

# NEMA IEC Body Phantom을 이용한 18F-FDG PET/CT 영상의 왜곡 평가

박준철\* · 양한준\*\*

\*안산대학교 방사선과 · \*\*한림국제대학원대학교 국제방사선학과

## Evaluation of 18F-FDG PET/CT Image Distortion by NEMA IEC Body Phantom

Park jooncheol\* · Yang hanjoon\*\*

\*Dept. of Radiological Technology · \*\*Dept. of International Radiological Sciences.

### Abstract

Recently, 18F-FDG PET based CT scan was a critical examination that the after, before plan diagnosis and treatment of tumors. But, due to the distortion of SUV that should be proportional to the metabolic rate of glucose in the tumor, the other measurement methods are being on study. In this study, compared the degree of distortion of SUV that according to the volume of the tumor analysis ROI and VOI using the NEMA IEC Phantom. The results, the SUVmax, mean value are rapidly decreased with threshold value 500 mm<sup>2</sup> interval of the ROI analysis, 1500 mm<sup>3</sup> interval of the VOI analysis. When compared SUVmax value SUVmean, ROI and VOI analysis VOI measurements was 1.077 times higher SUVmax was 0.981 times high compared to the value of the ROI measurement. Compare MTV, SUV 2.0 as measured by the volume of the VOI to Volume showed a slightly higher results(Volume / MTV = 93.4 % ±14.8 %). Considering the above results, Tumor evaluation by 18F-FDG PET / CT scan Consider each threshold value should be analyzed due to larger SUV's Distortion depending on the size of the tumor. VOI analysis is recommended. because it showed the VOI analysis is higher than the ROI analysis SUVmax and lower SUVmean due to VOI analysis than once as a measure of the wider area as measured ROI analysis. MTV (R<sup>2</sup> = 0.999), a result close to the actual size of the tumor. but, more research is needed in this regard, because SUV according to the standards of value are affected.

**Keywords** :18F-FDG PET/CT, NEMA IEC Phantom, SUVmax, SUVmean, MTV

### 1. 서론

각종 질병치료의 가장 중요한 첫 단계는 신속하고 정확한 진단에 있을 것이다. 특히 암 환자의 경우 그 진단 정보를 가져오는 각종 영상검사에서 18F-FDG (Fludeoxyglucose) PET(Positron Emission Tomography)/CT(Computed tomography)는 다른 영상검사 보다 빠른 생물학적 변성 단계에서 진단 할 수 있어 현재 임상에서 각광 받고

있다[1],[2]. 그러나 현재 PET/CT에서 정량화된 기준 값으로 보아왔던 SUV(Standard Uptake Value)가 여러 인자의 영향으로 왜곡이 있어 판독의 제한점으로 여겨지고 있다 [3],[4]. 이 중 종양의 크기에 따른 왜곡은 종양의 병기 결정 및 예후인자 평가의 걸림돌이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 NEMA(National Electrical Manufacturers Association) IEC(International Electrotechnical Commission) Phantom을 이용하여 종양의 체적에 따른

† Corresponding Author: Yang Hanjoon, Dept. of International Radiological Sciences, Hallym University of Graduate Studies, H.P : 010-2750-6181, E-mail: hanjoon.yang@hallym.ac.kr

Received September 6, 2013; Revision Received December 10, 2013; Accepted December 10, 2013.

평면(ROI-Region of interest)으로 분석한 SUV과 입체적(VOI-Volume of interest)으로 분석한 SUV의 왜곡 정도를 비교하여 18F-FDG PET/CT 영상에서 종양의 체적에 따른 SUV의 왜곡 정도를 분석함으로써 실제 임상판독에 도움이 되리라 생각한다. 또한 최근에는 종양의 포도당대사만 표현한 SUV 분석 대신 종양의 전체 체적을 동시에 표현 할 수 있는 MTV(Metabolic tumor volume)를 종양의 분석 척도로 연구되어지고 있는데 이 값 역시 VOI로 분석한 SUV에 기반 함으로써 이 연구가 MTV 왜곡의 가늠자가 되리라 사료된다.



<Figure 1> 18F-FDG(Fluorodeoxyglucose)[5]

2. 실험재료 및 방법

2.1 장치 및 재료

본 실험은 Philips GEMINI TF16 기기를 이용하여 NEMA IEC Body Phantom에 각 용량에 맞게 Dose calibrator 측정된 18F-FDG(Fluorodeoxyglucose)를 증류수로 희석시켜 넣어 Shaker로 충분히 교반하여 영상을 얻었다. 다음은 각각의 채원 및 이미지이다.

2.1.1 PET/CT : Philips GEMINI TF16

<Table 1> Philips GEMINI TF16 Spec[8]

CT System	Gentry Aperture (mm)	700	
	X-ray Focus (mm2)	0.5×1.0	
	Maximum of output	140kVp, 500mAs	
	Number of slice	16	
	Minimum slice thickness (mm)	0.5	
PET System	Gentry Aperture (mm)	700	
	Crystal	Material	LYSO
		Size (mm3)	4×4×22
		Number	28,336
	Number of detector rings	44	
	PMT's Number	420	
	Spatial Resolution (mm)	4.8	
	Sensitivity (counts/sec/MBq)	6400	
Slice thickness (mm)	4		

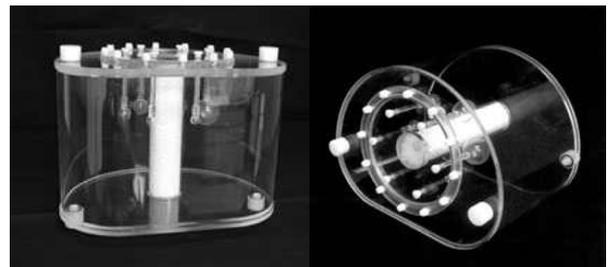
2.1.2 18F-FDG(Fluorodeoxyglucose)

2-deoxy-2-(18F)fluoro-D-glucose by HDX(cyclotron in Shinchon Sebrance Hospital)

2.1.3 NEMA IEC Body Phantom Set™

<Table 2> NEMA IEC Body Phantom Spec[9]

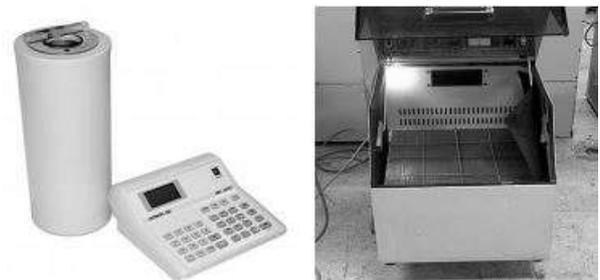
Specifications	
Interior length of phantom	194 mm
Fillable spheres (6) inner diameter	10, 13, 17, 22, 28, 37 mm
Distance from sphere plane to bottom plate	70 mm
Volume of empty cylinder	~9.7 liters
Weight of Full Filled	12.5 kg



<Figure 2> NEMA IEC Body Phantom

2.1.4 Dose calibrator and Shaker

- ① Dose calibrator :PET Dose CRC15R(CAPINTEC)
- ② Shaker : K.M.C-8480SF(Vision scientific co)



<Figure 3> Dose calibrator(좌) and Shaker(우)

## 2.2 Data 획득 및 분석방법

### 2.2.1 영상획득

NEMA IEC Body Phantom내부의 6개의 구체(각10, 13, 17, 22, 28, 37 mm)를 Target으로 하고, Phantom의 나머지 부분을 Background로 하여 Source-to-Background Activity Ratio(SBR)를 4:1 비율로 3번에 걸쳐 다른 용량의 18F-FDG를 Dose calibrator로 각각 측정하여 Phantom에 주입 후 30분 간 잘 교반한 다음, 약 70분 후에 Philips GEMINI TF 16 테이블에 위치하여 PET/CT검사를 시행하였다<Table 3>.

<Table 3> Phantom Activity, SBR

Total activity (MBq)	SBR(4:1)	
	Source (Bq/ml)	B.G (Bq/ml)
92.5	37403.9	9351.0
185.0	74805.7	18701.9
277.5	112280.4	28070.1

이는 평균적 종양 검출값인 SUVmax 4.0을 목표로 하였으며, 일반적 환자 투여용량 0.14 mCi/kg의 값을 참고로 3단계의 더 넓은 주입용량이 되게 실험하였다. CT 조건은 120 kVp, 50 mAs, slice는 5 mm씩 투과영상(Transmission scan)을 획득하여 감쇠보정 값을 얻고, PET는 1 bed/5분 동안 방출영상(Emission scan)을 획득하였다<Figure 4>.

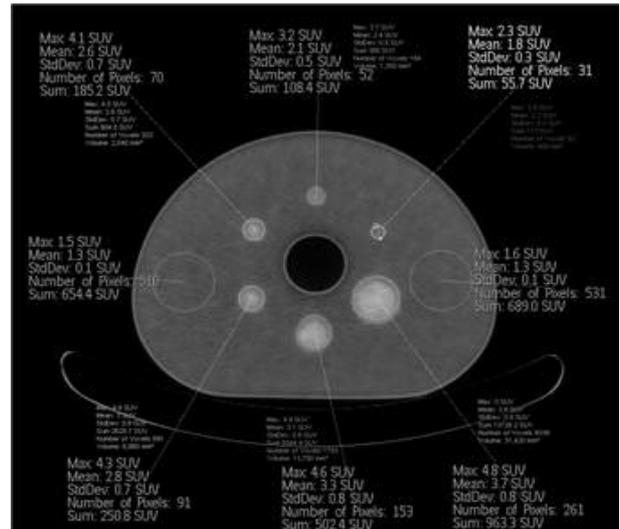


<Figure 4> Phantom Image (PET, CT, Fusion)

### 2.2.2 영상에서 Data 획득

위 실험으로 얻어진 3개의 PET/CT 영상을 가지고 각각 5회에 걸쳐 각각의 구체에 ROI를 그려 SUV의 maximum, mean을 구하고 SUV 2.0을 기준으로 VOI를 Auto로 그려(Adjust SUV 2.0 threshold by Philips PET/CT fusion Viewer ver 4.0.2.145) SUV의 max, mean, sd 및 MTV를 구하였다<Figure 5>. 각 측정의 오차를 최대한 줄이고자 반복 측정하였고, 각기 다른 5명의 측정자가 측정한 값으로 측정자의 오차 또한 반영하였다. VOI의 측정 기준은 SUV 2.0으로 Phantom내

제일 작은 구체의 평균 SUV가 2.0 수준이므로 작은 구체까지 모두 측정하기 위해 기준 SUV로 삼았다. 측정부위는 Phantom내 각각의 구체와 좌우 Back ground로 CT영상의 구체의 체외각 안쪽으로 최대한 크게 그려서 Fusion영상을 이용 하였다<Figure 5>.



<Figure 5> Analysis of Image (ROI, VOI, MTV)

### 2.2.3 Data 분석

각 측정자로부터 얻어진 데이터는 IBM SPSS 16.0을 이용하여 Cronbach's alpha모형으로 Reliability Analysis를 하였고 각 측정내, 간 상관계수 1.0으로 데이터가 유효함을 검증 하였다<Table 3>. 또한, 이 Data를 기반으로 얻은 구체의 변화를 MS EXCEL2010을 사용하여 그래프로 표현하고 변화를 분석하였으며, 두 기준의 SUV의 차이 및 실제 구체 부피와 영상에서 얻어진 MTV와의 차이를 % Error로 분석하였다.

<Table 4> Reliability Analysis & I.C Coefficient

Reliability Statistics		
Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
1.000	1.000	5

Intraclass Correlation Coefficient							
	Intraclass Correlation	95% Confidence Interval		F Test with True Value 0			
		Lower Bound	Upper Bound	Value	df1	df2	Sig
Single Measures	1.000	1.000	1.000	2.277E4	17	68	.000
Average Measures	1.000	1.000	1.000	2.277E4	17	68	.000

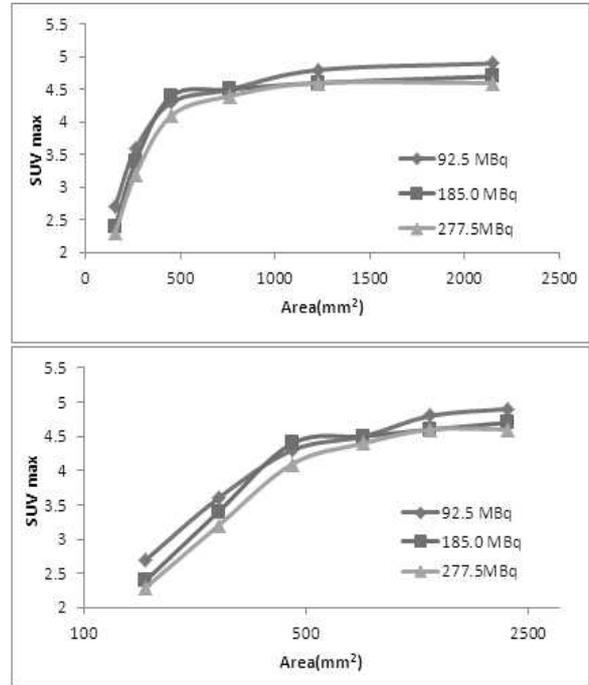
### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 ROI 분석

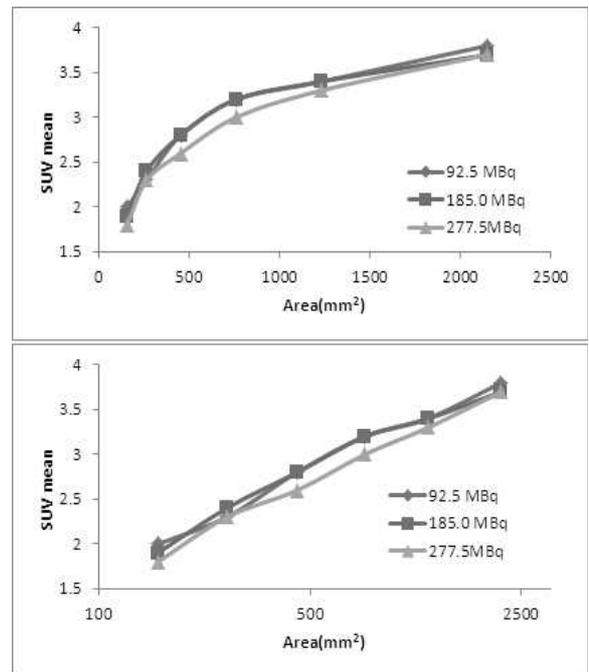
각각의 영상에서 ROI로 분석한 SUV를 가지고 분석하였다. ROI는 PET/CT Fusion영상의 구체 체외 각 안쪽으로 그려, Phantom 내 구체가 종양이라고 가정할 때 종양 부위만 포함되도록 측정 하였으며 5회 반복 측정한 평균데이터를 이용하였다. 반복 측정의 측정 간 오차는 SUVmax, SUVmean에서 모두 유의수준 P-value 0.05이하로 유의한 차이는 없었다. 측정된 값은 <Table 5>와 같다. 각각 3개의 주입 용량에 따른 영상에서 ROI로 측정된 SUV의 max값과 mean값은 모든 주입용량에서 일정하게 면적이 증가 할수록 증가 되고 있으며, 특히 500 mm<sup>2</sup>구간의 역치(Threshold value)를 가지고 종양의 크기가 작아질수록 더 큰 왜곡이 일어남을 알 수 있었다<Figure 6,7> 구체를 제외한 Phantom의 Background는 SUVmax 1.5 ± 0.1, SUV mean 1.3 ± 0.1로 측정 되었다. 이는 4 : 1의 SBR값과 비교하면 SUV가 Background부위에서 예상치 보다 높게 측정됨을 알 수 있다. SUVmax 와 SUVmean의 대수치 그래프에서 SUVmean 그래프는 직선으로 나타나 종양의 면적이 좁을수록 일정 비율로 SUVmean이 감소함을 보여 주고 있으며<Figure 7>, SUVmax그래프는 SUVmax 4.0, 면적 약 500 mm<sup>2</sup>를 경계로 서로 다른 기울기의 형태로 나타나 그 부위를 경계로 종양의 면적이 좁을수록 왜곡 심해지고 있음을 보여준다<Figure 6>.

<Table 5>ROI Analysis Data Table

Total Activity	ROI Analysis			
	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	SUV max	SUV mean
92.5 MBq	10	157	2.7	2 ± 0.4
	13	265.33	3.6	2.3 ± 0.5
	17	453.73	4.3	2.8 ± 0.9
	22	759.88	4.5	3.2 ± 0.8
	28	1230.88	4.8	3.4 ± 0.8
	37	2149.33	4.9	3.8 ± 0.7
185.0 MBq	10	157	2.4	1.9 ± 0.3
	13	265.33	3.4	2.4 ± 0.5
	17	453.73	4.4	2.8 ± 0.8
	22	759.88	4.5	3.2 ± 0.9
	28	1230.88	4.6	3.4 ± 0.8
	37	2149.33	4.7	3.7 ± 0.8
277.5 MBq	10	157	2.3	1.8 ± 0.3
	13	265.33	3.2	2.3 ± 0.5
	17	453.73	4.1	2.6 ± 0.7
	22	759.88	4.4	3 ± 0.7
	28	1230.88	4.6	3.3 ± 0.8
	37	2149.33	4.6	3.7 ± 0.8



<Figure 6> SUVmax Graph by ROI



<Figure 7> SUVmean Graph by ROI

#### 3.2 VOI 분석

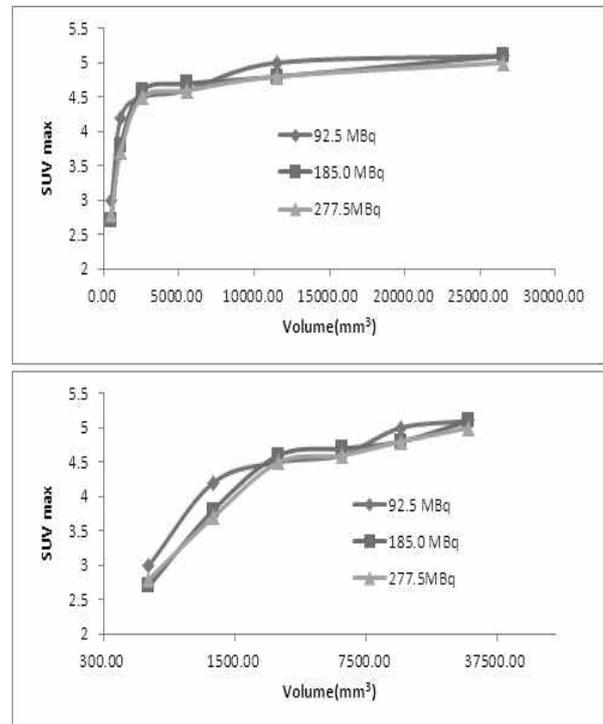
각각의 영상에서 VOI로 분석한 SUV를 가지고 분석하였다. VOI는 PET영상의 구체의 안쪽으로 ROIs를 SUV 2.0을 기준하여 Automatic(Philips PET/CT fusion Viewer ver 4.0.2.145)으로 그려 VOI를 생성하였으며 각각의 구체가 종양이라고 가정할 때 종양 부

위만 포함되도록 5회 반복 측정된 평균데이터를 이용하였다(ROI분석과 같은 방식). 반복 측정의 측정 간 오차는 SUVmax, SUVmean에서 모두 P-value 0.05이하로 유의한 차이가 없었다. 측정된 값은 <Table 6>와 같다. 각각 3개의 주입 용량에 따른 영상에서 VOI로 측정된 SUV의 max값과 mean값은 모든 주입용량에서 거의 일정하게 약 1500 mm<sup>3</sup>구간의 역치(Threshold value)를 가지고 종양의 부피가 작아질수록 더 큰 왜곡이 일어남을 알 수 있었다<Figure 8,9>. 또한 입체의 부피를 대수치로 표현해 보면 SUVmax 4.5 이상에서 그래프의 기울기가 감소하여 수치가 수렴되고 있음을 보여주었다<Figure 8>. SUVmean 역시 이 보다 적은 SUVmean 3.0 이상에서 기울기가 감소되고 있다<Figure 9>.

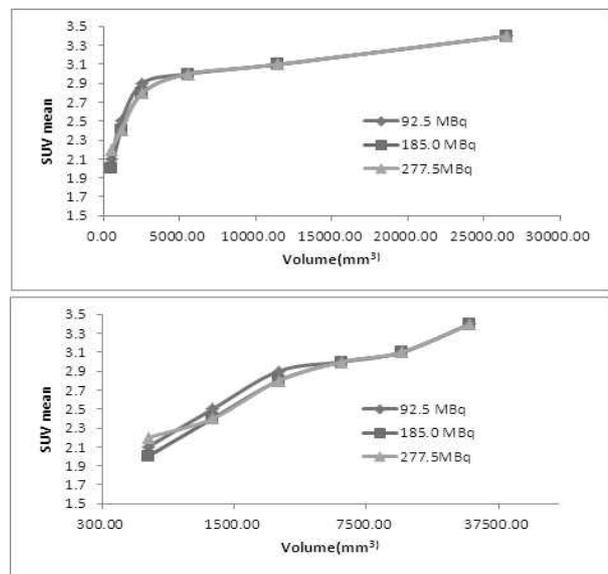
위와 같은 원인으로 잘 알려진 이유는 PET/CT 영상의 PVE(Partial Volume Effect)로 인해서다<Figure 10>. [7]을 참고해 보면 공간분해능의 약 3배 넓이의 검사체에서 왜곡이 안정화 된다고 보고되고 있다. PVE의 보정 방식으로 영상의 Iteration method등이 있으나 근본적인 PET/CT의 공간분해능 향상이 우선 일 것이다[8]. 실제 본 실험의 PET/CT는 Spatial Resolution이 4.8 mm 여서 3배 크기인 14.8 mm 이상에서 왜곡이 없어야 하나, Phantom내 구체 직경 17 mm이상에서 왜곡이 감소되는 결과를 보였다. 또한 이론적 기대치인 SUVmean 4.0에는 못미치는 결과 값을 보였다. SUVmax 역시 직경 17 mm 구체이상에서 왜곡이 감소되었다.

<Table 6> VOI Analysis Data Table

Total Activity	VOI Analysis				
	Volume (mm <sup>3</sup> )	SUV max	SUVmean	MTV (cc)	
92.5 MBq	523.33	3	2.1 ±0.4	0.54	
	1149.76	4.2	2.5 ±0.7	1.2	
	2571.14	4.5	2.9 ±0.9	2.66	
	5572.45	4.6	3 ±0.8	6.6	
	11488.21	5	3.1 ±1	13.54	
	26508.40	5.1	3.4 ±1	31.56	
185.0MBq	523.33	2.7	2 ±0.4	0.4	
	1149.76	3.8	2.4 ±0.6	1.32	
	2571.14	4.6	2.8 ±0.8	2.7	
	5572.45	4.7	3 ±0.8	6.54	
	11488.21	4.8	3.1 ±0.9	13.56	
	26508.40	5.1	3.4 ±1	30.9	
277.5MBq	523.33	2.8	2.2 ±0.3	0.4	
	1149.76	3.7	2.4 ±0.5	1.3	
	2571.14	4.5	2.8 ±0.7	2.54	
	5572.45	4.6	3 ±0.8	6.86	
	11488.21	4.8	3.1 ±0.8	13.78	
	26508.40	5	3.4 ±0.9	31.42	

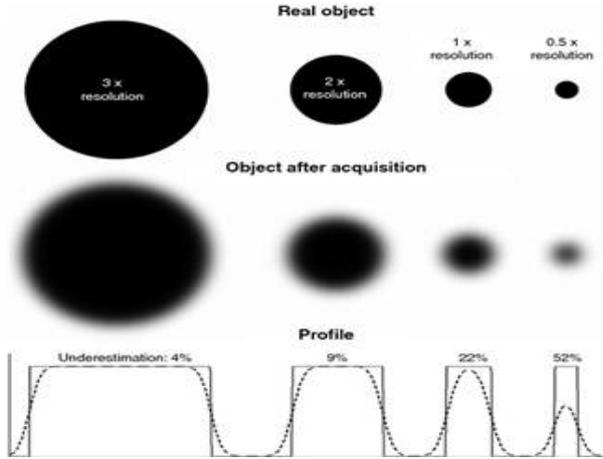


<Figure 8> SUVmax Graph by VOI



<Figure 9> SUVmean Graph by VOI

이는 이론상 PVE를 제외하고도 직경의 크기나 부피에 따라 PET/CT의 True계수율이 영향을 받았기 때문이라 사료된다. 본 논문의 SUV 왜곡 또한 PVE가 가장 큰 요인이거나 True 계수에 의존하는 PET영상의 특징 때문에 True 계수율이 낮아지는 모든 원인이 작은 구체에서 더 심한 왜곡이 생기는 이유일 것이다.



<Figure 10> PVE in PET Image8)

3.3 Data 비교 분석

ROI와 VOI로 분석한 SUVmax 와 SUVmean치를 비교하면 SUVmax는 108.54% ±5.44%로 ROI 대비 VOI로 분석한 SUV가 108.54% 높게 측정되었고, SUV mean은 99.66% ±8.48 %로 ROI 대비 VOI로 분석한 SUV가 99.66% 낮게 측정되었다. 분석값은 <Table 7>과 같다.

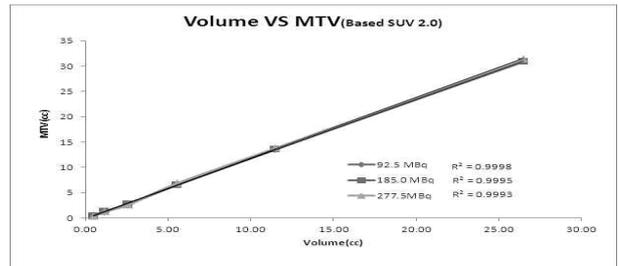
<Table 7> VOI/ROI Analysis(%) Data Table

Total Activity (MBq)	VOI/ROI Analysis		
	Diameter (mm)	SUVmax (VOI/ROI%)	SUVmean (VOI/ROI%)
92.5	10	111.11	105.00
	13	116.67	108.70
	17	104.65	103.57
	22	102.22	93.75
	28	104.17	91.18
	37	104.08	89.47
185.0	10	112.50	105.26
	13	111.76	100.00
	17	104.55	100.00
	22	104.44	93.75
	28	104.35	91.18
	37	108.51	91.89
277.5	10	121.74	122.22
	13	115.63	104.35
	17	109.76	107.69
	22	104.55	100.00
	28	104.35	93.94
	37	108.70	91.89

주입용량 별로 구분해보면 용량이 증가 할수록 SUV max(VOI/ROI%)와 SUVmean(VOI/ROI%)의 유의한 동향은 없었으며 종양의 크기 즉 Phantom의 구체의 직경이 커질수록 ROI로 측정된 SUV가 VOI로 측정된 결과 값 보다 증가 되어 감을 알 수 있다. 또한 전체적으로 VOI의 측정 결과가 넓은 면적의 범위에서 측정된 data이므로 SUVmax가 더 높게 측정되었으며 SUV mean은 직경 17 mm에서 22 mm 사이의 수치를 기준으로 작을수록 VOI가, 길수록 ROI가 높은 수치를 나타내었다.

3.4 종양체적과 MTV 비교

실제 Phantom의 Target인 구체의 체적을 직경으로 계산한 값과 SUV 2.0기준으로 측정된 VOI의 부피 즉, MTV를 비교해 보면 MTV가 약간 높은 결과(Volume/MTV = 93.4 % ±14.8 %)를 보여주고 있으나, MTV측정 시 SUV 기준점에 의한 변화가 심하므로 연구가 더욱 더 필요하다고 여겨진다. 그래프는 종양의 체적과 MTV사이의 관계식이며 상관계수 R2값은 모든 주입용량에서 0.999로 SUV 2.0 기준으로 측정된 MTV는 실제 종양체적과 거의 일치됨을 보여주었다<Figure 11>.



<Figure 11> Volume VS MTV Graph

4. 결론

NEMA IEC Phantom 이용하여 종양의 체적에 따른 평면(ROI)으로 분석한 SUV와 입체적(VOI)으로 분석한 SUV의 왜곡 정도를 비교한 결과 각각의 주입용량별로 미세한 차이지만 ROI분석 결과 보다 VOI가 더 일정한 결과를 보여 주었다. ROI 측정값 대비 VOI측정값이 1.077배 높게 측정 되었고 SUVmean은 0.981배 높게 측정되었다<Table 8>.

18F-FDG PET/CT 영상에서 환자의 종양 체적에 따른 SUV의 왜곡 정도는 각각 ROI분석 시 500mm 2구간, VOI 분석 시 1500mm 3구간에서 역치를 가지고 왜곡이 심해짐을 알 수 있었다.

종양의 체적과 MTV사이의 관계는 상관계수 R2값이 모든 주입용량에서 0.999로 측정되었으며 SUV 2.0 기준으로 측정된 MTV는 실제 종양체적과 거의 일치됨을 보여주었다.

<Table 8> VOI/ROI Analysis(Ratio) Data Table

Total Activity	ROI Analysis		VOI Analysis		Ratio VOI/ROI	
	SUV max	SUV mean	SUV max	SUV mean	SUV max	SUV mean
92.5 MBq	4.133	2.917	4.400	2.833	1.065	0.971
185.0 MBq	4.000	2.900	4.283	2.783	1.071	0.960
277.5 MBq	3.867	2.783	4.233	2.817	1.095	1.012
Average	4.000	2.867	4.306	2.811	1.077	0.98

결과를 종합해 볼 때 18F-FDG PET/CT검사에 의한 종양의 평가 및 임상 판독 시 종양의 크기에 따라 SUV의 왜곡이 크므로 각각의 역치(Threshold value)를 고려해 분석되어야 한다. 즉 각기기의 공간분해능을 고려하여 PVE가 나타나는 체적보다 작은 종양의 평가는 좀 더 과소평가됨을 인지하여야 할 것이다. 또한 ROI분석 보다 VOI분석이 한 번의 측정으로 더 넓은 부위가 측정됨으로 인해 ROI분석 보다 VOI분석이 더 높은 SUVmax와 더 낮은 SUVmean을 보여 주었으므로 VOI분석이 종양의 SUV분포를 ROI분석 보다 좀 더 쉽게 분석 할 수 있었다. MTV는 실제 종양의 크기에 가까운 결과(R2 = 0.999)를 보여주었으나 SUV의 기준 수치에 따라 영향을 받으므로 이에 관한 연구는 더 필요하다고 여겨진다.

## 5. References

[1] Ko Chang Soon, (2008), "Neuclear Medicine." Korea med publish, 3th:81  
 [2] Lee Myeong Cheol (2002) "Status and Prospects by PET.", KNucl Med, 36(1), 1-7,  
 [3] Czernin J, Allen-Auerbach M, Schelbert H.R, (2007), "Improvements in cancer staging with PET/CT: literature-based evidence as of September 2006.", JNucl Med, 48:78S-88,  
 [4] Weber W.A, (2006), "Positron emission tomography as animaging biomarker.", J Clin Oncology, 24(20), 3282-92,  
 [5] Sampson C.B, (1999), "Textbook of Radiopharmacy theory and practice 3rded, Netherlands.", Go

rdon and Breach Science Publis hers, chapter31,  
 [6] Marine Soret, Stephen L, Bacharach, Ir'ene Buva, (2007), "Partial-Volume Effect in PET Tumor Imaging.", JNucl Med, 48, 932 - 945,  
 [7] Judenhofer, Martin S. Wiehr, Stefan Kukuk, Damaris Fischer, (2011), "Guidelines for Nuclear Image Analysis, University of Tübingen.", Chapter: 26.  
 [8] Philips, (2008), "PET and CT SPEC.", GEMINI TF16 Catalogue  
 [9] National Electrical Manufacturers Association (NEMA), Washington, D.C. (2001), "NEMA Standards Publication No.", NU2

## 저 자 소 개

### 박 준 철



인천대학교 대학원 생물학과 이학박사  
 원광보건대학교 방사선과 교수 역임.  
 현재 안산대학교 방사선과 교수  
 관심분야 : 방사선생물학

주소 : 경기도 안산시 상록구 안산대학로 155 방사선과

### 양 한 준



명지대학교 대학원 물리학과이학박사  
 전국방사선(학)과 교수협의회 부회장 역임.  
 대한디지털의료영상학회 부회장 역임  
 현재 한림국제대학원대학교 국제방사선학과 부교수, 방사선과학회 정보이사  
 관심분야 : 방사선물리

주소 : 서울특별시 강남구 역삼로 405 국제방사선학과