

PET/CT 검사에서 영상의 질을 유지하기 위한 적절한 ^{18}F -FDG 투여량의 평가

삼성서울병원 핵의학과

문아름 · 이 혁 · 광인석 · 최성욱 · 석재동

Evaluation of Reasonable ^{18}F -FDG Injected Dose for Maintaining the Image Quality in 3D WB PET/CT

A Reum Moon, Hyuk Lee, In Suk Kwak, Sung Wook Choi and Jae Dong Suk

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

Purpose: ^{18}F -FDG injected dose to the patient is quite different between the recommended dose from manufacturer and the actual dose applied to each of hospitals. injection of inappropriate ^{18}F -FDG dose may not only increase the exposed dose to patients but also reduce the image quality. we thus evaluated the proper ^{18}F -FDG injected dose to decrease the exposed dose to patients considering the image quality. **Materials And Methods:** NEMA Nu2-1994 phantom was filled with ^{18}F -FDG increasing hot cylinder radioactivity concentration to 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg based on the ratio of 4:1 between the hot cylinder and background activity. after completing the transmission scan using ct, emission scan was acquired in 3D mode for 2 minutes 30 seconds/bed. ROI was set up on hot cylinder and background radioactivity region. after measuring SUV_{max} those regions, then analyzed SNR at the points. clinical experiment has been conducted the object of patients who have come to smc from november 2009 to august 2010, 97 patients without having a hepatic lesions were selected. ROI was set up in the liver and thigh area. after measuring SUV_{max} , the image quality was compared following the injected dose. **Results:** in phantom study, as the injected radioactivity concentration per unit mass was 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg, SUV_{max} was 23.1, 24.1, 24.3, 22.8, 23.6 and SNR was shown 0.48, 0.54, 0.56, 0.55, 0.55. according to increment of the injected dose, SUV_{max} and SNR was increased under 5 MBq/kg but they were decreased over 7 MBq/kg. in case of clinical experiment, as increased the injected radioactivity concentration per unit mass was 4.72, 5.34, 6.16, 7.41, 8.68 MBq/kg, SUV_{max} was 2.68, 2.67, 2.26, 1.88, 1.95 and SNR was shown 0.52, 0.53, 0.46, 0.46, 0.44. if the injected dose exceeds 5 MBq/kg, showed a decrease pattern as phantom study. **Conclusion:** increasing ^{18}F -FDG injected dose considered patient's body weight improve image quality within a certain range. if it exceeds the range, it can be reduced image quality due to random and scatter coincidences. this study indicates that the optimal injected dose was 5 MBq/kg per unit mass the injected radioactivity concentration in 3d wb pet/ct. (Korean J Nucl Med Technol 2011;15(2):36-40)

Key Words : Image quality, signal to noise, standardized uptake value

서 론

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography, PET)은 인체 내 생화학적 변화를 영상화하여 암을 조기에 진단하고 병소의 위치를 정확하게 찾을 수 있는 장점이 있어 질병의 병인 연구, 진단, 예후 판정에 유용하게 이용되고 있다.^{1,2)} PET/CT의 진단적 가치가 높아짐에 따라 관련 기술이 계속 발전하여 영상의 해상도와 질도 향상되고 있다. 이 때 영상

• Received: June 28, 2011. Accepted: July 5, 2011.
• Corresponding author: A Reum Moon
Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center,
#50, Ilwon-Dong, Kangnam-ku, Seoul, 135-710, Korea
Tel: +82-2-3410-6288, Fax: +82-2-3410-2639
E-mail: areum2.moon@samsung.com

의 질을 결정하는 요소에는 PET의 공간분해능, 민감도, 영상 획득방식(2D·3D 모드), 영상 재구성 알고리즘, 방사선원의 투여량 등이 있다. 이 중 영상획득을 위하여 주입되는 ^{18}F -FDG의 투여량은 영상의 질과 직접적인 관련이 있다. 하지만 현재 환자에게 주입되고 있는 ^{18}F -FDG의 투여량은 장비업체에서 제시하는 권고치와 각 병원에서 실제 주입하고 있는 기준치가 서로 다르다. 이렇게 다른 두 기준치의 차이로 인하여 발생하는 부적절한 ^{18}F -FDG의 투여량은 환자의 피폭선량을 증가시킬 뿐 아니라 PET/CT 영상의 질을 감소시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 PET/CT 스캐너의 영상의 질을 유지하면서 환자의 피폭선량도 감소시킬 수 있는 적절한 ^{18}F -FDG 투여량에 대하여 평가하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험장비는 GE Discovery STE 16 PET/CT scanner (GE



Fig. 1. GE Discovery STE 16 PET/CT scanner

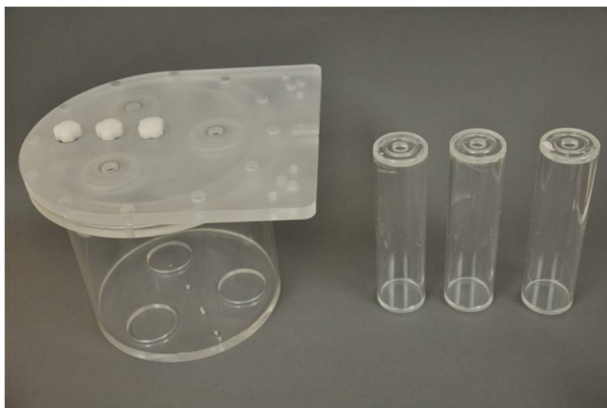


Fig. 2. NEMA NU2-1994 PET phantom

Healthcare, Milwaukee, USA)를 사용하였다(Fig. 1). 1 bed 당 47 slice의 영상을 얻을 수 있으며, 영상의 두께는 3.75 mm이다. 축 방향시야는 bed 당 15.7 cm이며, 16 slice의 나선형 CT를 사용한다.

실험모형은 NEMA NU2-1994 PET 모형을 사용하였다(Fig. 2). 모형 내 삽입구 3개를 모두 삽입하였을 때의 체적은 4,773 mL이며 실린더 1개의 체적은 298 mL이다. 모형의 총 무게는 7 kg이고 높이는 22.8 cm이다.

2. 실험방법

NEMA NU2-1994 모형에서 Air, Teflon, hot cylinder 모두 1개의 삽입구를 삽입하였고 열소(hot cylinder)와 배후방사능의 비를 4:1의 상태로 유지하여 열소의 방사능 농도를 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg으로 증가시키며 ^{18}F -FDG를 주입하였다.

CT를 이용한 투과촬영 후 2분 30초/bed의 방출영상을 3차원(3D) 모드로 획득하였다. 이 때 얻어진 데이터에 적용된 재구성 protocol은 matrix size 128×128, Z axis filter는 standard, post filter 4.29 FWHM (mm), 반복횟수(iterations) 2회와 부분 집합 수(subset) 20회이다.

재구성된 영상 면의 열소와 배후방사능 부위에 각각 관심영역(Region of Interest, ROI)을 설정하고(Fig. 3) 최대 표준 섭취계수(Standard Uptake Value maximum, SUV_{max})를 얻은 후 해당 위치에서의 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 비교 분석하였다.

$$\text{SNR} = \frac{\text{Hotcylinder SUV}_{\text{max}} - \text{Background SUV}_{\text{max}}}{\text{Hotcylinder SUV}_{\text{max}} + \text{Background SUV}_{\text{max}}}$$

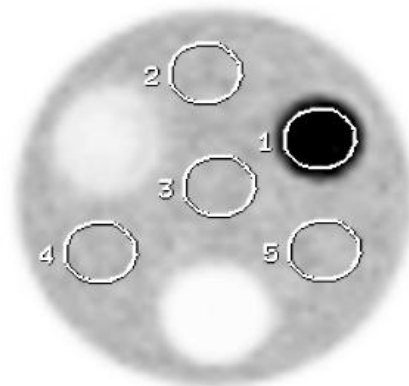


Fig. 3. ROI of hot cylinder and background radioactivity region

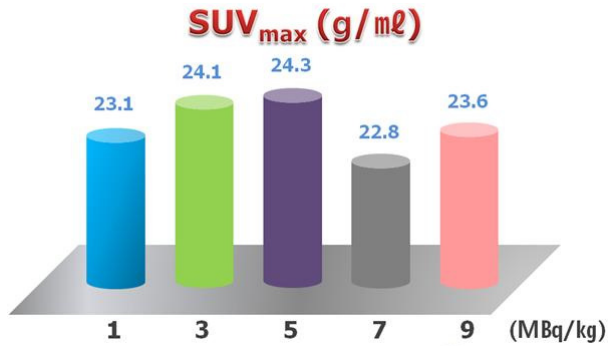


Fig. 4. The graph of SUV_{max} from the results of phantom study

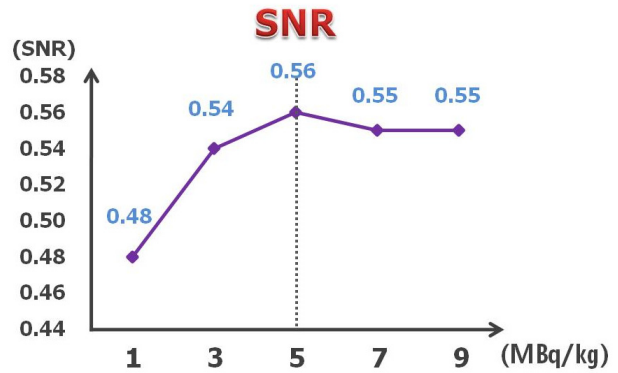


Fig. 5. The graph of SNR from the results of phantom study

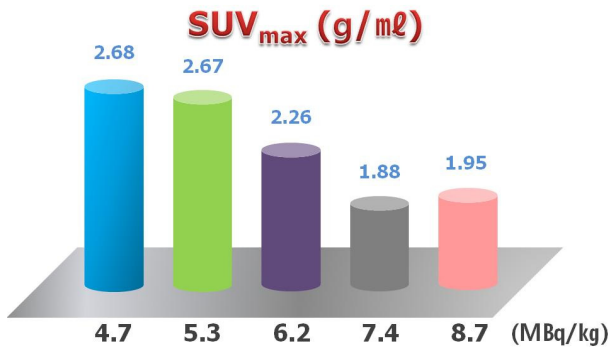


Fig. 6. The graph of SUV_{max} from the results of clinical experiment

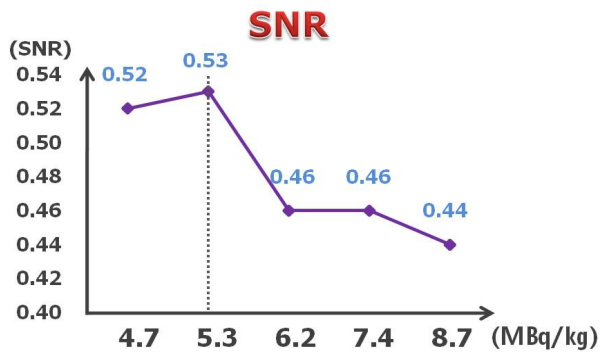


Fig. 7. The graph of SNR from the results of clinical experiment

3. 연구대상 및 방법

임상실험은 2009년 11월부터 2010년 8월까지 본원에서 PET/CT 검사를 시행한 환자 중 간병변이 없는 97명의 환자를 대상으로 하였으며, 환자의 간(liver)과 대퇴부(thigh) 영역에 관심영역(ROI)을 설정하고 최대표준섭취계수(SUV_{max})를 측정하여 ¹⁸F-FDG 투여량에 따른 영상의 차이를 모형실험의 결과와 함께 비교 분석하였다.

결 과

1. 모형실험 결과

단위 질량 당 주입된 방사능 농도는 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg으로 열소에 설정된 ROI의 SUV_{max}는 각각 23.1, 24.1, 24.3, 22.8, 23.6으로 나타났다(Fig. 4). 방사능 농도 5 MBq/kg 이하에서는 ¹⁸F-FDG 투여량의 증가에 따라 SUV_{max}가 증가하지만 방사능 농도 7 MBq/kg 이상에서는 감소하였다.

SNR은 0.48, 0.54, 0.56, 0.55, 0.55로 나타났으며, 5

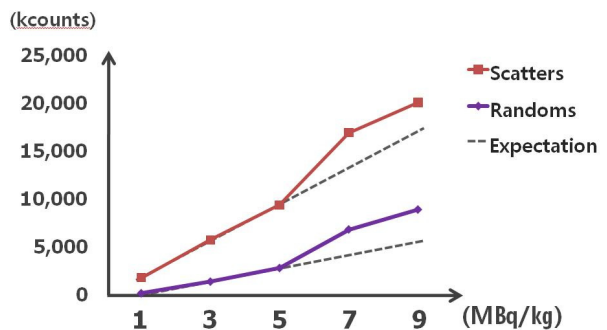


Fig. 8. The graph of random and scatter coincidences

MBq/kg의 투여량을 초과할 경우 SUV_{max}와 마찬가지로 SNR이 감소함을 보였다(Fig. 5).

2. 임상실험 결과

단위 질량 당 주입된 방사능 농도가 4.72, 5.34, 6.16, 7.41, 8.68 MBq/kg으로 증가할수록 SUV_{max}는 2.68, 2.67, 2.26, 1.88, 1.95로 나타났다(Fig. 6).

SNR은 0.52, 0.53, 0.46, 0.46, 0.44로 모형실험에서와 마찬가지로

가지로 5 MBq/kg의 투여량을 초과할 경우 감소양상을 보였다(Fig. 7). 또한 3D 모드에서는 주입되는 ^{18}F -FDG 투여량과 우발동시계수 및 산란계수가 비례하지 않고 증가하기 때문에³⁾ 방사능 농도 5 MBq/kg을 초과하였을 때 예상치보다 크게 증가함을 보였다(Fig. 8).

고 찰

임상실험의 환자 데이터는 4.7-8.7 MBq/kg으로 모형실험의 방사능 농도인 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg만큼 다양하지 않아 낮은 방사능 농도에서 모형실험과 임상실험의 결과를 비교하는데 어려움이 있었다. 또한 모형실험에 사용된 NEMA NU2-1994 PET phantom을 실제 검사 환경과 유사하게 재현하려고 하였으나 환자와 다소 차이가 있었기 때문에 phantom에 계산된 적절한 ^{18}F -FDG 투여량이 환자의 PET 영상을 얻을 경우에도 적용할 수 있는 타당한 값인지 의문점이 존재한다.

결 론

모형 실험의 결과에서 단위 질량 당 주입된 방사능 농도 값들의 SUV_{max} 와 SNR을 서로 비교하였을 때 최적의 투여량은 5 MBq/kg이라는 것을 알 수 있었다. 하지만 이 값은 사용된 장비의 사양과 특성에 따라 차이가 있을 수 있다.⁴⁾

따라서 3D PET/CT 검사 시 scanner의 특성을 고려하여 영상의 질을 유지하면서 환자의 피폭선량을 감소시킬 수 있는 적절한 ^{18}F -FDG 투여량을 결정하여야겠다.

요 약

PET/CT 검사에서 환자에게 주입되는 ^{18}F -FDG 투여량은 장비업체에서 제시하는 권고치와 각 병원에서 적용하는 기준치가 서로 다르다. 기준치의 차이로 인한 부적절한 ^{18}F -FDG 투여량은 환자의 피폭선량을 증가시키고 영상의 질을 감소시킬 수 있다. 본 실험에서는 PET/CT 검사에서 영상의 질을 유지하면서 환자의 피폭선량을 감소시킬 수 있는 적절한 ^{18}F -FDG 투여량에 대한 평가를 하고자 한다.

모형 실험은 NEMA NU2-1994를 이용하여 열소와 배후 방사능비를 4:1로 유지한 상태에서 열소의 방사능 농도를 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg으로 증가시키며 ^{18}F -FDG를 주입하였다. CT를 이용한 투과촬영 후 2분 30초/bed의 방출영상을 3차원

(3D) 모드로 획득하였다. 열소와 배후방사능 부위에 각각 관심영역을 설정하고 최대 표준섭취계수(Standard Uptake Value maximum, SUV_{max})를 얻은 후 해당 위치에서의 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 비교 분석하였다. 임상실험은 2009년 11월부터 2010년 8월까지 내원한 환자를 대상으로 PET/CT 검사를 시행한 환자영상에서 간병변이 없는 97명의 환자를 선별하여 간(liver)과 대퇴부(thigh) 영역에 관심영역을 설정하고 SUV_{max} 를 측정하여 투여량에 따른 영상의 차이를 비교 분석하였다.

모형 실험에서 단위 질량 당 주입된 방사능 농도는 1, 3, 5, 7, 9 MBq/kg으로 SUV_{max} 는 23.1, 24.1, 24.3, 22.8, 23.6, SNR은 0.48, 0.54, 0.56, 0.55, 0.55로 나타났다. 5 MBq/kg 이하의 방사능 농도에서는 투여량의 증가에 따라 SUV_{max} 와 SNR이 증가하지만 7 MBq/kg 이상에서는 감소하였다. 임상 실험의 경우는 단위 질량 당 주입된 방사능 농도가 4.72, 5.34, 6.16, 7.41, 8.68 MBq/kg으로 증가할수록 SUV_{max} 는 2.68, 2.67, 2.26, 1.88, 1.95, SNR이 0.52, 0.53, 0.46, 0.46, 0.44로 5 MBq/kg의 투여량을 초과할 경우 모형 실험에서와 같은 감소양상을 보였다.

환자의 체중을 고려한 ^{18}F -FDG 투여량의 증가는 일정 범위 내에서 영상의 질을 향상시키지만 그 범위를 초과할 경우 우발동시계수 및 산란계수의 증가로 인하여 오히려 영상의 질이 저하된다. 실험 결과로부터 3D PET/CT 검사 시 단위 질량 당 주입된 방사능 농도 5 MBq/kg이 최적의 주입선량이라는 것을 알 수 있다.

REFERENCES

1. 고창순. 핵의학 제3판. 2008;247-48
2. Adam M. Alessio, Paul E. Kinahan, Vivek Manchanda, Victor Ghioni, Lisa Aldape, Marguerite T. Parisi. Weight-Based, Low-Dose Pediatric Whole-Body PETCT Protocols. *J Nucl Med* 2009;50:1570-1578
3. Lartzien C, Comtat C, Kinahan PE, Ferreira N, Bendriem B, Trebossen R. Optimization of Injected Dose Based on Noise Equivalent Count Rates Noise Equivalent Count Rates for 2- and 3-Dimensional Whole-Body PET. *J Nucl Med* 2002;43(9): 1268-1278
4. Kim JS, Lee JS, Lee BI, Lee DS, Chun JK, Lee MC. Performance Characteristics of 3D GSO PET/CT Scanner (Philips GEMINI PET/CT). *Korean J Nucl Med* 2004;38(4):318-324
5. Yoko Masuda, Chisato Kondo, Yuka Matsuo, Masataka Uetani, Kiyodo Kusakabe. Comparison of Imaging Protocols for ^{18}F -FDG PET/CT in Overweight Patients. *J Nucl Med* 2009;50:844-848
6. Bettinardi V, Mancosu P, Danna M, Giovacchini G, Landoni C,

Picchio M, et al. Two-dimensional vs three-dimensional imaging in whole body oncologic PET/CT: a Discovery-STE phantom and patient study. *Q J Nucl Med Mol Imaging* 2007;51(3):214-223

7. Hendrid Everaert, Christian Vanhove, Tony Lahoutte, Kristoff

Muyllé, Vicky Caveliers, Axel Bossuyt, et al. Optimal dose of ^{18}F -FDG required for whole-body PET fusion an LSO PET camera. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:1615-1619