

Original Article

## PET/CT 검사에서 매개변수 입력오류에 따른 표준섭취계수 평가

삼성서울병원 핵의학과

김지아 · 홍건철 · 이 혁 · 최성욱

### The Evaluation of SUV Variations According to the Errors of Entering Parameters in the PET-CT Examinations

Jia Kim, Gun Chul Hong, Hyeok Lee and Seong Wook Choi

*Department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Samsung Seoul Medical Center, Seoul, Korea*

**Purpose:** In the PET/CT images, The SUV (standardized uptake value) enables the quantitative assessment according to the biological changes of organs as the index of distinction whether lesion is malignant or not. Therefore, It is too important to enter parameters correctly that affect to the SUV. The purpose of this study is to evaluate an allowable error range of SUV as measuring the difference of results according to input errors of Activity, Weight, uptake Time among the parameters. **Materials and Methods:** Three inserts, Hot, Teflon and Air, were situated in the 1994 NEMA Phantom. Phantom was filled with 27.3 MBq/mL of 18F-FDG. The ratio of hotspot area activity to background area activity was regulated as 4:1. After scanning, Image was re-reconstructed after incurring input errors in Activity, Weight, uptake Time parameters as  $\pm 5\%$ , 10%, 15%, 30%, 50% from original data. ROIs (region of interests) were set one in the each insert areas and four in the background areas.  $SUV_{mean}$  and percentage differences were calculated and compared in each areas. **Results:**  $SUV_{mean}$  of Hot, Teflon, Air and BKG (Background) areas of original images were 4.5, 0.02, 0.1 and 1.0. The min and max value of  $SUV_{mean}$  according to change of Activity error were 3.0 and 9.0 in Hot, 0.01 and 0.04 in Teflon, 0.1 and 0.3 in Air, 0.6 and 2.0 in BKG areas. And percentage differences were equally from -33% to 100%. In case of Weight error showed  $SUV_{mean}$  as 2.2 and 6.7 in Hot, 0.01 and 0.03 in Teflon, 0.09 and 0.28 in Air, 0.5 and 1.5 in BKG areas. And percentage differences were equally from -50% to 50% except Teflon area's percentage difference that was from -50% to 52%. In case of uptake Time error showed  $SUV_{mean}$  as 3.8 and 5.3 in Hot, 0.01 and 0.02 in Teflon, 0.1 and 0.2 in Air, 0.8 and 1.2 in BKG areas. And percentage differences were equally from 17% to -14% in Hot and BKG areas. Teflon area's percentage difference was from -50% to 52% and Air area's one was from -12% to 20%. **Conclusion:** As shown in the results, It was applied within  $\pm 5\%$  of Activity and Weight errors if the allowable error range was configured within 5%. So, The calibration of dose calibrator and weighing machine has to conduct within  $\pm 5\%$  error range because they can affect to Activity and Weight rates. In case of Time error, it showed separate error ranges according to the type of inserts. It showed within 5% error when Hot and BKG areas error were within  $\pm 15\%$ . So we have to consider each time errors if we use more than two clocks included scanner's one during the examinations. (*Korean J Nucl Med Technol* 2014;18(1):43-48)

**Key Words :**  $SUV_{mean}$ , parameters, Activity, Kilogram, Uptake time

## 서론

PET/CT 검사에서 표준섭취계수(standardized uptake value, SUV)는 병소의 악성 여부를 판별하는 지표로서 인체 내 각 장기의 생리적인 변화에 대한 정량분석을 가능하게 한다.<sup>1,2)</sup> 따라서 정확한 SUV를 산출하기 위해서는 이에 영향을 줄

• Received: March 28, 2014. Accepted: April 21, 2014.  
• Corresponding author : **Jia Kim**  
Department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Samsung  
Seoul Medical Center, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-170,  
Korea  
Tel: +82-2-3410-6286, Fax: +82-2-3410-6284  
E-mail: jjia.kim@samsung.com

수 있는 매개변수들이 정확하게 반영되는 것이 중요하다.<sup>3)</sup> 그러한 매개변수들로는 부분체적효과, ROI 설정, 주입된 방사능량, 삽취시간, 체중, 혈당, 환자의 호흡 등 여러 가지가 있다.<sup>4)</sup> SUV를 구하는 식은 다음과 같다.<sup>5,6)</sup>

Tissue concentration of tracer

$$SUV = \frac{\text{Injected activity (kBq/kg)}}{\text{Body weight (kg)}}$$

위의 식에서 알 수 있듯이 SUV 계산에는 주입된 방사능량과 환자의 체중이 직접 반영되며 Tissue concentration tracer 라는 항목에 Decay factor가 포함됨으로써 삽취시간이 반영된다. 이 세 가지는 술자가 직접 입력해야 하는 매개변수들로서 입력 시 오류가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이 세 가지 매개변수들의 입력 시 오류가 발생하였을 때의 SUV와 백분율오차의 결과 차이를 측정하고 수용 가능한 오차범위를 평가하고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 장비 및 실험재료

GE Discovery STE 16 (GE Healthcare, Milwaukee, USA) 장비를 이용하여 실험을 진행하였다. 장비의 재원은 BGO 크리스탈(crystal), 장비의 민감도 8.5 CPS/kBq, 공간분해능

5.1 mm, 축 방향 시야는 Frame 당 15.7 cm, 16 slice의 나선형 CT를 사용하였다. 실험에 사용된 모형은 NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 1994 PET 모형이었으며, 재원으로는 배후용적 4,558 mL, 구체용적 304 mL, 외곽 직경 20.3 mm, 외곽길이 22.8 mm, 총 용적은 5640 mL이다.

### 2. 모형 실험 방법

1994 NEMA 모형 내부에 열소, 테프론, 그리고 공기 3개의 삽입물을 위치시켰다. 총 27.3 MBq의 <sup>18</sup>F를 열소와 배후 방사능 비율이 4:1이 되도록 채우고 GE Discovery STE 16 (GE Healthcare, Milwaukee, USA)로 촬영하였다(Fig. 1).

CT를 이용한 투과촬영을 한 후 Frame당 2분 30초의 방출영상을 3차원(3D)모드로 획득하였다. 얻어진 데이터에 적용된 재구성방법으로는 Z축 필터 standard, post 필터 4.29 반치폭(FWHM) mm, 반복횟수(iterations) 2회와 부분집합수(subset) 20회였다. 촬영 후 입력된 방사능량, 체중, 삽취시간의 값을 기준 값에서  $\pm 5\%$ ,  $10\%$ ,  $15\%$ ,  $30\%$ ,  $50\%$  만큼의 오류를 발생시켜 입력한 후, 영상을 다시 재구성하였다.

### 3. 영상분석

재구성된 영상에서 각 삽입물 부위에 한 개, 배후방사능 부위에 총 네 개의 관심영역을 그린 후 기준 영상과 오차를

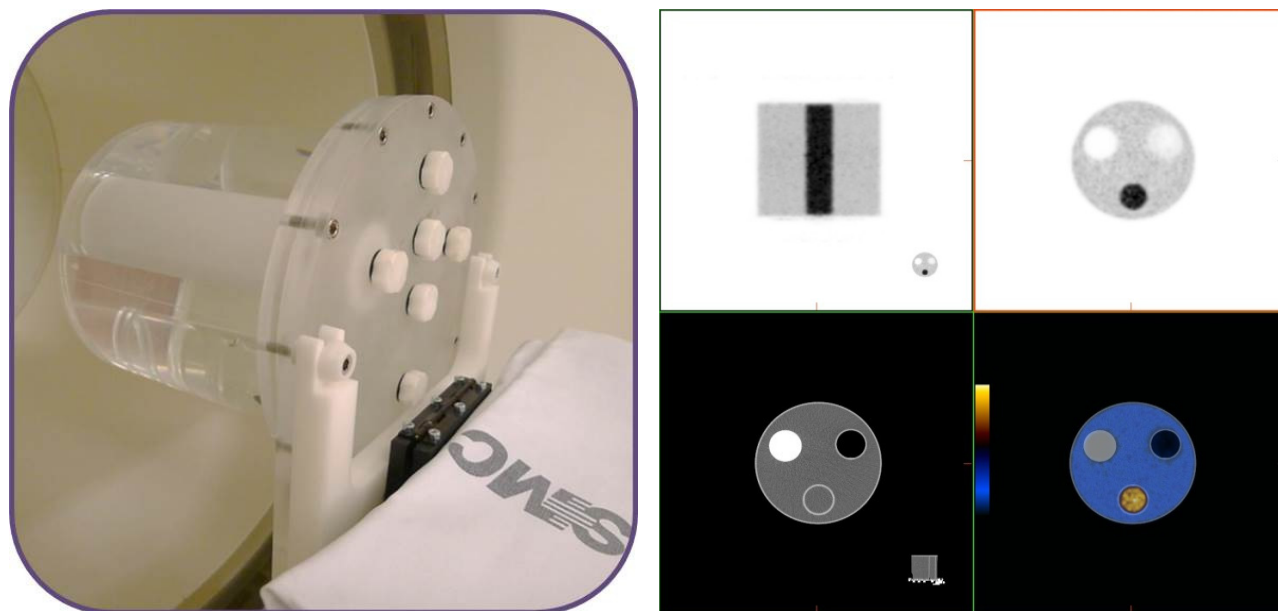
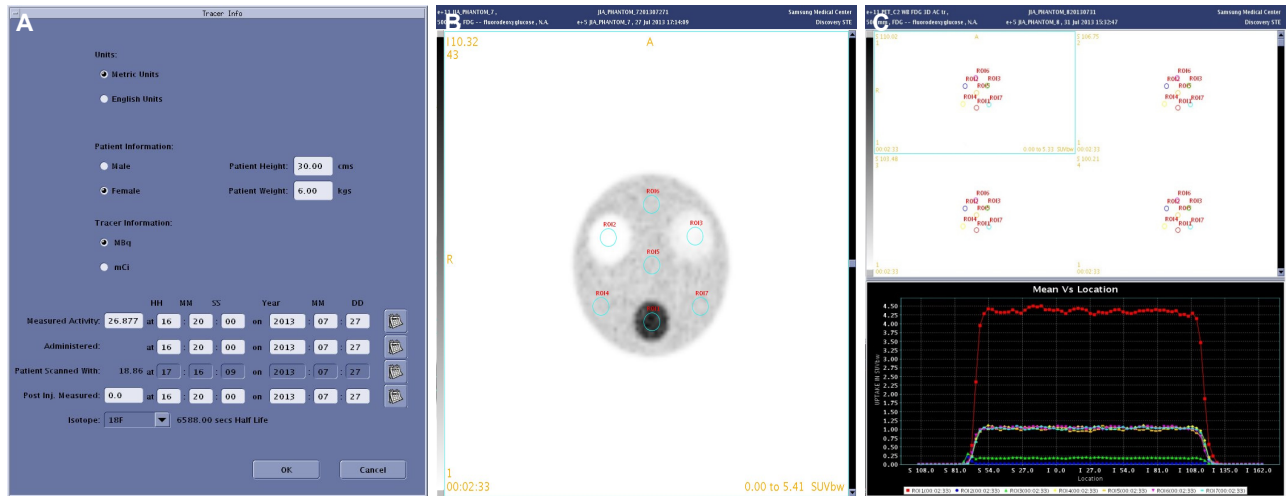
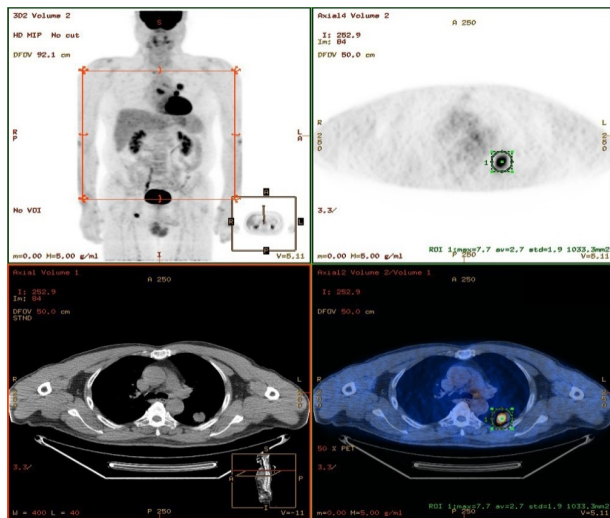


Fig. 1. Three inserts, Hot, Teflon and Air, were situated in the 1994 NEMA Phantom. Phantom was filled with 27.3 MBq/mL of <sup>18</sup>F-FDG. The ratio of hotspot area activity to background area activity was regulated as 4:1.



**Fig. 2.** (A) Image was re-reconstructed after incurring input errors in Activity, Weight, uptake Time parameters as  $\pm 5\%$ ,  $10\%$ ,  $15\%$ ,  $30\%$ ,  $50\%$  from original datas. (B) Measuring SUVmean of ROIs. (C) ROIs (Region of Interests) were set one in the each insert areas and four in the background areas.



**Fig. 3.** In case of Patient's images, ROIs (Region of Interests) were set one in the hot lesions of the chest, one in the air areas of the lung, and one in the soft tissue areas of the thigh.

발생시켜 얻은 영상의  $SUV_{mean}$ 과 백분율오차를 각각 산출해 비교, 분석하였다(Fig. 2).

#### 4. 환자데이터 분석

모형실험을 진행한 동일 장비에서 촬영한 환자들 중 흉부에 병변을 가진 폐암 환자 4명을 대상으로 하였다. 촬영 후 재구성된 영상에서 흉부의 병변부위와 폐의 공기 부분에 각각 하나씩의 ROI를 설정하고, 허벅지 부분의 soft tissue에 하나의 ROI를 설정하여 각각의  $SUV_{mean}$ 과 백분율오

차를 각각 산출해 비교, 분석하였다(Fig. 3).

## 결 과

### 1. 모형실험 결과

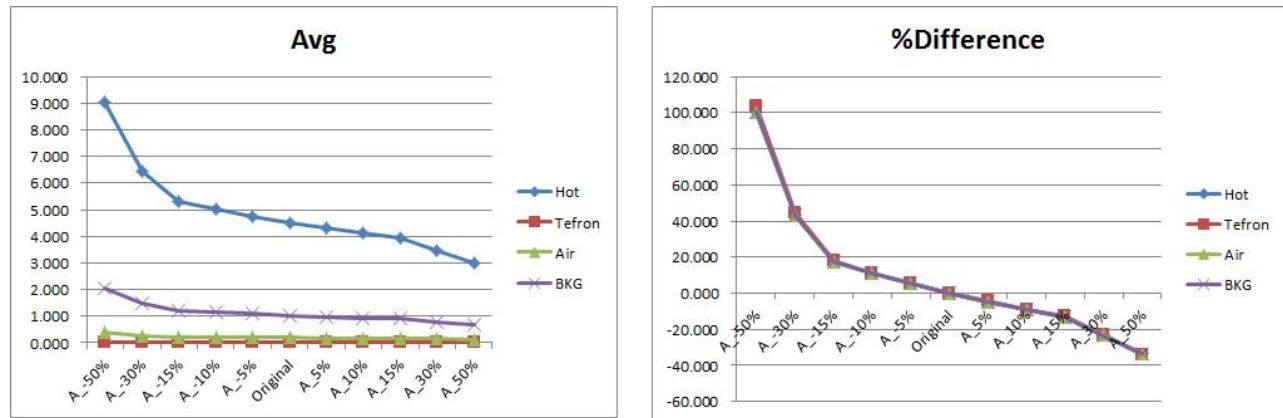
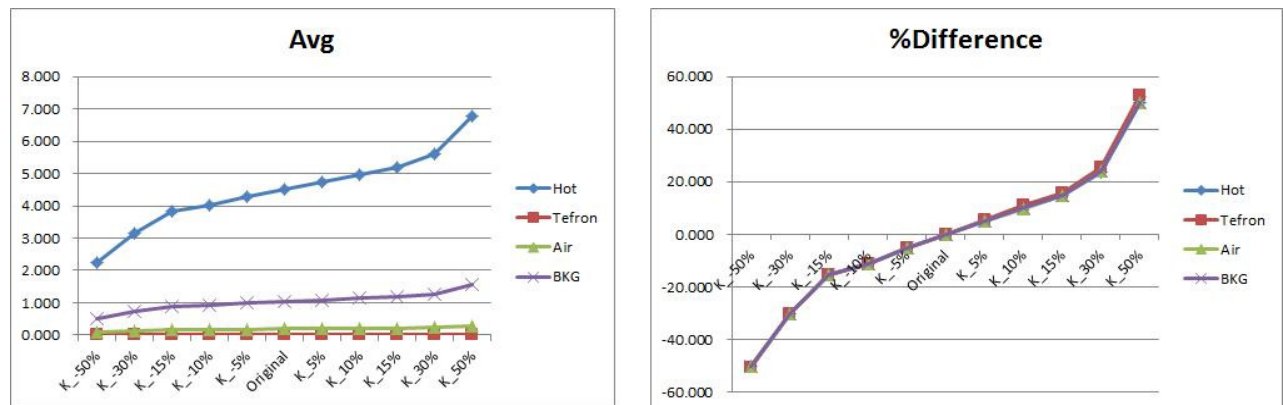
기준 영상의 열소, 테프론 그리고 공기과 배후방사능에서의  $SUV_{mean}$ 은 각각 4.5, 0.02, 0.1 그리고 1.0이었다(Table 1).

#### 1) 방사능량 오차 변화에 따른 결과

열소의 경우 방사능량 오차 변화가 -50, -30, -15, -10, -5, 기준값, 5, 10, 15, 30, 50%의 순서로 변할 때 9.045, 6.460, 5.320, 5.025, 4.760, 4.521, 4.306, 4.111, 3.932, 3.478, 3.014 g/mL의  $SUV_{mean}$ 의 변화를 보였으며 100.0, 42.8, 17.6, 11.1, 5.2, 0, -4.7, -9.0, -13.0, -23.0, -33.3%의 백분율오차를 보였다. 테프론의 경우 0.041, 0.029, 0.024, 0.023, 0.021, 0.020, 0.019, 0.019, 0.018, 0.016, 0.013 g/mL의  $SUV_{mean}$ 의 변화를 보였으며 103.9, 44.3, 18.2, 11.3, 5.4, 0, -4.4, -8.8, -12.3, -22.6, -33.9%의 백분율오차를 보였다. 공기의 경우 0.387, 0.276, 0.227, 0.214, 0.203, 0.193, 0.184, 0.176, 0.168, 0.148, 0.129 g/mL의  $SUV_{mean}$ 의 변화를 보였으며 100.4, 43.0, 17.7, 10.8, 5.3, 0, -4.7, -9.0, -13.0, -23.1, -33.3%의 백분율오차를 보였다. 배후방사능의 경우 2.064, 1.474, 1.214, 1.146, 1.086, 1.032, 0.938, 0.938, 0.897, 0.789, 0.688 g/mL의  $SUV_{mean}$ 의 변화를 보였으며 100.1, 42.9, 17.6, 11.1, 5.2, 0, -4.7, -9.0, -13.0, -23.4, -33.3%의 백분율오차를 보였다(Fig. 4).

Table 1. SUV of Hot, Teflon, Air, BKG areas of original images

|            | Mean  | Max   | Min   | Std Dev. |
|------------|-------|-------|-------|----------|
| Hot        | 4.520 | 5.175 | 3.983 | 0.275    |
| Tefron     | 0.020 | 0.032 | 0.013 | 0.004    |
| Air        | 0.193 | 0.282 | 0.137 | 0.035    |
| Background | 1.031 | 1.289 | 0.827 | 0.100    |

Fig. 4. Results according to change of activity errors (left-SUV<sub>mean</sub>, right-percent differences).Fig. 5. Results according to change of weight errors (left-SUV<sub>mean</sub>, right-percent differences).

## 2) 체중 오차 변화에 따른 결과

열소의 경우 체중 오차 변화가 -50, -30, -15, -10, -5, 기준값, 5, 10, 15, 30, 50%의 순서로 변할 때 2.260, 3.165, 3.828, 4.025, 4.295, 4.521, 4.747, 4.973, 5.199, 5.588, 6.782 g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -50.0, -30.0, -15.3, -10.9, -4.9, 0, 4.9, 10.0, 14.6, 23.3, 50.0%의 백분율오차를 보였다. 테프론의 경우 0.010, 0.014, 0.017, 0.018, 0.019, 0.020, 0.021, 0.023, 0.024, 0.026, 0.031 g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -50.7, -30.0, -15.2, -11.3, -4.9, 0, 5.4, 11.1, 15.7, 25.6, 52.7%의 백분율오차를 보였다. 공기의 경우 0.096, 0.135, 0.163, 0.172, 0.183, 0.193, 0.203, 0.212, 0.222, 0.240, 0.290 g/mL의

SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -50.2, -30.1, -15.2, -11.0, -4.9, 0, 5.0, 9.7, 15.0, 24.2, 50.0%의 백분율오차를 보였다. 배후방사능의 경우 0.516, 0.722, 0.873, 0.918, 0.980, 1.032, 1.083, 1.135, 1.186, 1.278, 1.548 g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -50.0, -30.0, -15.3, -11.0, -5.0, 0, 5.0, 10.0, 15.0, 23.9, 50.0%의 백분율오차를 보였다(Fig. 5).

## 3) 섭취시간 오차 변화에 따른 결과

열소의 경우 섭취시간 오차 변화가 -50, -30, -15, -10, -5, 기준값, 5, 10, 15, 30, 50%의 순서로 변할 때 3.859, 4.109, 4.306, 4.411, 4.445, 4.521, 4.600, 4.668, 4.749, 4.976, 5.322

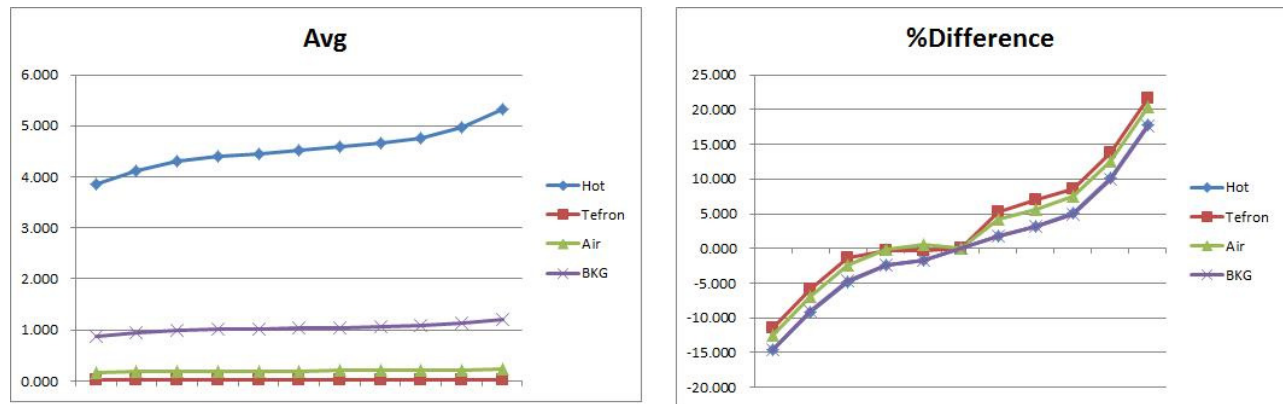


Fig. 6. Results according to change of uptake Time errors (left-SUV<sub>mean</sub>, right-percent differences).

g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -14.6, -9.1, -4.7, -2.4, -1.6, 0, 1.7, 3.2, 5.0, 10.0, 17.7%의 백분율오차를 보였다. 테프론의 경우 0.018, 0.019, 0.020, 0.020, 0.020, 0.020, 0.021, 0.022, 0.022, 0.023, 0.025 g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -11.4, -5.8, -1.3, -0.3, 0.2, 0, 5.2, 6.9, 8.5, 13.7, 21.6%의 백분율오차를 보였다. 공기의 경우 0.169, 0.180, 0.188, 0.193, 0.194, 0.193, 0.201, 0.204, 0.207, 0.217, 0.232 g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -12.5, -6.8, -2.4, -0.1, 0.6, 0, 4.1, 5.6, 7.5, 12.6, 20.3%의 백분율오차를 보였다. 배후방사능의 경우 0.882, 0.938, 0.983, 1.006, 1.014, 1.032, 1.049, 1.065, 1.083, 1.134, 1.213 g/mL의 SUV<sub>mean</sub>의 변화를 보였으며 -14.5, -9.0, -4.7, -2.4, -1.6, 0, 1.7, 3.2, 5.0, 9.9, 17.5%의 백분율오차를 보였다(Fig. 6).

## 2. 환자 데이터 결과

환자 데이터 분석 결과 세 가지 오류 모두에서 모형실험 결과와 비슷한 백분율오차의 변화를 보였다. 방사능량 오류의 경우, -50%의 오류에서 최대값(100%)을 보였고 +50%에서 최소값(-33%)의 백분율오차를 보였다. 체중 오류의 경우, -50%에서 최소값(-50%), +50%에서 최대값(50%)을 보였다. 섭취시간 오류의 경우도 체중오류와 마찬가지로 -50%에서 최소값(-17%), +50%의 오류에서 최대값(21%)을 보였다.

## 결론

일반적으로 수용 가능한 오차의 범위를 5%로 설정할 경우, 본 실험 결과에서 방사능량과 체중의 오류가  $\pm 5\%$  이내일 때 SUV<sub>mean</sub>의 오차가 5% 범위에 포함되었다. 이러한 결

과들을 고려해 볼 때 검사장비에 입력되는 방사능량과 체중에 직접적인 영향을 줄 수 있는 선량 검량계와 체중계의 검교정은 오차범위 5% 이내로 이루어져야 한다. 섭취 시간의 경우 삼입물의 종류에 따라 서로 다른 오차 범위를 보였으며, 열소와 배후방사능에서 오류가  $\pm 15\%$  이내일 때 SUV<sub>mean</sub>에 5% 내의 오차가 발생하였다. 따라서 검사 시 촬영용 스캐너를 포함하여 두 개 이상의 시계를 사용할 경우 각각의 시간 오차들도 함께 고려되어야 할 것이다.

## 고찰

본 실험 결과 방사능량 오류의 경우 -50%의 오류가 발생했을 때 SUV<sub>mean</sub>의 값이 급격히 변화했다. 이는 모형실험과 환자실험 둘 다에서 동일하게 나타난 변화였다.

또한 모형실험 결과, 섭취시간 오류의 경우 다른 매개변수들과 다르게 공기와 테프론에서 다른 변화양상을 보였다. 이는 아마 방사능량과 체중의 경우 계산과정에서 직접적으로 계산되는 반면, 섭취시간의 경우 Decay factor값으로 한번 변환되어 계산되기 때문이라고 추측해 보았으나 이 두 가지 현상 모두 정확한 원인분석을 위해서는 조금 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 요약

PET/CT검사에서 표준섭취계수(standardized uptake value, SUV)는 병소의 악성 여부를 판별하는 지표로서 인체 내 각 장기의 생리적인 변화에 대한 정량분석을 가능하게 한다. 따라서 그 결과에 영향을 줄 수 있는 매개변수를 올바르게 입력하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 그 매개변수 중 방사능량, 체중, 방사성 동위원소 섭취시간의 입

력오류에 따른 결과의 차이를 측정하여 수용 가능한 결과의 오차범위를 평가하고자 한다.

1994 NEMA 모형 내부에 열소, 테프론, 그리고 공기 3개의 삽입물을 위치시켰다. 총 27.3 MBq의  $^{18}\text{F}$ 를 열소와 배후방사능 비율이 4:1로 되도록 채우고 GE Discovery STE 16 (GE Healthcare, Milwaukee, USA)로 촬영하였다. 촬영 후 입력된 방사능량, 체중, 섭취 시간의 값을 기준 값에서  $\pm 5\%$ ,  $10\%$ ,  $15\%$ ,  $30\%$ ,  $50\%$  만큼 오차를 발생시킨 후 영상을 다시 재구성하였다. 재구성된 영상에서 각 삽입물 부위에 한 개, 배후방사능 부위에 총 네 개의 관심영역을 그린 후  $\text{SUV}_{\text{mean}}$ 과 백분율오차를 측정하여 비교 평가하였다.

기준 영상의 열소, 테프론 그리고 공기와 배후방사능에서의  $\text{SUV}_{\text{mean}}$ 은 각각 4.5, 0.02, 0.1 그리고 1.0이었다. 방사능량 오차 변화에 따른  $\text{SUV}_{\text{mean}}$ 의 최대값과 최소값은 열소에서 9.0, 3.0, 테프론에서 0.04, 0.01, 공기에서 0.3, 0.1, 배후방사능에서 2.0, 0.6로 변화된 값을 보였다. 이 때 백분율오차는 모두 동일하게 최대 100%에서 최소 -33%로 나타났다. 체중 오차 변화의 경우 열소에서 2.2, 6.7, 테프론에서 0.01, 0.03, 공기에서 0.09, 0.28, 배후방사능에서 0.5, 1.5로 변화된 값을 보였다. 이 때 백분율오차는 테프론의 최소 -50%, 최대 52%를 제외하고 모두 최소 -50%에서 최대 50%로 동일하게 나타났다. 섭취시간 오차의 경우 열소에서 3.8, 5.3, 테프론에서 0.01, 0.02, 공기에서 0.1, 0.2, 배후방사능에서 0.8에서 1.2로 변화된 값을 보였다. 백분율오차는 열소와 배후방사능은 최소 -14%에서 최대 17%로 동일하게 나타났으며 테프론의 경우 최소 -11%에서 최대 21%, 공기의 경우 최소 -12%에서 최대 20%로 나타났다.

일반적으로 수용 가능한 오차의 범위를 5%로 설정할 경

우, 본 실험 결과에서 방사능량과 체중의 오차가  $\pm 5\%$  이내일 때  $\text{SUV}_{\text{mean}}$ 의 오차가 5% 범위에 포함되었다. 이러한 결과들을 고려해 볼 때 검사장비에 입력되는 방사능량과 체중에 직접적인 영향을 줄 수 있는 선량검량계와 체중계의 검교정은 오차범위 5% 이내로 이루어져야 한다. 섭취 시간의 경우 삽입물의 종류에 따라 서로 다른 오차 범위를 보였으며 열소와 배후방사능에서 오차가  $\pm 15\%$  이내일 때  $\text{SUV}_{\text{mean}}$ 에 5% 내의 오차가 발생하였다. 따라서 검사 시 촬영용 스캐너를 포함하여 두 개 이상의 시계를 사용할 경우 각각의 시간 오차들도 함께 고려되어야 할 것이다.

## REFERENCES

1. Adams MC, Turkington TG, Wilson JM, Wong TZ. A Systematic Review of the Factors Affecting Accuracy of SUV Measurements. *AJR* 2010;195:310-320.
2. Visser EP1, Boerman OC, Oyen WJ. SUV: from silly useless value to smart uptake value. *J Nucl Med* 2010;51:173-175.
3. Ronald Boellaard, PhD; Nanda C. Krak, MD; Otto S. Hoekstra, PhD; and Adriaan A. Lammertsma, PhD. Effects of Noise, Image Resolution, and ROI Definition on the Accuracy of Standard Uptake Values : A Simulation Study. *J Nucl Med* 2004; 45:1519-1527.
4. Beaulieu S, Kinahan P, Tseng J, Dunnwald LK, Schubert EK, Pham P, et al. SUV varies with time after injection in (18)F-FDG PET of breast cancer: characterization and method to adjust for time differences. *J Nucl Med* 2003;44:1044-1050.
5. Keyes JW Jr. SUV: standard uptake or silly useless value? *J Nucl Med* 1995;36:1836-1839.
6. Thie JA. Understanding the standardized uptake value, its methods, and implications for usage. *J Nucl Med* 2004;45: 1431-1434.