

Original Article PET-CT 검사에서 ^{18}F -FDG 투여량 감소에 대한 고찰

서울대학교병원 핵의학과
김종필 · 김재일 · 이홍재 · 김진의

Reduction of Injection Dose in ^{18}F -FDG Fusion PET

Jong-Pil Kim, Jae-Il Kim, Hong-Jae Lee and Jin-Eui Kim
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose	With the recent rise of social issue regarding radiation exposure, attention to medical radiation use has been placed under a great spotlight. During PET-CT examination, generally about 40% more of ^{18}F -FDG is used than EANM recommendation. While maintaining the diagnostic test result, we hope to find optimal injection dose to minimize the ^{18}F -FDG in patients by utilizing the latest PET-CT scanner which is equipped with the newest technology.
Materials and Methods	During this experiment, the Biograph Truepoint 40 (siemens, USA) installed in 2007 and mCT 64 (siemens, USA) installed in 2011 were used and evaluated NECR (noise-equivalent counting rate) by using a scatter phantom. For the image quality evaluation of each scanner, we injected 3.7, 4.44 and 5.18 MBq/kg of ^{18}F -FDG in NEMA IEC Body Phantom and also evaluated SNR between two scanners by using the data acquired at 60, 70, 80, 90, 100, 110 and 120 sec per bed. For the clinical evaluation, actual data of patients who were injected ^{18}F -FDG 3.7, 4.44, 5.18 MBq/kg were used to compare SNR and draw a final result.
Results	As a result, mCT 64 peak NECR value was $1.65\text{e}+005$, which is 10% higher than Turepoint 40. SNR values using the IEC body phantom was 17.9%, 17.4% and 17.1% higher in ^{18}F -FDG 3.7 MBq/kg, 4.44 MBq/kg and 5.18 MBq/kg. In clinical patients, SNR values of the image mCT 64 was 16.5, which is 25% higher than Turepoint 40 scanner.
Conclusion	To draw a conclusion from the test result of this experiment, the same quality of SNR could be attained even with 10% reduced injection dose, if when the duration is extended by 10 sec/bed. This optimal result was possible due to enhanced equipment. The NECR (one of the equipment's performance assessment criteria for the scanner) increased by 10% and the SNR (one of the image quality assessment criteria) also increased by 17.5%. Therefore, we can expect to reduce the injection dose without deterioration of image quality. In consequence, it will also help to decrease the patient's anxiety of the radiation exposure.
Key Words	Optimal injection dose, NECR, SNR

서론

최근 방사선 노출에 대한 사회적인 이슈와 함께 의료용 방사선의 이용에 대한 환자의 관심도 증가하고 있다. 특히 인체 내 생화학적 변화를 영상화하여 암을 조기에 진단 할 수 있는

양전자방출단층촬영(positron emission tomography, PET)의 방사선노출에 대해 환자들의 우려가 커지고 있는 실정이다. PET-CT 가 우리나라에 도입이 되면서 CT 부분에서는 CAREDOSE 4D, CARE kV, SAFIRE 등과 같은 dose reduction 프로그램으로 인해 상당부분 선량저감을 이루어 내었다. 그럼에도 PET부분에서는 10년 전 이나 지금이나 선량 부분에서는 그 변화가 미미한 수준이다. 현재 많은 수의 병원에서 시행하는 PET-CT 검사의 ^{18}F -FDG는 70 kg 몸무게 기준 370 MBq 를 주입하고 있다. 이 선량은 total count에 대한 true count의 비율을 나타내는 NECR (noise equivalent count rate)

- Received: September 26, 2014. Accepted: October 18, 2014.
- Corresponding author: **Jong-Pil Kim**
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital
28 Yeongeon-dong, Jongno-gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-3937, Fax: +82-2-747-0208
E-mail: rlawhdvlf100@hanmail.net



Fig. 1. Biograph Truepoint 40.



Fig. 2. Biograph mCT64.

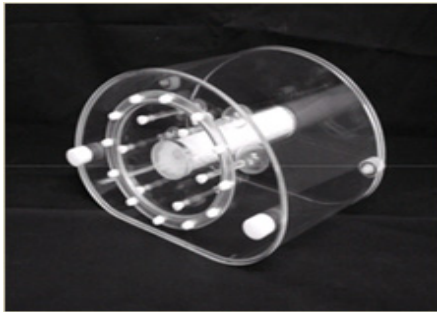


Fig. 3. NEMA IEC body phantom.



Fig. 4. Scatter phantom.

test에 의해 결정이 되었다.¹⁻²⁾ 하지만 이는 EANM (european association of nuclear medicine) 권고기준 대비 40% 를 초과 하는 선량이다.³⁾ 이에 따라 PET-CT 스캐너의 소프트웨어적 하드웨어적 성능이 개선됨으로 인해 환자에게 투여되는 FDG 선량을 감소시켜도 영상의 진단적 가치는 보존 할 수 있다는 것을 알아보하고자 이 실험을 하게 되었다.

실험 재료 및 방법

1. 실험 기기 및 재료

실험에 이용된 장비는 Biograph Truepoint 40 (Fig. 1), Biograph mCT64 (Fig. 2), IEC body phantom (Fig. 3), Scatter phantom (Fig. 4)이며 영상 분석에 이용된 소프트웨어는 Syngo MMWP VE40A를 사용 하였다.

2. 실험방법

1) NECR TEST

원통형 Scatter phantom 준비하고 팬텀의 중앙부에서 5cm 아래 지점의 line에 ¹⁸F-FDG 925 MBq (25 mci) 를 주입하고 15 시간 동안 데이터를 획득하게 하였다. 그 후 얻어진 NECR 그래프를 이용하여 Biograph Truepoint 40 스캐너와 Biograph

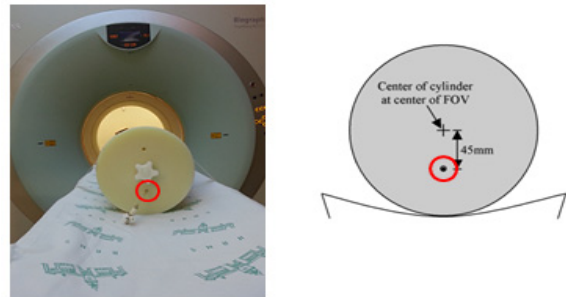


Fig. 5. Scatter phantom test.

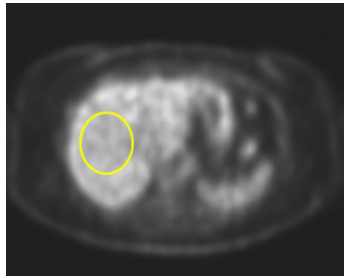
mCT64의 고유한 성능에 대하여 비교해 보았다(Fig. 5).

2) IEC body phantom test

NEMA IEC body phantom 을 이용하여 kg당 3.7 MBq (0.1 mCi), 4.44 MBq (0.12 mCi), 5.18 MBq (0.14 mCi)의 팬텀제작을 위해 BKG에 46.25 MBq (1.25 mCi), 55.5 MBq (1.5 mCi), 64.75 MBq (1.75 mCi) 주입하고 sphere와 1 : 8의 비율이 되게 팬텀을 제작하였다. 이 팬텀을 이용하여 bed 당 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120초의 데이터를 획득한 후 비교 평가 하였다.⁴⁾

3) Clinical test

2014년 2월부터 4월까지 본원 PET-CT 검사를 시행한 환자 50명 (BMI 21.5±1.4 , 나이 54.8±12.1)을 대상으로 임상적 평



$$SNR_{liver} = \frac{Mean_{liver}}{SD_{liver}}$$

Fig. 6. Axial slice with ROI (an axial slice of one of the patient scans showing the ROI used to derive the SNR in the liver).

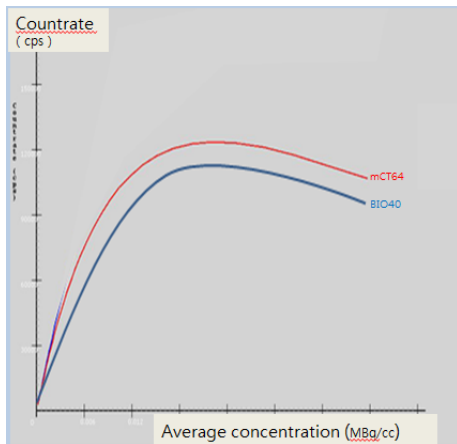


Fig. 7. NEC RATE graph of Biograph mCT64 and Biograph Truepoint40.

가를 위해 보다 이전장비인 Biograph Truepoint 40 스캐너에서는 ¹⁸F-FDG 5.18 MBq/kg 를 주입한 후 120초/bed 로 영상을 획득하였고, 최신장비인 Biograph mCT64 스캐너를 이용하여서는 ¹⁸F-FDG 3.7, 4.44, 5.18 MBq/kg 을 주입한 후 60, 120 초/bed 로 영상을 획득하였다. 이렇게 획득한 데이터를 이용하여 SNR 값을 비교 평가하였다(Fig. 6).⁵⁾

결 과

1. NECR TEST

Biograph mCT64에서 peak NECR 값은 1.24e+005 cps로 Biograph Truepoint 40의 peak NECR 값 1.14e+005 cps에 비해 8.8% 향상된 수치를 나타내었다(Fig. 7).

2. IEC body phantom test

kg당 0.1 mCi 를 주입 한 IEC body phantom에서의 SNR값 은 최신장비인 Biograph mCT64 가 보다 이전 장비인

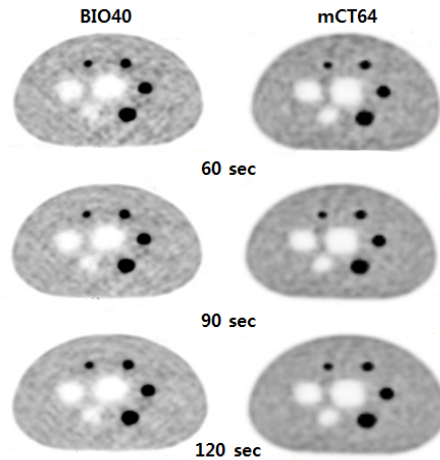


Fig. 8. Phantom image of 0.1 mCi/kg injection dose.

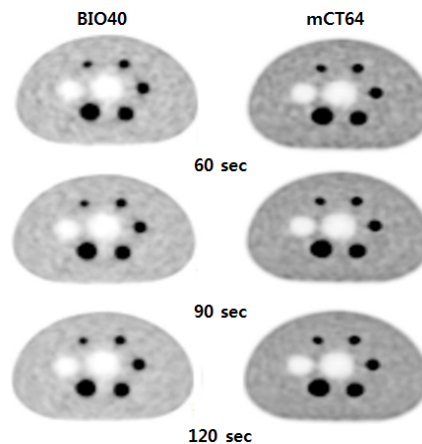


Fig. 9. Phantom image of 0.12 mCi/kg injection dose.

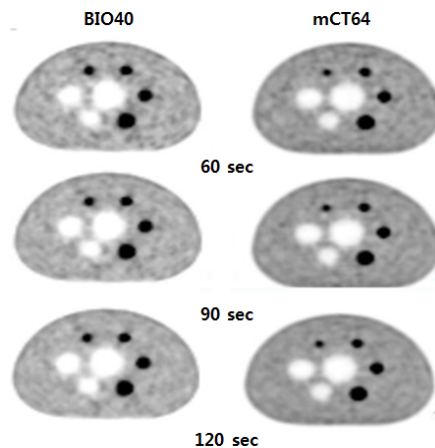


Fig. 10. Phantom image of 0.14 mCi/kg injection dose.

Biograph Truepoint 40 보다 18.2% 향상되었다(Fig. 8, 11).

kg당 0.12 mCi 를 주입 한 IEC body phantom에서의 SNR값 은 최신장비인 Biograph mCT64 가 보다 이전 장비인

Table 1. SNR of Biograph Truepoint 40

	0.1 mCi	0.12 mCi	0.14 mCi
60s	81.7	89.4	94.1
90s	92.0	106.3	110.6
120s	100.4	110.6	119.2

Table 2. SNR of Biograph mCT64

	0.1 mCi	0.12 mCi	0.14 mCi
60s	92.3	107.8	111.6
90s	104.2	119.7	125.0
120s	128.8	131.8	144.9

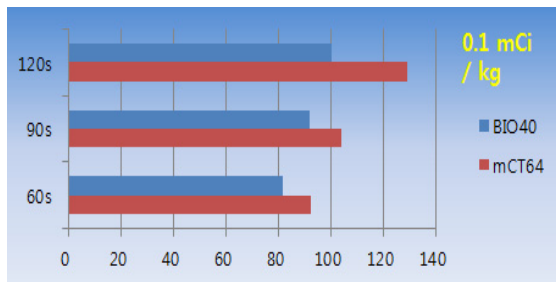


Fig. 11. The SNR result graphs of 0.1 mCi/kg injection dose.

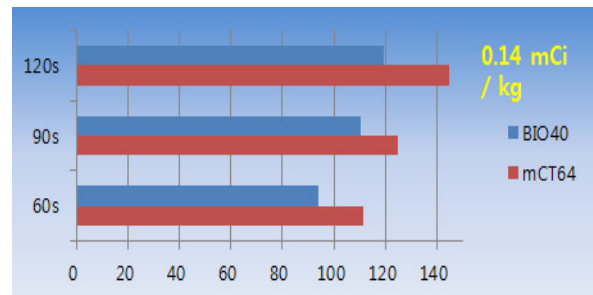


Fig. 13. The SNR result graphs of 0.14 mCi/kg injection dose.

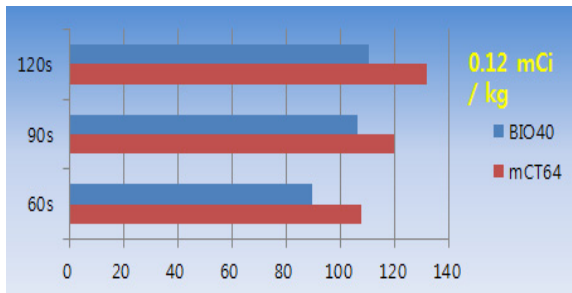


Fig. 12. The SNR result graphs of 0.12 mCi/kg injection dose.

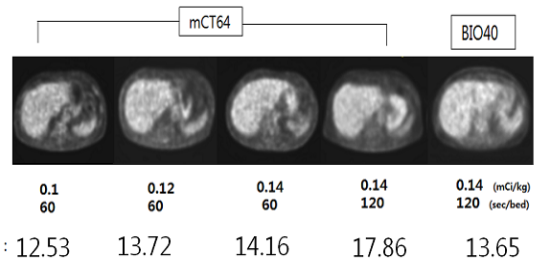


Fig. 14. The result image and SNR of clinical test.

Biograph Truepoint 40 보다 17.4% 향상되었다(Fig. 9, 12).

kg당 0.14 mCi 를 주입 한 IEC body phantom에서의 SNR값 은 최신장비인 Biograph mCT64가 보다 이전 장비인 Biograph Truepoint 40 보다 17.7% 향상되었다(Fig. 10, 13).

3. Clinical test

clinical image 에서는 phantom image 에서와는 달리 몸 안 에서 발생하는 scatter 등이 TOF 기법에 의해 보상이 되어 지 기 때문에 최신장비인 Biograph mCT64가 보다 이전 장비인 Biograph Truepoint 40에 비해 30% 이상 image quality가 향상 되었다(Fig. 14).

결론 및 고찰

최근 언론에서는 의료 방사선 노출에 대한 관심이 증폭되고 있다. 특히 PET과 CT를 통해 방사선에 이증으로 노출이 되는 PET-CT 검사에 대한 우려는 심각할 정도이다. PET-CT가 우리나라에 도입이 되면서 CT 부분에서는 CARE DOSE 4D, CARE KV 등과 같은 dose reduction 프로그램을 통해 상당부 분 선량 저감을 이루어 내었다. 그럼에도 PET 부분에서는 10 년 전이나 지금이나 선량부분에서의 변화는 극히 미미한 수준 이다. 현재 PET-CT 검사의 ¹⁸F-FDG 투여선량은 EANM 권고 기준 대비 40%가 초과되는 선량이다. 이에 따라 본 연구는 최

신 기술이 탑재된 장비의 성능을 파악하여, 진단적 가치는 보존하면서도 환자의 피폭선량은 최소화 시킬 수 있는 적절한 ¹⁸F-FDG의 투여량에 대해 알아보고자 논문을 발표하게 되었다. 지금까지의 여러 실험결과를 통해 장비 성능의 평가 항목 중 하나인 NECR은 10% 증가하였고, 영상 질 평가 항목 중 하나인 SNR은 평균 17.5% 증가함을 알 수 있었다. 더불어 bed당 10초의 시간을 늘리면 주입량을 10% 감소를 하여도 SNR은 유지할 수 있음을 증명하였다. 이를 토대로 신규 도입한 장비의 정확한 성능 테스트를 통해 영상의 질 저하 없이 투여량을 저감하여 환자의 방사선 피폭선량을 줄일 수 있고, 또한 방사선 노출에 대한 환자의 불안감을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

최근 방사선 노출에 대한 사회적인 이슈와 함께 의료용 방사선의 이용에 대한 환자의 관심이 증가하고 있다. 현재 본원에서 시행하는 PET-CT 검사의 ¹⁸F-FDG는 EANM 권고기준 대비 40% 초과하여 투여하고 있다. 따라서 최신 기술이 탑재된 장비의 성능을 파악하여, 진단적 가치를 보존하면서도 환자의 피폭선량을 최소화 시킬 수 있는 적절한 ¹⁸F-FDG의 투여량에 대해 알아보고자 한다. PET-CT 장비로는 2007년 설치된 Biograph Truepoint 40 (siemens, USA) 스캐너와 2011년 설치된 동일회사의 Biograph mCT 64 (siemens, USA)를 사용하였고, 각 장비의 고유성능을 평가하기 위해 scatter phantom을 이용하여 NECR을 평가하였다. 또한 각 장비의 영상에 대한 평가를 위해 NEMA IEC Body Phantom에 ¹⁸F-FDG를 3.7, 4.44, 5.18 MBq/kg을 주입하고, 각각에 대해 bed 당 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120초씩 받은 데이터로 장비간의 SNR을 평가하였으며, 임상적 평가를 위해 ¹⁸F-FDG 3.7, 4.44, 5.18 MBq/kg을 주입한 환자들의 데이터를 이용하여 SNR을 비교 평가하였다.

실험 결과 mCT 64의 peak NECR값은 1.65e+005 cps이고, 이것은 Truepoint 40보다 10 % 높은 수치였다. NEMA IEC body phantom을 이용한 SNR값은 ¹⁸F-FDG 3.7 MBq/kg 주입

한 경우 mCT 64가 검사 시간에 따라 평균 17.9% 높았고, 4.44 MBq/kg 주입한 경우는 평균 17.4% 높았으며, 5.18 MBq/kg 주입한 경우는 평균 17.1% 높았다. 임상 환자 영상의 경우 mCT 64의 SNR값은 16.5이고, 이것은 Truepoint 40 장비보다 25% 높았다. 다시 말해, 최근 장비의 발전으로 인해 장비 성능의 평가 항목 중 하나인 NECR은 10% 증가하였고, 영상 질의 평가 항목 중 하나인 SNR은 평균 17.5% 증가하였다. 더불어 bed당 10초의 시간을 늘리면 주입량을 10% 감소를 하여도 SNR은 유지할 수 있었다. 그러므로 신규 도입한 장비의 정확한 성능 테스트를 통해 영상의 질 저하 없이 투여량을 저감하여 환자의 방사선 피폭선량을 줄일 수 있고, 또한 방사선 노출에 대한 환자의 불안감을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. Tingting C, Guoping C, Steve K, John WC, Eric R and Osama RM. Effects of injected dose, BMI and scanner type on NECR and image noise in PET imaging. *Phys Med Biol.* 2011;56:5275-5284.
2. Hendrik E, Christian V, Tony L, Kristoff M, Vicky C, Axel B, Philippe RF. Optimal dose of ¹⁸F-FDG required for whole-body PET using an LSO PET camera. *J Nucl Med.* 2003;12:1615-1619.
3. Adam M. Alessio, Marla Sammer, Grace S. Phillips, Vivek Manchanda, Brandt C. Mohr, and Marguerite T. Parisi. Evaluation of optimal acquisition duration or injected activity for pediatric ¹⁸F-FDG PET/CT. *J Nucl Med.* 2011;7:1030.
4. Go Akamatsu, Kaori I, Katsuhiko M, Takafumi T, Nobuyoshi O, Shingo B, Koichiro A, and Masayuki S. Improvement in PET/CT image quality with a combination of point-spread function and time-of-flight in relation to reconstruction parameters. *J Nucl Med.* 2012;11:1717-1718.
5. Eleonore H de Groot, Niekky P, Ronald B, Nils RW, Antoon TW, Jorn AD. Optimized dose regimen for whole-body FDG-PET imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2013;3:63.