

## PET/CT 영상 획득 시 사전설정법 차이에 따른 영상 질 평가

삼성서울병원 핵의학과

박선명 · 이 혁 · 홍건철 · 정은경 · 최춘기 · 석재동

### Evaluation of the Image Quality According to the Pre-set Method in PET/CT Image

Sun Myung Park, Hyuk Lee, Gun Chul Hong, Eun Kyung Chung, Choon Ki Choi and Jae Dong Seok  
*Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Seoul, Korea*

**Purpose:** The result of exam using an imaging device is very closely related with the image quality. Moreover, this image quality can be changed according to the condition of image acquisition and evaluation method. In this study, we evaluated the image quality according to the difference of pre-set method in PET/CT image. **Materials & Methods:** PET/CT Discovery STe16 (GE Healthcare, Milwaukee, USA), Chest PET phantom (Experiment 1) and 94 NEMA phantom (Experiment 2) were used. Phantom were filled with  $^{18}\text{F}$ -FDG maintaining hot sphere and background ratio to 4:1. In the case of experiment 1, we set the radio activity concentration on 3.5, 6.0, 8.6 kBq/mL. In the case of experiment 2, we set the radio activity concentration on 3.3, 5.5, 7.7, 9.9, 12.1, 16.5 kBq/mL. All experiments were performed with the time-set method for 2 minutes 30 seconds per frame and the count-set method with one hundred million counts in 3D mode after CT transmission scan. For the evaluation of the image quality, we compared each results by using the NECR and SNR. **Results:** In the experiment 1, both the NECR and SNR were increased as radioactivity concentration getting increased. The NECR was shown as 53.7, 66.9, 91.4. and SNR was shown as 7.9, 10.0, 11.7. Both the NECR and SNR were increased in time-set method. But the count-set method's pattern was not similar with the time-set method. The NECR was shown as 53.8, 69.1, 97.8, and SNR was shown as 14.1, 14.7 14.4. The SNR was not increased in count-set method. In experiment 2, results of both the NECR and SNR were shown as 45.1, 70.6, 95.3, 115.6, 134.6, 162.2 and 7.1, 8.8, 10.6, 11.5, 12.7, 14.0. These results were shown similar patten with the experiment 1. Moreover, when the count-set method was applied, the NECR was shown as 42.1, 67.3, 92.1, 112.2, 130.7, 158.7, and SNR was shown as 15.2, 15.9, 15.6, 15.4, 15.5, 14.9. The NECR was increased but SNR was not shown same pattern. **Conclusion:** Increment of administered radioactivity improves the quality of image unconcerned with the pre-set method. However, NECR was not influenced by increment of total acquisition counts through simple increasing scan duration without increment of administered activity. In case of count-set method, the SNR was shown similar value despite of increment of radioactivity. So, the administered activity is more important than the scan duration. And we have to consider that evaluation of image quality using only SNR may not be appropriate. (**Korean J Nucl Med Technol 2011;15(2):41-46**)

**Key Words :** Pre-set method, Noise Equivalent Counting Rate (NECR), Signal to Noise Ratio (SNR)

## 서 론

- Received: June 28, 2011. Accepted: July 5, 2011.
- Corresponding author: Sun Myung Park  
Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center,  
Irwon-dong, Kangnam-gu, Seoul, 135-710, Korea  
Tel: +82-2-3410-2638, Fax: +82-2-3410-2647  
E-mail: simam.park@samsung.com

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography; PET)은 양전자를 방출하는 방사성의약품을 환자에게 정맥주사한 후 환자로부터 방출되는 방사선을 검출하여 이에 대한 분포정도를 영상화함으로써 종양의 크기 및 전이 여부와 치료

후 이에 대한 정성 및 정량분석을 하는 검사이다.<sup>1)</sup> 종양은 화학적 변화가 해부학적 변화보다 먼저 일어나므로 PET는 CT, MRI에서와 같이 해부학적인 변화를 통한 검사 이전에 일어나는 기능적인 이상을 찾아낼 수 있어 PET를 이용한 종양학적인 검사가 매우 빠른 속도로 증가하고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 이러한 PET검사 결과는 장비가 표현할 수 있는 영상의 질과 같은 장비적인 측면뿐 아니라 환자에게 주입되는 선량과 영상획득에 소요되는 검사시간 그리고 환자의 상태와 같은 여러 가지 인자에 따라 그 결과가 달라질 수 있다. PET 검사 시 장비의 적절한 상태를 유지하기 위한 정도관리 및 환자의 상태를 일정하게 유지하기 위한 표준화 과정이 반드시 필요하며, 각 병원마다 판독 상황에 따른 프로토콜을 마련하는 것도 이러한 이유를 근간으로 하고 있다. PET 영상의 질을 향상시키기 위한 일반적인 방법으로는 환자에게 주입되는 방사성의약품의 사용량을 증가하는 방법과 영상획득 시간을 늘려 영상 재구성에 필요한 광자의 양을 증가시켜 줌으로 어느 정도 가능해진다. 그러나 이 두 가지 방법은 환자에게 방사선피폭을 증가 시키거나 검사시간의 증가로 인한 환자가 검사에 대한 부담과 피로를 증가하게 된다는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 환자에게 주입하는 방사성의약품의 양과 영상획득시간은 장비의 제작회사가 장비의 특성을 고려하여 권고하는 주입량을 기본으로 하고 있다. PET 검사 시 영상의 질에 관한 평가는 분해능 및 감도 등과 같은 일반적인 평가항목 이외에 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)와 잡음등가계수율(Noise Equivalent Counting Rate)과 같은 항목을 이용하여 평가하고 있다. PET 영상에서의 SNR은 푸아송 법칙(Poisson rule)에 따른 계수분포에 영향을 받으며 NECR과 영상획득 시간의 곱에 비례한다.<sup>5)</sup> 이러한 상호관계를 바탕으로 PET 검사 시 환자의 방사성의약품의 주입량과 영상획득 시간을 적절하게 조절하여 검사에 적용하고 있다. 본원에서는 환자의 체중에 비례하여 kg당 5 MBq <sup>18</sup>F-FDG

를 주입하며 방출 획득 시간은 2분 30초로 하고 있다. 그러나 환자의 상태에 따라 방사성의약품의 주입량을 증가하여 영상 획득시간을 줄여야 하는 경우도 발생하기도 한다.

본 논문에서는 이처럼 단위 질량당 방사성의약품의 농도가 권고된 양보다 초과 혹은 미달되었을 때 획득시간과 획득계수를 고려하여 변경된 사전설정법(Pre-set method)을 이용하여 영상을 얻을 경우 권고된 단위 질량당 방사능 농도와 같은 결과를 가져 올 수 있는지를 모형실험을 통해 알아보고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험장비 및 재료

장비는 Discovery STe16(GE Healthcare, Milwaukee, USA) PET/CT로(Fig. 1), 형광물질로는 BGO(Bismuth Germinate

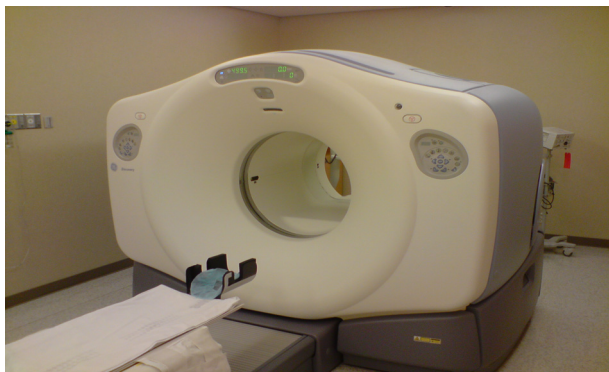


Fig. 1. GE Discovery STe16 PET/CT Scanner



Fig. 2. Chest PET Phantom (SNM)



Fig. 3. NEMA 1994 PET Phantom

Oxide)이며 공간분해능 5.1 mm, 감도는 8.5 cps/kBq, 표시야는 50 cm 이다. 두 가지의 모형을 사용하였으며 모형실험 1에서는 미국 핵의학회(Society of Nuclear Medicine, SNM)에서 제작된 Chest PET Phantom을 이용하였고 모형의 체적은 9,840 mL, 모형 내부에는 열소를 표현하기 위한 10 mL 용적의 튜브가 삽입되어 있다(Fig. 2). 모형실험 2에서 사용된 모형은 NEMA 1994 PET Phantom이며, 3개의 삽입물 모두를 삽입하였을 때 배후방사능에 해당하는 체적은 4,180 mL 이었으며 삽입물은 공기, 열소, 테플론(Teflon)으로 구성되어 있다(Fig. 3). 통계 프로그램으로는 PASW 소프트웨어를 사용하여 결과 값에 대한 신뢰성을 검증하였다.

## 2. 실험방법

모형실험 1에서 Chest PET Phantom 내 배후방사능의 농도는 단위 질량당 3.5, 6.0, 8.6 kBq/mL로 <sup>18</sup>F-FDG를 주입하고 열소와 배후방사능 비를 4:1이 되도록 하였다. CT를 이용한 투과촬영 후 3차원 모드로 2분 30초간 시간설정법을 적용하여 1 프레임의 방출영상을 획득 하였다. 계수설정법을 적용한 모형실험의 경우는 시간설정법과 동일한 조건으로 모형을 준비하여 CT 투과 촬영 후 3차원 모드 1억만 계수의 방출영상을 1 프레임 획득하였다. 모형실험 2에서는 1994 NEMA PET Phantom에 배후방사능의 농도가 단위 질량당 3.3, 5.5, 7.7, 9.9, 12.1, 16.5 kBq/mL가 되도록 <sup>18</sup>F-FDG를 주입하고 열소와 배후방사능 비가 4:1이 되도록 준비하였다. CT를 이용한 투과촬영 후 3차원 모드 2분 30초간 1 프레임의 방출영상을 획득하였다. 앞서 설명한 바와 동일한 방법을 적용하여 모형 제작 후 CT 투과 촬영 후 다시 한 번 3차원 모드 계수설정법을 적용한 1억만 계수의 방출영상을 1 프레임 획득 하였다.

모형실험 1과 2에서 얻어진 데이터는 반복재구성법 반복 횟수 2회, 부분집합수 20, 매트릭스 크기 128x128, Z-축 표준 필터, 표시야 50 cm, 후 필터는 4.29 반치폭(mm)의 조건을

적용하여 영상을 재구성하였다. 재구성된 영상에서 영상 획득 시 사전설정법의 차이에 따르는 NECR과 SNR을 아래의 공식을 이용하여 계산하였고 그 결과를 비교, 분석 하였다.<sup>3,4)</sup>

$$NECR = \frac{(P - R)^{2*}(1 - sf)^2}{P}$$

(P: 전체동시계수값, R: 우발동시계수값, sf: 산란분획)

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

(meanSUV: 평균표준섭취계수값, S.D.: 표준편차값)

NECR 값 계산을 위한 방법은 GE사 Healthcare Revision 2.0에서 환자연구 평가를 위한 NECR 계산 매뉴얼 절차에 따라 계산하였다. 위의 공식에서 사용된 meanSUV와 S.D.는 장비 자체 프로그램인 Dynamic VUE를 이용하여 계산하였다.

## 결 과

### 1. Chest PET Phantom에서 시간설정법 적용 시 NECR

시간설정법을 적용한 실험에서 NECR에 영향을 미치는 인자들 중 산란분획(scatter fraction)을 제외한 나머지 인자들은 배후방사능의 농도가 증가할수록 증가하였으며, 아래 Fig. 4에서와 같이 NECR은 53.7, 66.9, 91.4으로 증가하였다.

### 2. Chest PET Phantom에서 계수설정법 적용 시 NECR

계수설정법 적용 시 배후방사능의 농도가 단위 질량당 3.5, 6.0, 8.6 kBq/mL로 증가할수록 우발동시계수(random coincidence count)가 증가하였다. NECR의 경우는 단위 질량당 방사능 농도의 증가에 따라 53.8, 69.0, 97.8 으로 점진적으로 증가함을 보였다(Fig. 5).

시간고정	3.5 kBq/mL	6.0 kBq/mL	8.6 kBq/mL
Total counts	24,582,461	42,317,175	74,024,099
singles total counts	479,336,929	747,625,413	1,162,123,642
scatter fraction	0.303	0.348	0.339
random counts	4,394,551	10,690,571	25,830,776
scatter count	7,448,486	14,726,377	25,094,170
acq. Duration	150	150	150
NECR	53,695	66,987	91,393

Fig. 4. NECR using Time-set method on Chest PET Phantom study

3. Chest PET Phantom에서 시간설정법 적용 시 SNR

시간설정법을 적용한 경우에는 배후방사능의 농도의 증가함에 따라 표준편차(Standard Deviation)는 0.1, 0.1, 0.1 이며 평균표준섭취계수( $meanSUV$ )는 1.2, 1.1, 1.2 값을 보였고 SNR은 8.7, 8.8, 10.7로 증가함을 보였다(Fig. 6).

4. Chest PET Phantom에서 계수설정법 적용 시 SNR

계수설정법을 적용한 경우에서 배후방사능 농도의 증가에

따라 S.D.은 0.1, 0.1, 0.1이었으며  $meanSUV$ 는 1.2, 1.8, 1.2로 나타나 이 경우에서의 SNR은 14.1, 14.1, 14.2로 비슷한 결과를 보였다(Fig. 7).

5. 94 NEMA PET Phantom에서 시간설정법 적용 시 NECR

시간설정법 적용 시 배후방사능의 농도가 단위 질량당 3.3, 5.5, 7.7, 9.9, 12.1, 16.5 kBq/mL로 증가할수록 scatter fraction 을 제외한 나머지 인자들은 점차 증가함을 보였고, NECR도

카운트고정	3.5 kBq/mL	6.0 kBq/mL	8.6 kBq/mL
Total counts	100,000,078	100,000,052	100,000,326
singles total counts	1,873,855,413	1,793,661,014	1,578,447,215
scatter fraction	0.306	0.332	0.313
random counts	15,914,481	26,221,777	33,716,952
scatter count	30,600,024	33,200,017	31,300,102
acq. Duration	633	352	212
NECR	53,797	69,003	97,810

Fig. 5. NECR using Count-set method on Chest PET Phantom study

<시간고정>	3.5 kBq/mL	6.0 kBq/mL	8.6 kBq/mL
S.D	0.133	0.128	0.108
Mean SUV	1.151	1.123	1.15
SNR	8.65	8.77	10.65

Fig. 6. SNR using Time-set method on Chest PET Phantom study

<카운트고정>	3.5 kBq/mL	6.0 kBq/mL	8.6 kBq/mL
S.D	0.083	0.13	0.081
Mean SUV	1.166	1.84	1.152
SNR	14.05	14.15	14.22

Fig. 7. SNR using Count-set method on Chest PET Phantom study

시간고정	3.3 kBq/mL	5.5 kBq/mL	7.7 kBq/mL	9.9 kBq/mL	12.1 kBq/mL	16.5 kBq/mL
Total counts	15,556,170	27,200,251	37,502,066	48,177,360	61,535,524	87,675,822
singles total counts	228,646,464	386,305,417	519,371,451	650,626,719	804,425,666	1,078,750,728
scatter fraction	0.295	0.303	0.284	0.279	0.283	0.294
random counts	999,911.95	2,854,266	5,159,278	8,096,486	12,376,693	22,257,428
scatter count	4,589,070	8,241,676	10,650,587	13,441,483	17,414,553	25,776,692
acq. Duration	150	150	150	150	150	150
NECR	45,132	70,576	95,331	115,561	134,594	162,195

Fig. 8. SNR using Time-set method on 94 NEMA PET Phantom study

카운트고정	3.3 kBq/mL	5.5 kBq/mL	7.7 kBq/mL	9.9 kBq/mL	12.1 kBq/mL	16.5 kBq/mL
Total counts	100,000,020	100,000,116	100,000,201	100,000,087	100,000,065	100,000,353
singles total counts	1,476,078,046	1,427,381,184	1,391,910,518	1,358,304,415	1,314,512,401	1,238,598,241
scatter fraction	0.293	0.302	0.283	0.278	0.284	0.294
random counts	5,958,915.03	9,957,857	13,234,191	16,236,808	19,517,298	24,726,631
scatter count	29,300,006	30,200,035	28,300,057	27,800,024	28,400,018	29,400,104
acq. Duration	1049	587	420	326	254	178
NECR	42,140	67,292	92,148	112,192	130,737	158,663

Fig. 9. SNR using Count-set method on 94 NEMA PET Phantom study



45.1, 70.6, 95.3, 115.6, 134.6, 162.2로 점진적으로 증가하였다 (Fig. 8).

### 6. 94 NEMA PET Phantom에서 계수설정법 적용 시 NECR

계수설정법을 적용한 경우에는 배후방사능 농도가 증가할수록 scatter fraction과 이에 따른 산란선의 양은 크게 변화하지 않았지만 우발동시계수가 점진적으로 증가함을 보였다. NECR은 45.1, 70.6, 95.3, 115.6, 134.6, 162.2로 증가함을 보였다(Fig. 9).

### 7. 94 NEMA PET Phantom에서 시간설정법 적용 시 SNR

시간설정법을 적용한 경우에서 S.D.은 116.3, 91.9, 80.4, 73.6, 67.0, 60.3 이고  $mean_{SUV}$ 는 820.6, 806.8, 850.8, 845.1, 846.9, 844.2이었고, SNR은 7.1, 8.8, 10.6, 11.5, 12.6, 14.0으로 증가함을 보였다(Fig. 10).

### 8. 94 NEMA PET Phantom에서 계수설정법 적용 시 SNR

계수설정법을 사용하여 배후방사능의 농도를 단위 질량당 3.3, 5.5, 7.7, 9.9, 12.1, 16.5 kBq/mL로 증가할수록 S.D.은 53.21, 50.86, 54.55, 54.74, 54.77, 56.60 이고  $mean_{SUV}$ 는 809.02, 809.49, 852.98, 840.20, 847.04, 844.71 이며 그 결과 SNR은 15.21, 15.92, 15.64, 15.35, 15.47, 14.92로 크게 변화하지 않음을 알 수 있다(Fig. 11).

## 고찰 및 결론

PET 검사의 정확도와 영상의 질은 여러 가지 인자에 의해 달라진다. 그 중 중요한 인자 중의 하나인 방사성의약품 주

입량과 획득시간을 들 수 있으며 이 두 인자는 실제 환자검사 시 상황에 맞게 조절하여 적용한다. 영상의 질을 우선하여 보다 많은 양의 방사성의약품을 주입할 경우 환자에게 많은 양의 방사선피폭을 줄 수 있으며 이와 반대로 적은 양의 방사성의약품 주입 후 이를 보상하기 위하여 검사시간을 증가시킬 경우에는 환자에게 큰 부담과 고통을 줄 수도 있다. 이러한 이유에서 PET검사를 위한 방사성의약품의 주입량과 검사시간과의 최적의 조합을 위한 평가가 필요하였다. 우리는 실험의 결과로부터 주입된 방사성의약품의 양을 증가시키거나 검사시간을 늘려주는 것으로 좋은 질의 영상을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. 그러나 단순히 SNR만을 가지고 영상의 질을 평가한다면 검사시간을 늘려주는 것이 반드시 영상의 질을 향상 시켜주지는 않는 것처럼 보일 수 있다. 이에 각 병원마다 장비와 검사 특성에 맞게 방사성의약품 주입량과 검사시간을 고려해야 할 것이다.

본 논문을 통하여 임상에서 환자에게 권고된 방사성의약품의 주입량에 따른 영상의 질 평가와 주입량의 초과와 미달 되었을 때 권고된 주입량과의 영상의 질 차이를 극복하기 위해 사전설정법을 달리하여 실험 결과에 대해 알아보려고 하였다. 이에 Chest PET Phantom과 94 NEMA PET Phantom에 배후방사능의 농도를 단위 질량당 주입하여 실험을 통하여 NECR과 SNR을 구하였다. 먼저 시간설정법과 계수설정법의 NECR은 단위질량당 방사능 농도가 증가할수록 비례하여 증가를 확인 할 수 있었다. 하지만 동일 단위질량당 방사능 농도에서의 시간설정법과 계수설정법의 NECR의 값은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 시간설정법과 계수설정법의 SNR 중 시간설정법의 값은 단위질량당 방사능 농도가 증가할수록 증가함을 알 수 있었다. 그러나 계수설정법의 값에서의 S.D.과  $mean_{SUV}$ 의 불규칙한 결과로 인해 결과 값의 크게 변화가 없음을 알 수 있었다. 이는 일정 계수이상에서는 SNR은 변화가 없음을 알 수 있었다. 이러한 점으로 단순히 SNR만으로 영상의 질 평가를 해서는 적절하지 않다. 또

시간고정	3.3 kBq/mL	5.5 kBq/mL	7.7 kBq/mL	9.9 kBq/mL	12.1 kBq/mL	16.5 kBq/mL
S.D	116.33	91.935	80.41	73.63	67.01	60.3
Mean SUV	820.58	806.83	850.75	845.09	846.87	844.18
SNR	7.05	8.78	10.58	11.48	12.64	14.00

Fig. 10. SNR using Time-set method on 94 NEMA PET Phantom study

카운트고정	3.3 kBq/mL	5.5 kBq/mL	7.7 kBq/mL	9.9 kBq/mL	12.1 kBq/mL	16.5 kBq/mL
S.D	53.21	50.86	54.55	54.74	54.77	56.6
Mean SUV	809.02	809.49	852.98	840.2	847.04	844.71
SNR	15.20	15.92	15.64	15.35	15.47	14.92

Fig. 11. SNR using Count-set method on 94 NEMA PET Phantom study

한 이번 연구의 한계점으로는 모형실험으로만 결과를 얻었으며 임상 데이터 활용이 이뤄지지 못했다. 또한 본 논문에서는 영상의 질을 평가함에 있어 NECR과 SNR을 사용하였으나 다양한 영상 질 평가 항목을 추가하여 실험과 연구가 필요하다.

## 요 약

영상장치를 이용한 검사 시 영상의 질은 검사결과와 밀접하게 연관되어 있으며, 이는 영상획득 조건들과 이에 대한 평가방법으로 인해 달라 질 수 있다. 본 연구에서는 영상획득 시 사전설정법(Pre-set method)차이에 따른 영상의 질을 평가하였다. 장비는 PET/CT Discovery STe16(GE Healthcare, Milwaukee, USA)을 사용하였으며, Chest PET Phantom (실험 1)과 94 NEMA Phantom (실험 2)을 이용하였다. 실험 1의 경우 3.5, 6.0, 8.6 kBq/mL, 실험 2의 경우는 3.3, 5.5, 7.7, 9.9, 12.1, 16.5 kBq/mL의 <sup>18</sup>F-FDG를 채웠고, 열소와 배후방사능과의 방사능 농도는 4:1의 비율을 유지하였다. 각 실험은 CT 투과촬영 후 3D로 2분 30초/프레임으로 시간설정법(Time-set method)과 1억 계수의 계수설정법(Count-set method)을 적용하여 방출촬영 하였다. 영상의 질에 대한 평가는 잡음 등가 계수율(Noise Equivalent Count Rate, NECR)과 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 이용하였다. 실험 1에서 NECR과 SNR은 방사능 농도의 증가에 따라 시간설정법에서 53.7, 66.9, 91.4 과 7.9, 10.0, 11.7로 평가 모두에서 증가함을 보였으나, 계수설정법은 53.8, 69.1, 97.8 과 14.1, 14.7, 14.4로 SNR은 NECR과 다르게 증감현상을 보이지 않았다. 또 다른 모형실험인 실험 2에서도 NECR과 SNR은 방사능 농도가 증가에 따라 시간설정법에서 45.1,

70.6, 95.3 115.6 134.6 162.2 과 7.1, 8.8, 10.6, 11.5, 12.7, 14.0으로 증가함을 보였으나, 계수설정법에서는 42.1 67.3 92.1 112.2 130.7 158.7 과 15.2, 15.9, 15.6, 15.4, 15.5, 14.9로 실험 1에서와 마찬가지로 SNR에서는 증감현상을 보이지 않았다.

사전설정법 변화와 관계없이 단위 질량당 방사능량 증가는 영상의 질도 비례하여 향상된다. 그러나 동일한 단위 질량당 방사능량에서는 영상획득의 시간을 늘려 총계수값을 증가시켜도 NECR에 영향을 주지는 않는다. 이는 NECR을 이용한 영상 질 평가는 영상획득 시 얻은 총 계수 값보다는 단위 시간당의 계수율이 영향을 준다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 실험 모두에서 계수설정법으로 얻은 경우에는 단위 질량당 방사능량의 증가에도 불구하고 거의 비슷한 SNR값을 보이게 된다. 따라서 좋은 질의 영상을 얻기 위해서는 총계수값의 증가보다는 단위질량당 방사능량을 높여야 하며, SNR만을 이용한 영상의 질에 대한 평가는 적절하지 않을 수 있다는 점을 고려하여야 한다.

## REFERENCES

1. 고창순. 핵의학 제3판. 고려의학 2008;81
2. Mark F. Reinking, Medhat M. Osman. Prospective Evaluation of Physiologic Uptake Detected with True Whole-Body <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in Healthy Subjects JNMT 2009;37:31-37]
3. Margaret E. Daube-Witherspoon, PhD; Joel D. Karp, PhD; Michael E. Casey, PhD. PET Performance Measurements Using the NEMA NU 2-2001 Standard JNMT 2002;43:1398-1409
4. Bal Sanghera, Gerry Lowe, David Wellstead. Scan-time Reduction Using Noise-Matched Images in 2- and 3-dimensional Bismuth Germanate PET/CT: Clinical Study in Head and Neck Cancer JNMT 2009; 37:74-82
5. Rzeszotarski MS. The AAPM/RSNA physics tutorial for residents counting statics. Radiographics. 1999;19:765-782