

Original Article ^{18}F -FDG와 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 를 이용한 당일 검사 시 상호 영향에 대한 Phantom 연구

연세의료원 세브란스병원 핵의학과
함준철 · 박민수 · 반영각 · 임한상 · 김재삼

Phantom Study of the Mutual Influences Between ^{18}F -FDG and $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ on the Same Day

Jun Cheol Ham, Min Soo Park, Young Kag Bahn, Han Sang Lim and Jae Sam Kim
Dept. of Nuclear Medicine, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

Purpose	The nuclear medicine examination, there is a difficulty to carry out the inspection of both on the day of residual isotope due to the half-life. In this study, by studying the mutual influence and ^{18}F -FDG of $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$, I would like to explain the matters to be considered in the case of performing the same day.
Materials and Methods	With the NEMA-1994 Phantom, and experiments were performed 3 times. Create a 1: 4 Background ratio HOT and the $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. The first experiment: After underwent SPECT in INFINIA (GE Healthcare, MI, USA), and were injected with ^{18}F -FDG 37 MBq in the Background area, 13 once for 60 minutes under the same conditions was time Scan. Create a 1: 4 Background ratio HOT and the ^{18}F -FDG second is: The Scan in PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA), and 148 MBq after injection $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ the Background area, once for 60 minutes, 6 under the same conditions was time Scan. Create a 1: 4 Background ratio HOT and the ^{18}F -FDG experiments las, increments of 296 MBq and 148 MBq the 1 Bed Scan after $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$, was 1 Bed Scan under the same conditions. Non BKG area and HOT, I was measured comparing the Total Counts and SNR or CNR.
Results	Showed a significant difference in the ratio CNR of enforcement during SPECT ^{18}F -FDG is, ($p>0.05$). The $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ was no significant difference between the SNR ratio of PET / CT at the time of the effective date ($p<0.05$). I got the results $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ that reduce the Total Counts of PET / CT scan.
Conclusion	If you make a PET / CT scan, may affect the test using the $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ up to 12 hours, when it is performed before the $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$, does not affect the SNR and SUV, PET / CT scan I reduced the detection efficiency. The inspection of day, we'd like to recommend a way to complement the detection efficiency to increase the inspection time of PET / CT in move forward the inspection using the $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$.
Key Words	Same Day Examination, SUV, Detection Efficiency

서 론

핵의학 검사는 방사성 동위원소를 추적자로 사용하여 인체에 대한 형태학적인 정보와 아울러 생물학적이고 기능적인 정

보를 얻어, 인체장기와 조직의 기능, 대사 변화를 형태 변화와 동시에 분석하여 진단의학의 발전을 도모하며, 생체 내외에서 질병의 유전자 생화학적 정보를 생체해석에 응용함으로써 분자의학을 지향하고, 질병의 대사 기능 변화를 이용하여 방사성 핵종 치료를 시행하는 독특한 방법이다.¹⁾ 이 때 추적자로 사용되는 방사성 동위원소는 일정한 특성을 갖고 있는데, 그 특성 중 반감기에 의해 인체 내에 추적자가 잔존 하게 된다. 이렇게 잔존하게 되는 방사성 동위원소는 가까운 시일 내에 연속되어 진행되는 또 다른 핵의학 검사에 영향을 미치게 되어 영상 질의 저하를 가져 올 수 있다. 특히 많이 사용되는 방사성

• Received: September 26, 2014. Accepted: October 21, 2014.
•Corresponding author : Jun Cheol Ham
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul, 120-752, Korea
Tel: +82-2-2228-6064, Fax : +82-2-312-0578
E-mail: hamjuncheol@yuhs.ac



Fig. 1. PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA) were used.



Fig. 2. NEMA 1994 Phantom were used.

동위원소로는 뼈 검사에 사용되는 추적자인 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HDP와 종양 검사에 사용되는 ^{18}F -FDG 등이 있다. 뼈 검사에 사용되는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HDP는 물리적 반감기는 6시간 이지만 유효반감기는 5.1시간이다.²⁾ 종양 검사에 사용되는 ^{18}F -FDG의 75%는 1.83 시간, 19%는 0.26시간, 6%는 1.53시간의 유효 반감기를 갖고 있다.³⁻⁴⁾ 두 가지 이상의 핵의학 검사를 진행하는 경우 반감기의 영향을 적게 받기 위해 일정 시간 간격을 두고 검사를 진행한다.

일반적으로 암 환자의 경우 수술이나 항암 치료가 결정 되면 여러 가지의 검사가 진행 된다. CT나 MRI 등의 영상 검사도 하게 되며, 혈액 검사의 결과를 바탕으로 이상이 있는 경우 최상의 상태를 유지할 수 있도록 여러 약물이 투여되기도 한다. 그렇게 수술이나 항암 치료의 일정이 정해지고 나면 연기를 하는 것이 쉽지 않은 실정이다. 간혹 이런 경우의 환자가 핵의학 검사를 연이어 하게 되는 경우 일정이 촉박하다면 수술이나 항암 치료를 연기하거나, 핵의학 검사 중 한 가지를 포기하지 않고도 당일에 두 가지 검사를 진행 할 수 있다면 유용하리라 사료되어 연구를 진행 했다.

본 논문에서는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HDP를 사용한 뼈 검사를 감마 카메라에서 진행 후 ^{18}F -FDG를 사용한 검사를 진행할 경우의 PET/CT에서의 영향을 알아보고 반대 순서일 경우 감마 카메라에서의 ^{18}F -FDG의 영향을 알아보고자 한다. 각각의 영향은 HOT와 BKG 영역의 비, SNR 및 CNR을 통해 평가 하였다.⁵⁻⁷⁾ 이를 평가 함으로써 당일에 두 가지의 핵의학 검사를 진행할 경우 서로의 검사에 어떤 영향을 미치는지 파악하고 고려되어야 될 사항에 대해 알아보고자 한다.

대상 및 방법

실험은 세 가지 방법으로 진행했다. 첫 번째 실험은

^{18}F -FDG가 감마 카메라에 미치는 영향을 알아보는 실험이었으며, 이 실험은 INFINIA (GE Healthcare, MI, USA)장비를 사용했다. 이 실험은 HOT 영역과 BKG 영역의 비율 그리고 CNR을 측정 하여 평가 했다. 두 번째와 세 번째 실험은 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 이 PET/CT에 미치는 영향을 알아보는 실험이었으며, 이 실험은 PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA)을 사용했다(Fig. 1). 두 번째 실험은 HOT 영역과 BKG 영역의 비율 그리고 SNR을 측정하여 평가했다. 마지막 실험은 이 증가함에 따른 총 카운트의 감소폭을 측정하였으며, 감소폭은 MBq당 총 카운트가 몇 % 감소하는지 산출했다.

1. ^{18}F -FDG가 감마 카메라에 미치는 영향

NEMA 1994 Phantom을 이용하여 HOT 영역에는 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 32 MBq를 주입하고, BKG 영역에는 115 MBq 을 주입하여 4:1 비율을 만든 후 SPECT를 시행했다(Fig. 2). SPECT는 view 마다 30초 씩 총 60 view를 획득했다. 그 후 ^{18}F -FDG를 BKG 영역에 37MBq 주입 후 동일한 방법으로 영상을 획득했다. ^{18}F -FDG주입 후 60 분 간격으로 총 13회 영상을 획득하여 HOT 영역과 BKG 영역에 관심영역을 설정하여 평균 계수를 측정 후 CNR 및 비율을 비교했다.

2. $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 가 PET/CT에 미치는 영향

NEMA 1994 Phantom을 이용하여 HOT 영역에는 ^{18}F -FDG 8.8 MBq를 주입하고, BKG 영역에는 31.8 MBq를 주입하여 4:1 비율을 만든 후 PET/CT를 시행 했다. PET/CT는 Bed 당 2분을 획득 하였으며, 그 후 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 을 BKG 영역에 148 MBq 주입 후 동일한 방법으로 영상을 획득했다. 60분 간격으로 총

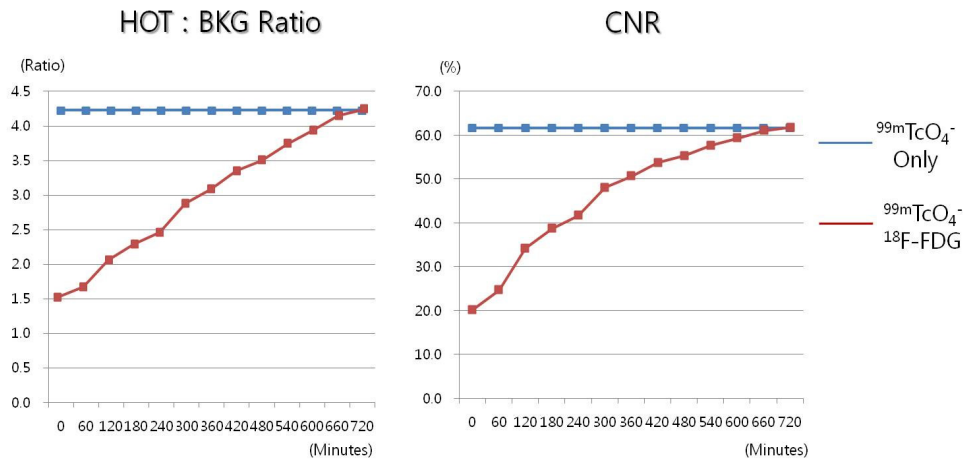


Fig. 3. It shows the influence of ¹⁸F-FDG over time in Gamma Camera.

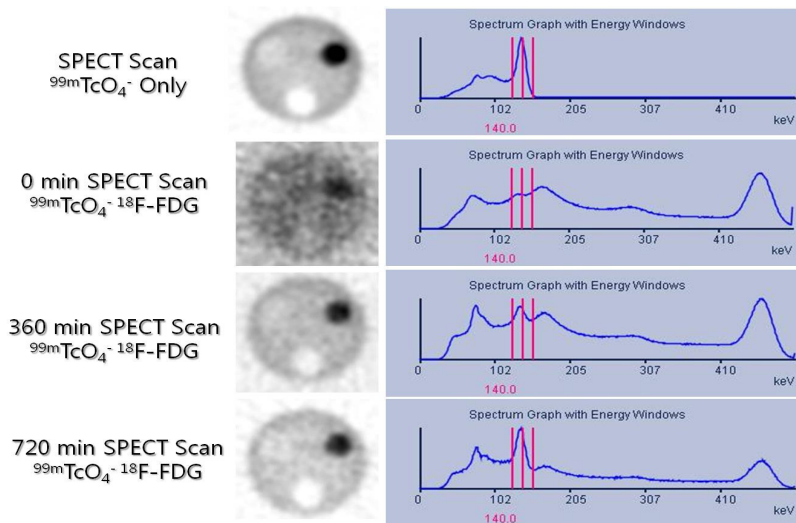


Fig. 4. It shows the energy spectrums and SPECT images by the time of ¹⁸F-FDG injection.

6회 영상을 획득하였으며, HOT 영역과 BKG 영역 중심에 관심영역을 설정하여 SUV_{mean} 을 측정했다. 각각의 표준편차는 관심 영역 설정 시 표시되는 값을 이용하였으며 총 20장의 영상을 측정하여 SNR 및 비율을 비교했다.

3. ^{99m}TcO₄⁻ 방사능량에 따른 PET/CT의 획득 계수 측정

^{99m}TcO₄⁻을 2cc 주사기에 148 MBq 주입하여 총 10개의 주사기를 제작했다. NEMA 1994 Phantom을 이용하여 HOT 영역에는 ¹⁸F-FDG 8.9 MBq를 주입하고, BKG 영역에는 32.1 MBq를 주입하여 4:1 비율을 만든 후 PET/CT를 시행했다. 그 후 제작된 ^{99m}TcO₄⁻주사기를 1개 씩 늘려서 Phantom 주위에 부착 후 총 5회 영상을 획득했다. 다시 ¹⁸F-FDG 만 있는

Phantom의 영상을 획득 했다. 그 다음으로는 ^{99m}TcO₄⁻ 주사기를 2개 씩 늘려서 Phantom 주위에 부착 후 총 5회 영상을 획득 했다. 마지막으로 다시 ¹⁸F-FDG만 있는 Phantom의 영상을 획득했다. 실험 과정에서 반감기에 의해 ¹⁸F-FDG의 방사능량이 줄어들므로 총 세 번의 ¹⁸F-FDG Phantom 영상을 획득하였으며, 그 사이에 ^{99m}TcO₄⁻이 있을 경우의 영상의 총 계수와 비교 했다.

실험결과

1. ¹⁸F-FDG가 감마 카메라에 미치는 영향

HOT 영역과 BKG 영역의 비율은 주입 후 4:1 에서 2:1 이하

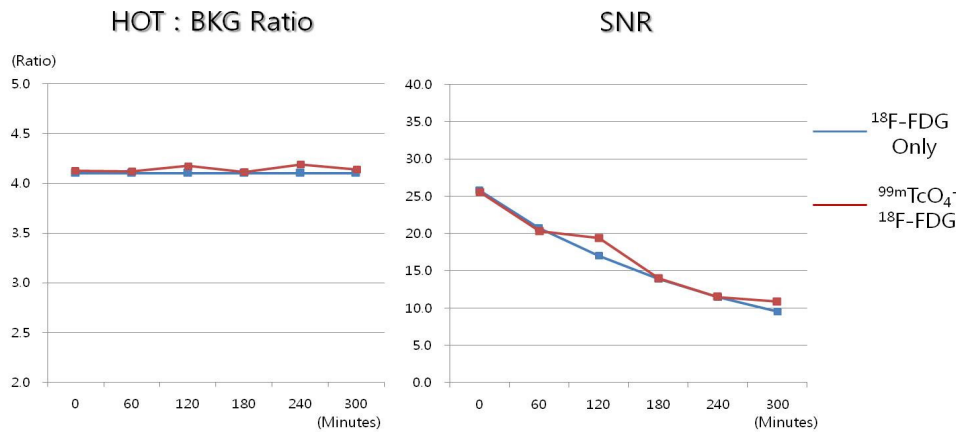


Fig. 5. It shows the influence of $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ over time in PET/CT.

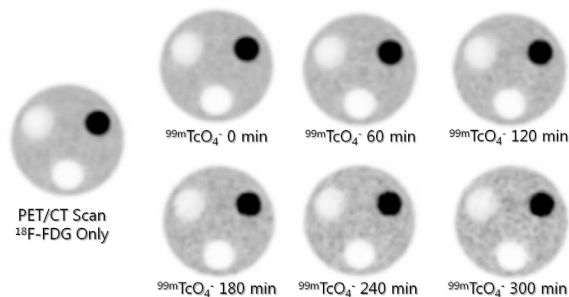


Fig. 6. It shows the PET/CT images by the time of $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ injection.

로 낮아졌으며, CNR 또한 감소된 결과를 보였다. 60분 간격으로 영상을 획득한 결과 비율과 CNR 모두 값이 조금씩 상승하여 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 만 영상을 획득한 값으로 회복하는 경향을 보였다. 12시간 이후에는 비율 및 CNR 모두 정상치를 되찾았다 (Fig. 3).

영상과 에너지 스펙트럼 역시 시간이 지나감에 따라 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 만 있는 Phantom의 영상과 유사해 지기는 하나 12시간 이후에도 ^{18}F -FDG가 잔존하여 SPECT에 영향을 주는 것을 알 수 있다(Fig. 4).

2. $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 가 PET/CT에 미치는 영향

^{18}F -FDG만으로 제작된 4:1 비율의 Phantom과 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 주입 후 Phantom의 영상을 비교 하였을 때 HOTT 영역과 BKG 영역의 비율은 시간이 지남에 따라 큰 차이가 없었으며, SNR의 감소 되는 경향 역시 차이를 보이지 않았다(Fig. 5). 획득한 Phantom의 영상 역시 변화를 보이지 않았다(Fig. 6).

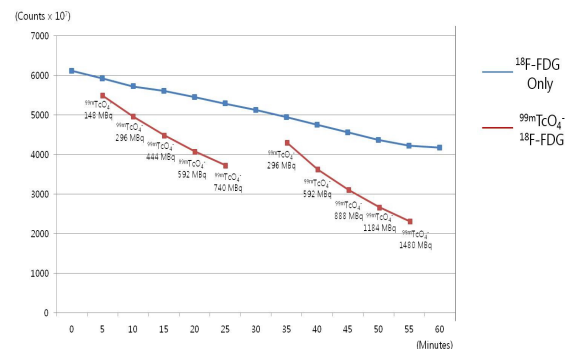


Fig. 7. It shows the decline of the PET / CT total counts with increasing amount of radioactivity $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$.

3. $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 방사능량에 따른 PET/CT의 획득 계수 측정

$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 을 증가 시킬수록 총 카운트는 감소하는 것을 볼 수 있다. $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 에 따른 감소폭을 계산해 본 결과 MBq당 총 카운트가 0.039% 감소한다는 결과를 도출 했다(Fig. 7). 이는 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 의 영향으로 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 의 방사능량이 높아 짐에 따라 Scatter Correction Factor 도 같이 증가한다는 사실을 확인했다. Scatter Correction Factor가 증가하여도 HOTT 영역과 BKG 영역의 비율 및 SNR에는 영향을 미치지 않았으나 총 카운트가 감소되는 결과가 초래됐다.

고 찰

핵의학 검사는 방사성 및 안정된 핵종의 특이한 성질을 이용하여 신체의 해부학적, 생리학적, 생화학적 상태를 진단 및 평가하고, 개봉된 방사성 선원으로 치료하는 의학의 전문 분야이다. 이러한 핵의학 검사에서 주로 사용되는 방사성 동위

원소인 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 와 $^{18}\text{F-FDG}$ 는 서로 다른 성질을 갖고 있으며, 검사의 과정 또한 상이하다. 또한 반감기에 의해 검사 후에도 인체 내에 사용된 방사성 동위원소가 남아있게 되어 서로의 검사에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 경우 어떠한 영향을 미치는지 알고 있고, 그 영향에 대처할 수 있다면 핵의학 검사를 연이어 진행하는 경우 큰 도움이 되리라 사료된다. 하지만 핵의학 검사의 연이은 시행은 환자의 단기간의 피폭을 늘리는 결과를 초래함으로 매우 신중해야 한다. 본 연구에서는 $^{18}\text{F-FDG}$ 가 감마 카메라에 미치는 영향과 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 가 PET/CT에 미치는 영향을 알아봄으로써 핵의학 검사의 연이은 시행 시 주의해야 될 점을 상기시켜 주고자 한다. 또한 핵의학 검사 및 치료에 이용되는 ^{131}I , ^{90}Y 등 다른 방사성 동위원소가 해당 검사 및 치료뿐 아니라 다른 검사에 미치는 변화를 추가적으로 연구한다면 핵의학의 발전에 도움이 되리라 사료된다.

결론

$^{18}\text{F-FDG}$ 는 감마 카메라에 계수 뿐 아니라 비율 및 CNR에도 상당한 영향을 미친다. $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 은 PET/CT Scan 시 비율 및 SNR에는 영향이 없지만 Scatter Correction Factor를 증가시켜 총 획득 계수를 낮추는 결과를 초래한다. 결국 핵의학 검사는 두 가지 이상의 검사를 진행 시 일정 시간 간격을 두고 진행하는 것이 가장 바람직하다. 하지만 응급을 요하는 경우 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 관련 검사를 먼저 시행하는 것이 상호 검사 간의 영향을 적게 받을 것이라 사료된다. 추가적으로 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 관련 검사 시행 후 $^{18}\text{F-FDG}$ 를 이용한 PET/CT 검사를 시행하는 경우 영상 획득 시간을 증가시켜 획득 계수의 감소를 보완하는 방법을 권장하는 바이다.

요약

핵의학 검사는 반감기로 인한 동위원소의 잔류로 당일에 두 가지 검사를 시행하는데 어려움이 있다. 본 연구는 $^{18}\text{F-FDG}$ 와 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 의 상호 영향을 연구함으로써 당일 검사를 진행할 경우 고려될 사항에 대해 알아보려고 한다. NEMA-1994 Phantom을 이용하여 세 번의 실험을 진행했다. 첫 실험은 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 을 HOT과 BKG 비 4:1로 만들어 GE사의 INFANIA 장비로 SPECT를 시행하였고, BKG 영역에 $^{18}\text{F-FDG}$ 37 MBq을 주입 후 동일 조건으로 60분에 1회씩 13회 Scan 했다. 두 번째는 $^{18}\text{F-FDG}$ 를 HOT과 BKG 비 4:1로 만들어 GE사의 PET/CT Discovery 600에서 Scan 하였고, BKG 영역에 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 을 148 MBq 주입 후 동일 조건으로 60분에 1회씩 6회

Scan 했다. 마지막 실험은 $^{18}\text{F-FDG}$ 를 HOT과 BKG 비 4:1로 만들고 1 Bed Scan 후 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 을 148 MBq 및 296 MBq씩 증가시키며 같은 조건으로 1 Bed Scan했다. HOT과 BKG 영역의 비, CNR 혹은 SNR 그리고 총 획득 계수를 측정 후 비교했다. $^{18}\text{F-FDG}$ 는 SPECT 시행 시 비율 및 CNR에 유의한 차이를 보였다($p>0.05$). $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 는 PET/CT 시행 시 비율 및 SNR이 유의한 차이를 보이지 않았다($p<0.05$). $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 이 PET/CT 검사의 Total Counts를 감소시킨다는 결과를 획득했다. PET/CT 검사를 한 경우 12시간 까지도 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 을 이용한 검사에 영향을 미칠 수 있으며, $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 를 먼저 시행한 경우에는 PET/CT 검사에 SUV 및 SNR에 영향은 없지만 검출 효율을 감소시켰다. 당일 검사 시에는 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 을 이용한 검사를 먼저 진행하고 PET/CT의 검사 시간을 늘려 검출 효율을 보완하는 방법을 권장하고자 한다.

중심단어: 당일 검사, 표준 섭취화 계수, 검출 효율

REFERENCES

1. 고창순, 핵의학. 제 3판. 고려의학 2008. P1.
2. Mountford PJ, Coakley AJ. A review of the secretion of radioactivity in human breast milk: data, quantitative analysis and recommendations. *Nucl Med Commun.* 1989;10:10-27.
3. Joensu H, Ahonen A. Imaging of metastases of thyroid carcinoma with fluorine-18 fluorodeoxyglucose. *J Nucl Med* 1987; 28: 910-4.
4. Swanson DP, Chilton HM, Thrall JH, editors. Pharmaceuticals in medical imaging. New York: *Macmillan Publishing Company*; 1990.
5. Todd EP, Lasrs RF: SPECT detectors: the Anger Camera and beyond. *Phys Med Biol* 56(17):R145-R182 (2011).
6. Strigl M, Martinez MJ, Zach C, Ziegler SI, Hahn K. Performance evaluation of the PET sub-systems of two PET/CT imagers according to NEMA standard NU 2-2001. *Z Med Phys* 2006;16:83-91.
7. Lewellen TK. Time-of-flight PET. *Semin Nucl Med* 1998; 28:268-75.