인 부분이 동시에 영상화되어 정확한 진단에 도움을 주고 있는 PET/CT의 유용성이 증가되어 암에 대한 진단 및 치료 후의 경과 관찰 등에 PET검사의 중요성이 증가되고 있다. 이렇듯 암환자에 대한 PET검사의 증가와 의약품 개발을 위한 연구검사 등의 증가로 인해 PET/CT 장비의 이용률은 높아지고 있다.

이러한 상황에서 추적검사를 목적으로 하는 환자의 경우, 동일 장비에서 검사를 시행하기 위해 예약 지연과 일정 변경의 어려움이 발생하여 검사의 편의성이 떨어지는 경우가 발생하고 이로 인해 처방 시점부터 검사 완료까지 소요되는 시간이 길어져 진료의 신속성 감소로 인한 처방의사로부터 불만을 야기할 수도 있다. 이런 경우, 장비는 다르지만 SUV의 차이가 허용 가능한 범위 내에 있다고 판단되는 장비와 호환해서 사용할 수 있다면 앞서 설명한 부정적인 면을 해소하는데 효과적일 것이다. 제조사에서 권장하는 SUV 차이의 허용 가능 범위는 5% 이내이다. 이는 계산된 SUV 값과 실제 장비에서 측정된 값이 5% 이내에 포함되어야 정상적으로 사용 가능한 장비로 인정하기 때문이다. 동일 기종의 장비를 여러 대 구매하기 힘든 의료계 실정에서 보유하고 있는 PET/CT 장비들의 SUV 평가가 허용 가능한 범위라고 인정될 때 장비간 호환성은 높아질 것이다.

본 연구의 제한점은 phantom 위치가 동일하지 않아 slice 별로 차이가 있을 수 있다. 또 실제 환자의 데이터가 아닌 phantom만의 결과라는 것과 사전 연구가 많지 않아 참고 사항이 부족한 점이 아쉬운 부분이었다. 향후 연구에서는 Phantom의 정확한 위치 확보를 위한 방안을 모색하고 인체에서의 변화를 확인할 수 있다면 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

## 결 론

동일한 phantom을 기종이 다른 PET/CT를 대상으로

SUV를 측정해 본 결과 장비 간 차이가 5%에 인접한 경우도 있지만 대부분 3% 이하 정도의 결과값을 보여주고 있다. 이러한 결과는 PET 장비의 사양이 동일할 때 CT의 기종 차이에 의한 SUV 변화는 크지 않은 것으로 유추할 수 있다. 차후 병원의 증축, 신규 개설, 노후 장비 교체 등으로 다수의 장비를 동시에 구입할 계획이 있으며 SUV를 판독 결과에 중요한 정량지표로 활용하는 병원에서는 동일한 기종이 아니더라도 SUV 차이가 허용 가능한 범위의 PET/CT를 구입하여 활용한다면 장비에 대한 SUV 표준화를 통해 얻어지는 장점은 클 것이다.

## 요 약

암에 대한 진료 및 치료 효과 판정 등에 유용한 PET 검사가 증가되면서 추적검사 시 SUV의 정확한 비교를 위해 EANM 등에서는 동일한 장비에서 검사를 시행하는 것을 권고하고 있어 동일한 기종의 PET/CT 활용에 대한 관심이 커지고 있다. 하지만 병원의 환경상 여건이 허락되지 않는 경우가 많아 정확한 SUV 비교를 위한 Factor 개발, 장비간 호환 등의 방안을 마련하는데 관심이 높아지고 있다. 이런 관점에서 기종이 다른 3대의 PET/CT 장비를 대상으로 SUV를 평가하여 장비간 호환성이 가능한지 실험해 보았다. Discovery 690, Discovery 690Elite, Discovery 710 장비를 대상으로 ACR phantom, NEMA IEC Body phantom, SNM Chest phantom, <sup>68</sup>Ge-cylinder phantom에 대한 SUV를 측정하여 장비간 비교를 시행하였다. 장비 별 SUV<sub>mean</sub>과 SUV<sub>max</sub>를 측정하여 비교해 본 결과, SUV<sub>mean</sub>의 경우 각 phantom 별로 장비간 차이는 최대 3.61%, 최소 0.19%였고 SUV<sub>max</sub>는 장비 별로 최대 4.11%, 최소 0.03% 정도 차이가 발생하였다. 제조사에서 권고하는 장비간 SUV 허용 범위는 5%이며 실험에 사용된 3대의 PET/CT 장비간 SUV 차이는 이에 포함된다.

이는 CT 기종의 차이에 따른 SUV의 변화는 크지 않을 유추할 수 있다. 병원마다 동일한 장비를 여러 대 구입하기에는 현실적인 어려움이 있으므로 기종이 다른 PET/CT 장비의 SUV가 허용 가능한 범위 내에 있는 장비를 활용한다면 동일한 장비 사용을 권고하는 추적검사의 경우 예약 일정 변경 등의 검사 효율성이 증가되고 정량평가의 정확도를 높여 줄 것이다.

## REFERENCES

1. Boellaard R, O'Doherty MJ, Weber WA, Mottaghy FM, Lonsdale MN, Stroobants SG, et al. FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010;37:181-200.
2. SNM, Society of Nuclear Medicine Procedure Guideline for Tumor Imaging Using F-18 FDG, version 2.0, approved February 7, 1999.
3. Kim WH. A study on the patient dose and image quality change according to CT dose change in the SPECT/CT scan. The Graduate School of Bio-Medical Science, Korea University.
4. Shin GS, Dong KR. The Difference of Standardized Uptake Value on PET-CT According to Change of CT Parameters. *Journal of radiological science and technology* 2007;30:373-379.