

단 반감기 핵종을 이용한 PET 검사 시 영상 획득 시간에 따른 정량성 평가

삼성서울병원 핵의학과

홍건철 · 차은선 · 곽인석 · 이 혁 · 박 훈 · 최준기 · 석재동

The Evaluation of Difference according to Image Scan Duration in PET Scan using Short Half-Lived Radionuclide

Gun Chul Hong, Eun Sun Cha, In Suk Kwak, Hyuk Lee, Hoon Park, Choon Ki Choi and Jae Dong Seok
Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Purpose : Because of the rapid physical decay of the short half-lived radionuclide, counting of event for image is very limited. In this reason, long scan duration is applied for more accurate quantitative analysis in the relatively low sensitive examination. The aim of this study was to evaluate the difference according to scan duration and investigate the reasonable scan duration using the radionuclide of ^{11}C and ^{18}F in PET scan.

Materials and Methods : 1994-NEMA Phantom was filled with ^{11}C of 30.08 ± 4.22 MBq and ^{18}F of 40.08 ± 8.29 MBq diluted with distilled water. Dynamic images were acquired 20frames/1minute and static image was acquired for 20minutes with ^{11}C . And dynamic images were acquired 20frames/2.5minutes and static image was acquired for 50minutes with ^{18}F . All of data were applied with same reconstruction method and time decay correction. Region of interest (ROI) was set on the image, maximum radioactivity concentration (maxRC, kBq/mL) was compared. We compared maxRC with acquired dynamic image which was summed one by one to increase the total scan duration. **Results** : maxRC over time of ^{11}C was $3.85 \pm 0.45 \sim 5.15 \pm 0.50$ kBq/mL in dynamic image, and static image was 2.15 ± 0.26 kBq/mL. In case of ^{18}F , the maxRC was $9.09 \pm 0.42 \sim 9.48 \pm 0.31$ kBq/mL in dynamic image and 7.24 ± 0.14 kBq/mL in static. In summed image of ^{11}C , as total scan duration was increased to 5, 10, 15, 20minutes, the maxRC were 2.47 ± 0.4 , 2.22 ± 0.37 , 2.08 ± 0.42 , 1.95 ± 0.55 kBq/mL respectively. In case of ^{18}F , the total scan duration was increased to 12.5, 25, 37.5, and 50minutes, the maxRC were 7.89 ± 0.27 , 7.61 ± 0.23 , 7.36 ± 0.21 , 7.31 ± 0.23 kBq/mL. **Conclusion** : As elapsed time was increased after completion of injection, the maxRC was increased by 33% and 4% in dynamic study of ^{11}C and ^{18}F respectively. Also the total scan duration was increased, the maxRC was reduced by 50% and 20% in summed image of ^{11}C and ^{18}F respectively. The percentage difference of each result is more larger in study using relatively shorter half-lived radionuclide. It appears that the accuracy of decay correction declined not only increment of scan duration but also increment of elapsed time from a starting point of acquisition. In study using ^{18}F , there was no big difference so it's not necessary to consider error of quantitative evaluation according to elapsed time. It's recommended to apply additional decay correction method considering decay correction the error concerning elapsed time or to set the scan duration of static image less than 5minutes corresponding 25% of half life in study using shorter half-lived radionuclide as ^{11}C . (**Korean J Nucl Med Technol 2012;16(1):102-107**)

Key Words : Radio activity concentrations, Image summation, Decay correction

서 론

• Received: March 28, 2012. Accepted: April 6, 2012.

• Corresponding author: Gun Chul Hong

Department of Nuclear Medicine, Samsung Seoul Hospital, Irwon-dong,
Kangnam-gu, Seoul 135-170, Korea
Tel: +82-2-3410-6286, Fax: +82-2-3410-6284
E-mail: gunchul.hong@samsung.com

암을 비롯한 우리 몸의 대부분의 질병은 해부학적인 형태
의 변화가 생기기 전에 기능적 생화학적인 변화가 나타나고,
PET은 이러한 생화학적 변화를 영상화할 수 있어 암을 조기

에 진단하고 미세한 변화를 찾을 수 있는 장점이 있어 영상을 이용한 의학적 검사에서 많이 이용되고 있으며 그 비중이 계속하여 증가하고 있다.^{1,2)} PET의 기본 원리는 방사성동위원소와 추적자를 결합하여 인체 내에 주입하고, 일정 시간이 경과하여 추적자가 병변에 섭취되면 방사성동위원소가 붕괴하며 방출하는 방사선을 검출기에서 영상으로 구현하는 원리이다. PET 검사에서 사용되는 방사성동위원소는 양전자를 방출하는 핵종을 이용하는데 그 중 상대적으로 반감기가 긴 ¹⁸F (110분)이 가장 많이 사용되고 있으며 그 외에도 ¹¹C (20분), ¹³N (10분), 그리고 가장 반감기가 짧은 ¹⁵O (2분) 등이 있다. 이러한 방사성동위원소들은 일반적으로 핵의학 검사에 사용되는 핵종보다 비교적 빠르게 붕괴되는 단 반감기 핵종들이다. 빠른 물리적 반감기의 방사성동위원소들은 긴 반감기의 핵종들보다 체내에서 빠르게 제거되기 때문에 환자에 대한 피폭선량이 상대적으로 낮다는 장점도 있지만 빠른 붕괴로 인하여 영상을 구성하기 위한 최소한의 계수 검출이 제한적이거나 그로 인한 잡음(noise) 발생 원인이 문제가 될 수 있다는 단점을 가지고 있다.³⁾ 이와 같이 낮은 감도의 조건하에서의 검사일 경우에는 영상 구현을 위하여 충분한 영상획득시간을 적용해야 하는데 긴 영상획득시간의 적용은 환자에게 부담일 뿐 아니라 환자가 움직일 가능성이 높아지므로 이로 인한 영상의 질 저하와 같은 문제를 유발할 수도 있다. 뿐만 아니라 긴 영상획득시간 설정 시 실시간으로 붕괴되는 방사선에 대한 정확하고 정량적인 감쇠보정은 반드시 필요하게 된다.⁴⁾ 본 연구에서는 ¹¹C와 ¹⁸F를 이용한 PET 검사 시 긴 영상 획득시간에서 시간에 따른 감쇠보정 값이 영상으로 보았을 경우 어떻게 변화하는지 그 차이를 정량적으로 평가하고, 각각 핵종의 동적영상과 정적영상, 그리고 동적영상 합산 프로그램을 이용하여 시간에 따른 감쇠보

정의 정도와 그 결과를 방사능 농도 값으로 산출 하여 비교 검토 하고, 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 산출하여 합리적인 영상획득시간에 관하여 알아보고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

PET/CT GE Discovery-STE16 장비(GE Healthcare, Milwaukee, USA)를 사용하여 실험을 하였으며, 이 장비의 재원은 공간분해능 5.1 mm, 감도는 8.5 cps/kBq, 표시야는 50 cm 이다. 그리고 실험에 사용된 모형은 1994 NEMA Phantom 으로 삽입물을 제외한 부피 6,047 mL이며, 바깥 직경 20.3 cm, 높이 22.8 cm로 이루어진 원통형 모형물이다(Fig. 1). 또한 반감기가 다른 두 종류의 방사성동위원소 ¹¹C-PIB 30.08±4.22 MBq (0.81±0.11 mCi)과 ¹⁸F-FDG 40.08±8.29 MBq (1.08±0.22 mCi)을 이용하여 실험을 진행 하였다. 그리고 실험의 결과는 통계 프로그램인 SPSS 18을 이용하여 검증하였다.

2. 실험방법

1) 모형실험

방사성동위원소 ¹¹C와 ¹⁸F를 증류수에 희석하여 모형에 가득 채운 후 동위원소와 증류수가 균일하게 섞이도록 모형을 흔들며 주고, 30분간 대기한다. 이 후 레이저를 이용하여 모형을 스캐너의 중심에 위치시키고, CT의 투과영상을 감쇠보정 값으로 설정 한 후, ¹¹C의 동적영상은 프레임(frame)당 1분씩 20회, 정적영상은 20분 1회 적용하여 영상을 획득 하였다. ¹⁸F는 다른 반감기를 가지고 있기 때문에 영상 획득 시간에 변화를 주어 동적영상으로 각각 2분 30초씩 20회, 정적영상으로 50분 1회 영상을 획득하였다. 이렇게 하여 얻은 데이터에 공통적으로 매트릭스 크기 128×128, Z-축 표준 필터, 반복재구성법의 반복횟수 2회, 부분집합수 20, 표시야는 50 cm, 후 필터는 4.29 mm FWHM으로 재구성 방법을 적용하였고, 모든 데이터는 시간 경과에 따른 붕괴보정을 설정 하였다.

2) 동적영상 합산 및 영상 분석

획득한 동적영상을 가지고 영상 합산프로그램(GE Image summation program)을 이용하여 합산 영상을 산출 하였다. 1분씩 획득한 ¹¹C 영상의 경우 1개씩 합산하여 시간 경과에 따라 총 20개의 합산 영상을 산출하였고, ¹⁸F의 경우 2분 30초에 1개씩 획득하여 총 20개의 합산영상을 산출 하였다(Fig. 2).

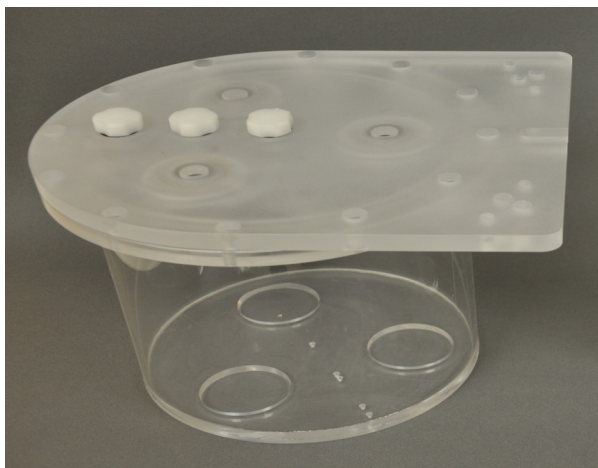


Fig. 1. This is the 1994 NEMA phantom.

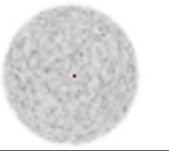
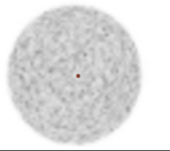
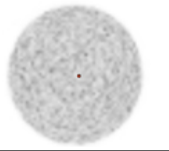
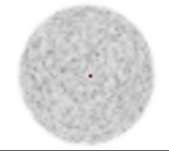
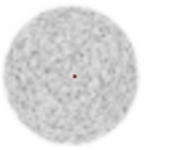
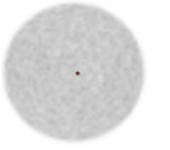



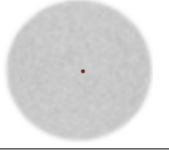
Dynamic				
	1 min	1 min	Acquisition time	1 min	1 min
Total 20 frame					
Summed image					
	1 Frame summed	5 Frame summed	10 Frame summed	15 Frame summed	20 Frame summed
Static					
	Acquisition 20 min				

Fig. 2. The image results of changing acquisition method using ¹¹C.

Table 1. This is a variation of maximum radio activity concentration (maxKBq/mL) by changing the acquisition method using ¹¹C

min	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Dynamic	3.85	3.94	3.98	4.07	4.21	4.38	4.50	4.65	4.78	5.01	5.15
Static	2.15										
Summed image	3.85	3.03	2.58	2.39	2.30	2.22	2.17	2.10	2.07	1.96	1.95

영상의 분석은 획득한 동적영상과 정적영상 그리고 합산 영상에 균일도(Uniformity)를 저하시킬 가능성이 있는 횡측(axial) 부분 양측 7 slice를 제외한 모든 구체 내부에 70%를 관심영역(Region of interest, ROI)으로 설정하여, 각각의 최대 방사능 농도값(maxKBq/mL)을 비교, 평가하여 통계적 유의성을 확인 하였고, 영상의 질 평가를 위한 SNR을 산출하기 위해 동일한 방법으로 관심영역을 설정 한 후, 평균 방사능 농도값(meanKBq/mL)과 설정된 관심영역의 표준 편차를 구하여 평가 하였다.

$$SNR = \frac{\text{mean R.C}}{S.D}$$

(meanRadioactivity Concentration: 평균 방사능 농도값, Standard Deviation: 표준편차)

결 과

¹¹C 동적영상으로 각 프레임마다 1분씩 20회 시간 경과에 따른 최대 방사능 농도값은 3.85±0.45, 3.94±0.37, 3.88±0.45, 3.98±0.42, 4.06±0.52, 4.07±0.46, 4.16±0.48, 4.21±0.44, 4.37±0.48, 4.38±0.49, 4.43±0.49, 4.50±0.53, 4.56±0.47, 4.65±0.43, 4.70±0.47,

4.78±0.50, 4.83±0.58, 5.01±0.45, 4.95±0.61, 5.15±0.53 kBq/mL로 증가하였다. 또한 20분 동안 연속적으로 얻은 정적영상으로 나타난 결과는 2.15±0.26 kBq/mL도 동적영상 보다 저 평가 된 값을 보였다(Table 1).

각각 2분 30초씩 20회 획득한 ¹⁸F 동적영상의 결과는 9.09±0.42, 9.11±0.37, 9.11±0.41, 9.10±0.33, 9.16±0.30, 9.25±0.28, 9.32±0.34, 9.24±0.35, 9.22±0.34, 9.24±0.34, 9.30±0.24, 9.38±0.25, 9.29±0.28, 9.35±0.33, 9.51±0.32, 9.43±0.41, 9.39±0.27, 9.36±0.31, 9.38±0.40, 9.48±0.31 kBq/mL로 증가하였다. 또한 50분 동안 연속적으로 얻은 정적영상으로 나타난 결과는 7.24±0.14 kBq/mL였다(Table 2).

¹¹C의 합산영상에서 영상 획득 시간의 합이 5, 10, 15, 20분으로 증가할수록 2.47±0.4, 2.22±0.37, 2.08±0.42, 1.95±0.55 kBq/mL으로 감소하였으며, ¹⁸F의 경우 합산된 영상 획득 시간의 합이 12분 30초, 25분, 37분 30초, 50분으로 증가할수록 7.89±0.27, 7.61±0.23, 7.36±0.21, 7.31±0.23 kBq/mL으로 감소 하였다(Fig. 3)(Fig. 4). ¹¹C과 ¹⁸F 모두 SPSS 18을 이용하여 동적영상과 정적영상 합산 방법의 검정 결과 유의성은 0.05 미만으로 모두 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다.

또한 영상의 질을 나타내는 SNR은 ¹¹C 동적영상의 경우

Table 2. This is a variation of maximum radio activity concentration ($_{max}KBq/mL$) by changing the acquisition method using ^{18}F

min	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Dynamic	9.09	9.11	9.10	9.25	9.24	9.24	9.38	9.35	9.43	9.36	9.48
Static	7.24										
Summed image	9.09	8.47	8.01	7.80	7.70	7.61	7.58	7.52	7.34	7.34	7.31

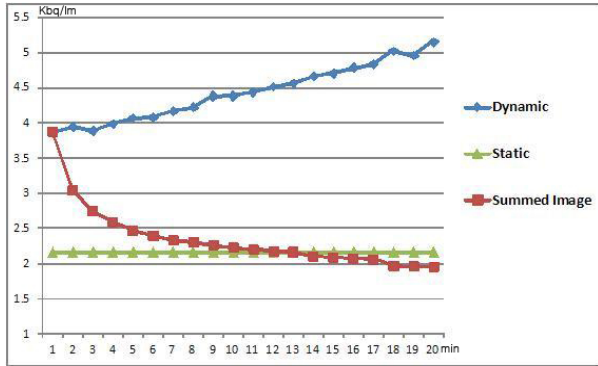


Fig. 3. This graph is the variation of maximum radio activity concentration ($_{max}KBq/mL$) by changing the acquisition method using ^{11}C .

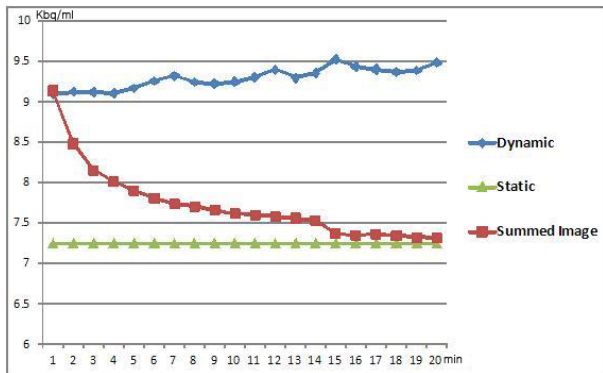


Fig. 4. This graph is the variation of maximum radio activity concentration ($_{max}KBq/mL$) by changing the acquisition method using ^{18}F .

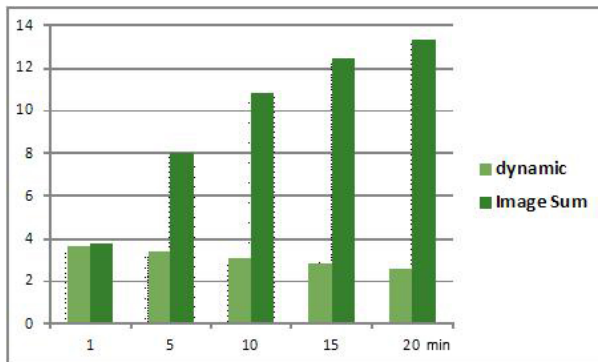


Fig. 5. This graph is the variation of signal to noise ratio on acquisition method of using ^{11}C .

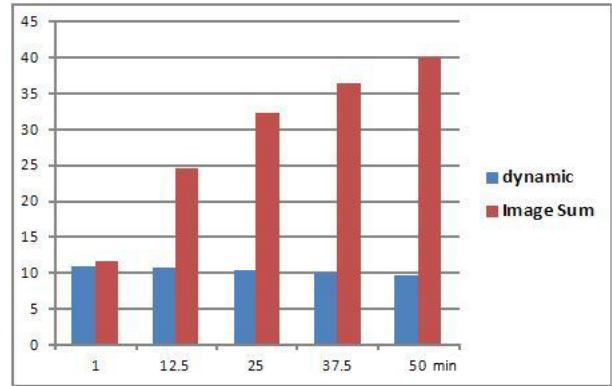


Fig. 6. This graph is the variation of signal to noise ratio on acquisition method of using ^{18}F .

1, 5, 10, 15, 20에서 3.58, 3.34, 3.07, 2.79, 2.58로 감소하였으며, 합산 영상의 경우 1, 5, 10, 15, 20 회로 영상 합산의 수가 증가 할수록 3.71, 8.00, 10.78, 12.43, 13.31로 증가 하여나타났고, 정적영상획득 방법에서는 14.29로 가장 높게 나타났다 (Fig. 5). ^{18}F 의 SNR은 동적영상의 경우 1, 5, 10, 15, 20 일 경우 10.96, 10.57, 10.26, 9.89, 9.56 으로 감소하여 나타났으며, 합산 영상의 경우 1, 5, 10, 15, 20 회로 영상 합산의 수가 증가 할수록 11.72, 24.60, 32.26, 36.45, 40.00로 증가 하였고, 정적영상에서는 40.16으로 가장 높게 나타났다(Fig. 6).

고 찰

이상적인 PET스캐너의 방사능 농도 값의 데이터는 검사 방법과 영상획득 시간에 관계없이 모두 같아야 하지만, 현재의 획득한 데이터에는 차이가 존재한다. 검출기 효율의 차이, 광전자 증배관의 이득 값의 차이. 스캐너에 입사하는 감마선의 각도 및 위치 차이 등 스캐너의 형태와 관련한 여러 부가적인 요소가 있지만, 모든 실험이 같은 장비에서 동일 한 조건임을 감안 했을 때, 변수가 검사 획득 시간이기 때문에 시간에 따른 감쇠보정의 오차가 있음을 증명하였다.⁵⁾ PET검사는 주사 후 추적자가 섭취되는 시간 동안 대기 한 후 검사를 하게 된다. 이때 GE사의 DSTE 장비의 경우 시간에 따른 감쇠보정은 두 번 되는데, 1차 감쇠보정은 주사 시작점부터 영상획득 시작 전 지점까지 감쇠 보정되며, 2차 감쇠보정은 영

상 획득이 시작된 지점부터 영상 획득이 끝나는 시간과의 절반인 중앙 지점을 기준 값으로 연산하여 보정된다. 이때 중요한 점은 2차 감쇠보정 지점이 중앙 지점에서 한번 보정된다는 점이다. 시간이 짧을 경우 큰 오차를 나타내지는 않지만, 검사시간이 길어질수록 오차는 증가하게 되며, 짧은 반감기를 가지고 빠르게 붕괴하는 핵종이라면 증가의 기울기는 더 커지게 된다. 현재 가장 많이 사용하고 있는 ^{18}F 을 이용한 종양학적 검사에서는 긴 영상획득 시간이 필요하지 않지만, 향후에 여러 추적자와 결합하여 발전 가능성이 있는 ^{11}C 와 같이 반감기가 짧은 경우의 검사에서는 영상획득 시간에 보정에 관한 연구 또는 적절한 후보정이 필요하다. 그리고 실험의 제한 사항으로는 다양한 장비에서 실험이 되지 않고 GE 사의 장비에서만 실험 하여 만약 다른 회사 장비에서 실험을 하였을 경우 감쇠보정의 정도와 방법에 차이가 있기 때문에 다른 결과가 나올 수 있다. 그리고 실험 결과에 영향을 주는 인자 중 하나인 불감시간에 관한 영향은 제외하였고, 그에 관한 연구는 향후 연구 계획에 있다.⁶⁾

결 론

본 논문은 긴 시간의 영상 획득시간에서 시간에 따른 감쇠보정 값이 어떻게 변화하는지 그 차이의 정량적으로 평가하고, 시간에 따른 감쇠보정의 정도와 그 결과를 방사능 농도값으로 산출하여 비교 검토 하고, SNR을 산출하여 합리적인 영상획득시간에 관하여 알아보하고자 하였다. 이에 동적영상과 정적영상의 방사능 농도 값을 비교 하였으며, 영상 합산 프로그램을 이용하여 동적영상을 합산하여 평가 하였다. 그 결과 동적영상 획득 방법에서 시간 경과에 따른 최대 방사능 농도값은 최대 ^{11}C 에서 33%, ^{18}F 에서 4% 증가하였다. 합산영상의 경우는 영상 합산 횟수가 증가함에 따라 최대 방사능 농도값은 ^{11}C 에서 최대 50%, ^{18}F 에서 20% 감소함을 보였으며, 이는 상대적으로 반감기가 긴 ^{18}F 보다 ^{11}C 을 이용할 경우에 그 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 영상의 질을 평가하는 SNR에서는 ^{11}C 과 ^{18}F 모두 동적영상획득 방법에서는 주사 후 시간이 흐를수록 SNR가 저하 되었으나, 영상 합산 획득 방법에서는 합산 횟수가 증가 할수록 SNR가 향상되는 것을 알 수 있었다. 실험 결과를 통하여 영상획득 시간의 증가뿐만 아니라 영상획득을 시작한 시점으로부터 경과된 시간이 증가함에 따라 감쇠보정의 정확도가 저하됨을 알 수 있었다. 그러나 상대적으로 반감기가 긴 ^{18}F 을 이용할 경우에는 시간경과에 따른 차이가 적어 정량평가의 오차를 크게 고려하지 않아도 될 것으로 사료되나 ^{11}C 과 단 반감기 핵종을 이

용한 PET 검사는 시간경과에 따른 감쇠보정의 오차를 감안하여 추가의 감쇠 보정법을 적용하거나 30%정도의 오차를 적용하여 정적영상 획득시간을 반감기의 25% 이내인 5분 내외로 설정해야 한다.

요 약

단 반감기 핵종을 이용한 PET검사는 방사성동위원소의 빠른 물리적 붕괴로 인하여 영상 획득을 위한 계수검출이 제한적이다. 이러한 이유로 비교적 낮은 감도의 검사에서는 보다 정확한 정량적 평가를 위하여 긴 시간동안 영상 획득을 적용하기도 한다. 본 연구에서는 ^{11}C 와 ^{18}F 를 이용한 PET 검사 시 영상 획득 시간에 따른 차이를 평가하여 합리적인 영상 획득 시간에 관하여 알아보하고자 한다. 1994 NEMA Phantom에 ^{11}C 은 30.08 ± 4.22 MBq, ^{18}F 은 40.08 ± 8.29 MBq를 증류수에 희석하여 채운 후 ^{11}C 은 동적영상 1분씩 20회, 정적영상 20분, ^{18}F 은 동적영상 2분30초씩 20회, 정적영상 50분을 획득하였다. 모든 데이터는 동일한 재구성법을 적용하였으며, 시간의 경과에 따른 붕괴보정을 적용하였다. 방출영상에 관심영역을 설정하고 최대 방사능 농도값(kBq/mL)을 비교하였으며, 각각의 동적영상을 영상 획득 시간의 증가에 따라 1개씩 증가시켜 영상 합산(Image summation) 후 영상의 관심영역 내에서의 최대 방사능 농도값(kBq/mL)을 평가하였다. ^{11}C 동적영상의 시간 경과에 따른 최대 방사능 농도값은 $3.85 \pm 0.45 \sim 5.15 \pm 0.50$ kBq/mL, 정적영상은 2.15 ± 0.26 kBq/mL였다. ^{18}F 동적영상은 $9.09 \pm 0.42 \sim 9.48 \pm 0.31$ kBq/mL, 정적영상은 7.24 ± 0.14 kBq/mL였다. ^{11}C 의 동적영상 합산에서 영상 획득 시간의 합이 5, 10, 15, 20분으로 증가할수록 2.47 ± 0.4 , 2.22 ± 0.37 , 2.08 ± 0.42 , 1.95 ± 0.55 kBq/mL로 감소하였으며, ^{18}F 의 경우 합산된 영상 획득 시간의 합이 12분 30초, 25분, 37분 30초, 50분으로 증가할수록 7.89 ± 0.27 , 7.61 ± 0.23 , 7.36 ± 0.21 , 7.31 ± 0.23 kBq/mL로 감소하였다. 영상의 질을 평가 하는 SNR에서는 ^{11}C 과 ^{18}F 모두 동적영상획득 방법에서는 주사 후 시간이 흐를수록 SNR가 저하 되었으나, 영상 합산 획득 방법에서는 합산 횟수가 증가 할수록 SNR가 향상되는 것을 알 수 있었다. 동적영상에서 시간 경과에 따른 최대 방사능 농도값은 ^{11}C 과 ^{18}F 에서 증가하였고, 동적영상 합산의 경우는 합산수가 증가함에 따라 최대 방사능 농도값은 ^{11}C 과 ^{18}F 감소함을 보였다. ^{18}F 을 이용할 경우에는 시간 경과에 따른 정량평가의 오차를 크게 고려하지 않아도 될 것으로 사료되고, ^{11}C 를 이용한 PET 검사는 시간경과에 따른 감쇠보정의 오차를 감안하여 추가의 감쇠 보정법을 적용하거나

30%정도의 오차를 적용하여 정적영상 획득시간을 반감기의 25% 이내인 5분 내외로 설정해야 할 것이다.

REFERENCES

1. David W, Townsend, Jonathan PJ, Carney, Jeffrey T, Nathan CH. PET/CT Today and Tomorrow. J Nucl Med 2004;45:p4-14
2. 이명철. PET/CT (Fusion PET) 국내외 현황. 제43차 대한핵의학회 추계학술대회: 심포지움; 43: p.353
3. David B, Paul EK, Carole L, Claude C, Mike C, Christian M. Correction Methods for Random Coincidences in Fully 3D Whole-Body PET: Impact on Data and Image Quality. J Nucl Med 2005; 46:p.862
4. Eric L, Olivier B, Roger M, Dominique D. Is the Physical Decay Correction of the 18F-FDG Input Function in Dynamic PET Imaging Justified? J Nucl Med Technol 2009; 37:p.113
5. 김진수, 이재성, 천기정. 핵의학 영상의 물리적 인공산물 보정: 정규화 보정 및 감쇠보정. Nucl Med Mol Image. 2008; 42: 112p
6. Gabriele T, Felicia Z, Paolo G. PET Instrumentation and Reconstruction Algorithms in Whole-Body Applications. J Nucl Med 2003; 44: p.757