

## PET/CT 3차원 영상 획득에서 부분용적효과 감소를 위한 재구성법의 최적화

삼성서울병원 핵의학과

홍건철 · 박선명 · 광인석 · 이 혁 · 최춘기 · 석재동

### The Optimization of Reconstruction Method Reducing Partial Volume Effect in PET/CT 3D Image Acquisition

Gun Chul Hong, Sun Myung Park, In Suk Kwak, Hyuk Lee, Choon Ki Choi and Jae Dong Seok

Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

**Purpose:** Partial volume effect (PVE) is the phenomenon to lower the accuracy of image due to low estimate, which is to occur from PET/CT 3D image acquisition. The more resolution is declined and the lesion is small, the more it causes a big error. So that it can influence the test result. Studied the optimum image reconstruction method by using variation of parameter, which can influence the PVE.

**Materials and Methods:** It acquires the image in each size spheres which is injected  $^{18}\text{F}$ -FDG to hot site and background in the ratio 4:1 for 10 minutes by using NEMA 2001 IEC phantom in GE Discovery STE 16. The iterative reconstruction is used and gives variety to iteration 2-50 times, subset number 1-56. The analysis's fixed region of interest in detail part of image and compute % difference and signal to noise ratio (SNR) using  $\text{SUV}_{\text{max}}$ . **Results:** It's measured that  $\text{SUV}_{\text{max}}$  of 10 mm spheres, which is changed subset number to 2, 5, 8, 20, 56 in fixed iteration to times, SNR is indicated 0.19, 0.30, 0.40, 0.48, 0.45. As well as each sphere's of total SNR is measured 2.73, 3.38, 3.64, 3.63, 3.38. **Conclusion:** In iteration 6th to 20th, it indicates similar value in % difference and SNR ( $3.47 \pm 0.09$ ). Over 20th, it increases the phenomenon, which is placed low value on  $\text{SUV}_{\text{max}}$  through the influence of noise. In addition, the identical iteration, it indicates that SNR is high value in 8th to 20th in variation of subset number. Therefore, to reduce partial volume effect of small lesion, it can be declined the partial volume effect in iteration 6 times, subset number 8~20 times, considering reconstruction time. (**Korean J Nucl Med Technol 2010;14(1):13-17**)

**Key Words :** Partial volume effect (PVE), Iteration, Subset number, Standard uptake value (SUV), Signal to noise ratio (SNR), % Difference

## 서 론

양전자단층촬영(Positron Emission Tomography; PET)은 각종 생화학적 물질의 생체 내 분포를 영상화하여 인체 내의 생리적 지표들을 정량적으로 측정할 수 있어 생화학 또

는 병리 현상의 규명과 질병 진단, 치료 후 예후 판정, 치료 계획 등에 유용하게 이용되고 있으며, 그 중요성에 대한 인식이 최근에 매우 높아지고 있다.<sup>1)</sup> 현재는 감쇠 보정과 해부학적 지표를 찾기 위하여 CT (Computed Tomography)와 융합하여 PET/CT로 주로 사용되고 있다.

발전하는 PET/CT 검사에서 극복해야 할 문제 요인은 여러 가지 인공산물 및 환자와 관련된 영상의 왜곡이다. 이 요인 중 하나로 부분용적효과(Partial Volume Effect; PVE)가 있다.<sup>2)</sup> PVE는 제한된 공간분해능에 의해 발생하는 것<sup>3)</sup>으로 정량평가 시 값이 저평가 되는 현상을 말하며 이러한 원인

• Received: February 2, 2010. Accepted: February 25, 2010.  
• Corresponding author: **Gun Chul Hong**  
Department of Nuclear Medicine, Samsung Seoul Hospital,  
Ilwon-dong, Kangnam-gu, Seoul, 135-170, Korea  
Tel: +82-2-3410-6286, Fax: +82-2-3410-6284  
E-mail: gunchul.hong@samsung.com

으로 인하여 검사 결과의 정확도를 저하시키게 된다. PVE는 병소의 크기가 작을수록 그 현상이 두드러지며 PET/CT 영상에서 작은 병소의 검사 결과에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문은 PET/CT 3D 영상 획득 시 병변의 크기에 따른 PVE의 정도를 평가하고, 재구성 방법의 하나인 반복 재구성법 중 변경이 가능한 매개변수인 반복 횟수(iterative)와 부분집합 수(subset)에 변화를 주어 그 변화에 따른 최대표준섭취 계수(Standard Uptake Value;  $SUV_{max}$  (g/mL))를 이용하여 PVE를 줄일 수 있는 최적의 영상 재구성 조건을 찾아보고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험에 사용된 장비는 GE Discovery STE16 (GE healthcare,



Fig. 1. PET/CT scanner GE Discovery STE16

USA)이며(Fig. 1), 이 장비는 공간분해능 5.1 mm, 감도는 8.5 cps/KBq이다. 그리고 실험에 사용된 phantom은 NEMA IEC/2001 body phantom을 사용하였으며 phantom에 주입된 방사선 동위원소는  $^{18}F$ -FDG를 사용하였다(Fig. 2).

### 2. 실험방법

Phantom 내부에 각기 다른 직경(10, 13, 17, 22, 28, 37 mm)의 구체에 1 mL당 0.006 MBq를 주입한다(Fig. 3). 주입할 시 공기층이 생기지 않도록 주의하고 구체 주변이 오염되지 않도록 한다. 그리고 phantom의 나머지 부분에는 1 mL당 0.001 MBq를 주입한다.<sup>4)</sup> 이후 phantom 내부의 용액이 잘 섞일 수 있도록 충분히 흔들어 주고 50분간 대기한 후, phantom이 PET/CT 중심점에 올 수 있도록 레이저 포인트를 이용하여 위치를 조정한다.

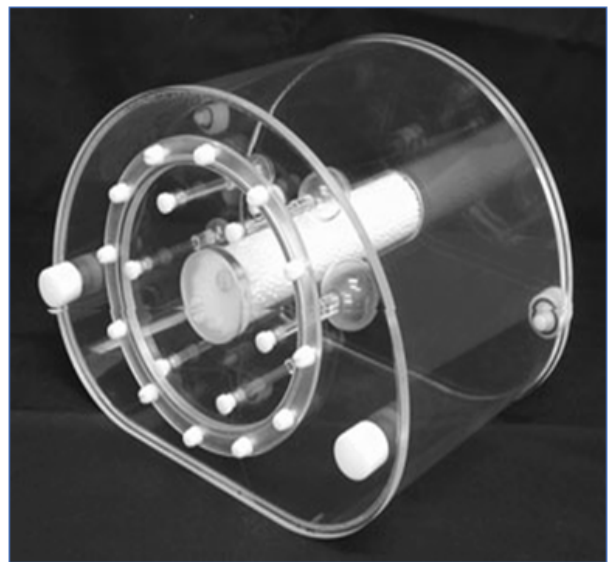


Fig. 2. NEMA IEC/2001 body phantom



Fig. 3. Phantom hot sphere

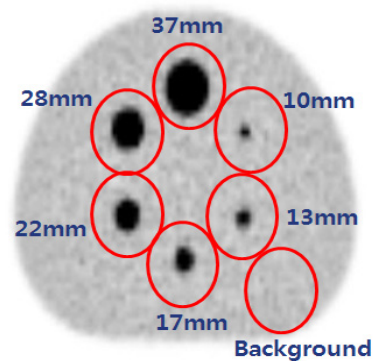


Fig. 4. Reconstruction ROI image

스캔은 CT로 감쇠 보정 값을 얻고 1 bed/10분 방출 영상을 획득한다. 이렇게 하여 얻은 데이터에 적용한 재구성 protocol은 matrix size는 128×128, Z axis filter는 standard, diameter는 50, post filter는 4.29를 사용하였다. 그리고 매개 변수로는 반복 횟수 2~50, 부분집합 수 1~56으로 변화를 주어 재구성하였다.

재구성되어 나타난 영상면에서 크기가 다른 구체에 region of interest (ROI)를 설정하여<sup>5)</sup> 그 ROI 내부와 background 부위에 SUV<sub>max</sub>를 측정하였다(Fig. 4). 측정된 SUV<sub>max</sub>를 가지고 분석을 위하여 백분율 차이(& difference) 값을 산출하였다. 그리고 영상의 신호 대 잡음비(Signal Noise Ratio; SNR)를 산출하여 비교 평가하였다.

$$\% \text{ Difference} = \frac{\max - \text{true}}{\max}$$

$$\text{SNR} = \frac{\max(SUV - \text{Background})}{\max(SUV + \text{Background})} \frac{\max(SUV)}{\max(SUV)}$$

## 결 과

### 1. 반복 횟수 변화에 따른 SUV<sub>max</sub>

반복 횟수 2, 6, 13, 30, 50회 변화를 준 37 mm 구체의 SUV<sub>max</sub>

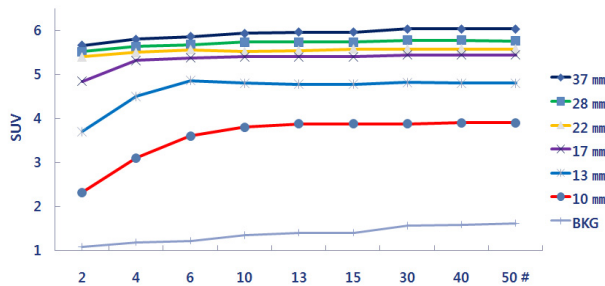


Fig. 5. This is SUV<sub>max</sub> variation according to the number of iteration graph.

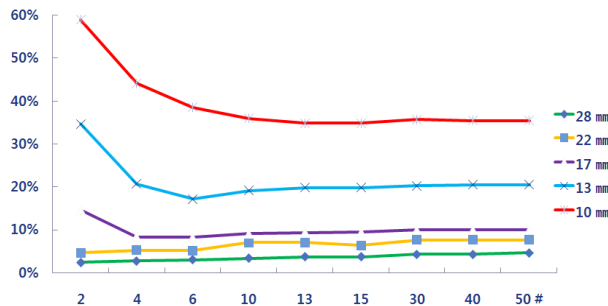


Fig. 6. This is percent difference variation according to the number of iteration graph.

(g/mL)는 5.66, 5.86, 5.96, 6.04, 6.04이고, 17 mm 구체에서는 4.84, 5.38, 5.40, 5.44, 5.44이며, 10 mm 구체에서는 2.32, 3.60, 3.88, 3.88, 3.90으로 나타났다. 이는 10 mm 구체에서 반복 횟수 2회에서 50회까지 SUV<sub>max</sub>가 68% 차이를 보이며 증가하였다(Fig. 5).

37 mm의 구체의 SUV<sub>max</sub>를 기준으로 각 구체 별 SUV<sub>max</sub>와 비교하여 백분율 차이를 보면, 반복 횟수 2회를 적용시킨 경우 28, 22, 17, 13, 10 mm 구체에서 2.4, 4.7, 14.5, 34.7, 59.0% 차이를 나타냈으며, 반복 횟수 6회 적용하였을 때는 3.0, 5.1, 8.2, 17.1, 38.5%이며, 50회 반복 횟수에서는 4.6, 7.6, 9.9, 20.5, 35.4%로 나타났다(Fig. 6).

반복 횟수에 따른 SNR을 산출하여 보면 반복 횟수 2, 6, 13, 30, 50회 변화를 준 SNR의 합은 3.56, 3.66, 3.43, 3.22, 3.14로 6회가 가장 높게 나타났다(Fig. 7).

### 2. 부분집합 수 변화에 따른 SUV<sub>max</sub>

부분집합 수 2, 5, 8, 20, 56회 변화를 준 37 mm 구체의 SUV<sub>max</sub> (g/mL)는 4.76, 5.54, 5.64, 5.76, 5.84이고, 17 mm 구체에서는 2.48, 4.90, 5.40, 5.42, 5.32이며, 10 mm 구체에서는 1.46, 2.40, 3.10, 3.48, 3.78로 나타났다. 이는 10 mm 구체에

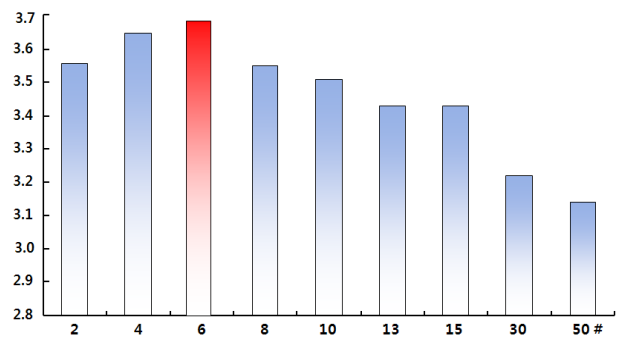


Fig. 7. This is the sum of SNR to variation according to the number of iteration graph.

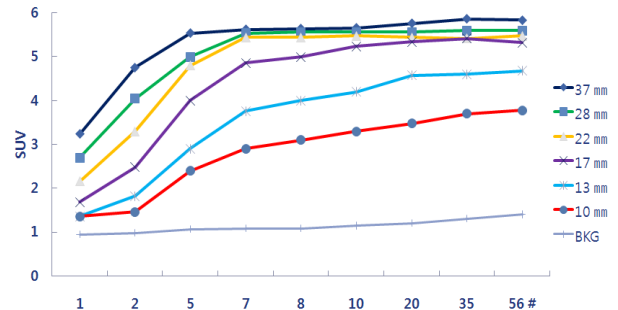


Fig. 8. This is SUV<sub>max</sub> variation according to the number of subset graph.

서 부분집합 수 1회에서 56회까지 SUV<sub>max</sub>가 매우 높은 증가를 보였다(Fig. 8).

37 mm의 구체의 SUV<sub>max</sub>를 기준으로 각 구체별 SUV<sub>max</sub>와 비교하여 백분율 차이를 보면, 부분집합 수 1회를 적용시킨 경우 28, 22, 17, 13, 10 mm 구체에서 16.7, 33.3, 48.1, 62.0, 69.0% 차이를 나타냈으며, 부분집합 수 8회 적용하였을 때는 1.4, 3.5, 11.3, 29.1, 42.0%였으며, 56회 부분집합 수에서는 4.1, 6.2, 8.9, 19.9, 35.3%로 나타났다(Fig. 9).

부분집합 수에 따른 SNR을 산출하여 보면 부분집합 수 2, 5, 8, 20, 56회 변화를 준 SNR의 합은 2.73, 3.38, 3.64, 3.63, 3.38로 8회가 가장 높게 나타났다(Fig. 10).

### 고찰

이번 실험으로 인하여 구체 내부에 단위질량당 동일한 방사성 동위원소를 주입하였음에도 PVE의 발생으로 인하여 SUV<sub>max</sub>가 크게 변한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 본 논문의 실험에 사용한 장비 고유의 분해능에 따른 조건일 수 있으므로 각 병원의 장비에 맞는 다양한 실험과 연구가 필요하다.

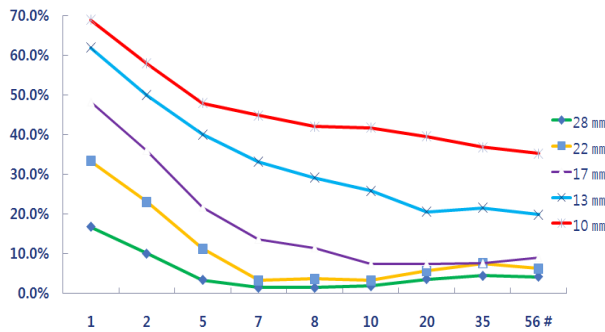


Fig. 9. This is percent difference variation according to the number of subset graph.

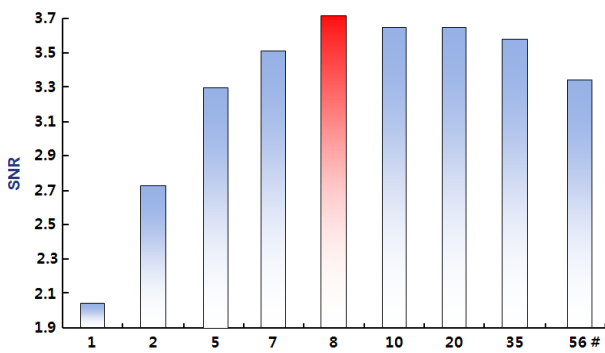


Fig. 10. This is the sum of SNR variation according to the number of subset graph.

### 결론

먼저 반복 횟수에 변화를 주면 반복 횟수가 1~6회까지는 급격한 증가를 나타내다 6회 이후부터는 완만한 곡선을 나타내고 있음을 그래프와 백분율 차이에서 알 수 있었다. 그리고 SNR 측정 결과 6회에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 이후 반복 횟수가 증가 할수록 노이즈의 증가로 인하여 SNR은 감소하였다.

부분집합 수 변화에 따른 SUV<sub>max</sub>를 보면 부분집합 수가 증가할수록 SUV<sub>max</sub> 역시 크게 변하였고, 부분집합 수 2회에서 8회 이전까지는 급격한 증가를 보이다가 8회 이후로는 완만한 곡선을 나타낸다. 백분율 차이에서 보면 부분집합 수 2회에서는 10 mm 구체에서 69%의 차이를 나타내었으나 부분집합 수 8회에서 45%로 감소하는 것을 알 수 있다. SNR 역시 8회 이전까지 급격한 증가를 보이다가 8회 이후로는 완만한 감소를 보인다. 이 역시 전체적인 노이즈의 증가로 인한 것을 알 수 있다.

종합하여 보면 PVE는 반복 재구성법 중 변경이 가능한 매개변수인 반복 횟수와 부분집합 수의 변화를 통하여 효과적으로 줄일 수 있다는 것을 확인하였다. 영상 재구성 시 반복 횟수와 부분집합 수가 증가할수록 SUV<sub>max</sub>는 점차 증가하게 되며, 특히 일정 횟수 이상을 적용하였을 때에는 그 증가율이 크지 않음을 알 수 있었다.

그러나 크기가 작은 병소에서 PVE를 효과적으로 줄이기 위해서는 재구성되는 시간을 고려하여 반복 횟수 6회, 부분집합 수 8~20회가 최적의 조건이라 할 수 있다.

### 요약

PVE는 PET/CT 3D 영상 획득에서 발생하는 것으로 평가 값이 저평가되어 영상의 정확도를 떨어뜨리는 현상이다. 특히 이는 병소의 크기가 작고 분해능이 저하될수록 더 큰 오차를 초래하여 검사 결과에 영향을 줄 수 있다. 본 연구는 PVE에 영향을 줄 수 있는 매개변수의 변화를 이용하여 최적의 영상 재구성법을 알아보고자 한다.

GE Discovery STE16 장비에서 NEMA 2001 IEC phantom을 이용하여 각기 다른 크기의 구체(직경 37, 28, 22, 17, 13, 10 mm)에 <sup>18</sup>F-FDG를 열소와 배후방사능비 4:1로 주입하여 10분간 영상을 획득하였다. 재구성은 반복재구성법(iterative reconstruction)을 사용하였으며, 반복 횟수(iteration) 2~50회, 부분집합 수(subset number) 1~56개로 변화를 주었다. 분석

은 영상의 구체부분에 관심영역(ROI)을 설정하고 최대 표준 섭취계수(SUV<sub>max</sub>)를 이용하여 백분율 차이(% difference)와 신호대잡음비(SNR)를 산출하였다.

반복 횟수 2, 6, 13, 30, 50회 변화를 준 10 mm 구체의 SUV<sub>max</sub>는 2.32, 3.60, 3.88, 3.88, 3.90이고, SNR은 0.36, 0.49, 0.47, 0.43, 0.41이었으며, 백분율 차이는 58.9, 38.5, 34.8, 35.7, 35.4%로 측정되었다. 또한 6회로 고정된 반복 횟수에 2, 5, 8, 20, 56으로 부분집합 수를 변화시킨 평균 SUV<sub>max</sub>는 10 mm의 구체에서 1.46, 3.10, 3.10, 3.48, 3.78로 측정되었으며, SNR은 0.19, 0.30, 0.40, 0.48, 0.45로 나타났다. 또한 각 구체의 SNR의 합은 2.73, 3.38, 3.64, 3.63, 3.38로 측정되었다.

반복 횟수 6회부터 20회까지는 평균 백분율 차이(73±1%)와 평균 SNR (3.47±0.09)은 비슷한 값을 나타내었으며, 20회 이상에서는 noise의 영향으로 SUV가 저평가되는 현상이 증가하였다. 또한 동일한 반복 횟수의 경우에 부분집합 값의 변화에서 SNR은 8회부터 20회가 높은 구간(3.63±0.002)으로

나타났다. 따라서 작은 병소의 PVE를 줄이기 위해서는 재구성 시간을 고려하여 반복 횟수 6회, 부분집합 수 8~20회에서 PVE를 가장 저감할 수 있다.

## REFERENCES

1. Ko Chang Soon. Neuclear Medicine 3th. 2008;81.
2. Gustav K. von Schulthness. Clinical Molecular Anatomic Image 2003;84.
3. Marine Soret, Stephen L. Bacharach, Irenen Buvat. Partial Volume Effect in PET Tumor Imaging. *J Nucl Med* 2007;48:932.
4. Olivier G. Rousset, Yilong Ma and Alan C. Evans. Correction for Partial Volume Effect in PET: Principle and Validation. *J Nucl Med* 1998;39:906.
5. Boon-Keng Teo, Youngho Seo, Stephen L. Bacharach. Partial-Volume Correction in PET: Validation of an Iterative Postreconstruction Method with Phantom and Patient Data. *J Nucl Med* 2007;48:802-804.