

Original Article

조영증강 ^{18}F -FDG PET/CT가 이중에너지 X-선 흡수 계측법을 이용한 골밀도 및 체성분 측정에 미치는 영향

원광대학교병원 핵의학과, 원광대학교병원 영상의학과¹

김성수 · 이선도 · 이남주 · 신용철 · 모은희¹ · 이춘호

Effect of Contrast-Enhanced ^{18}F -FDG PET/CT on Measurements of Whole Body Bone Mineral Density and Body Composition by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry

Seong Su Kim, Sun Do Lee, Nam Ju Lee, Yong Cheol Shin, Eun Hee Mo¹ and Chun Ho Lee

Department of Nuclear Medicine, Wonkwang University Hospital, Iksan, Korea

¹Department of Radiology, Wonkwang University Hospital, Iksan, Korea

Purpose : The effect of concomitant use of ^{18}F -FDG and intravenous contrast agent (CA) on dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), was rarely reported. We had investigated these potentially confounding effects.

Materials and Methods : Twenty-two patients had undergone DXA before and immediately after ^{18}F -FDG PET/CT scans. Two DXA and 1 PET/CT scans had performed within one-day. ^{18}F -FDG PET/CT scans had been performed with CA in 17 patients and without CA in 5 patients. Whole body bone mineral content (BMC), whole body bone mineral density (BMD), total fat mass (TFM), and lean body mass (LBM) were measured by DXA scanner before and after the ^{18}F -FDG PET/CT scans. **Results :** BMC, BMD, TFM and LBM had significantly affected by ^{18}F -FDG PET/CT with CA (BMC, +13.7%, from 2061.3±393.7 to 2343.4±373.3; BMD, +9.3%, from 1.07±0.09 to 1.17±0.08; TFM, -34.1%, from 17052.1±4049.9 to 11237.1±2990.3; LBM, +13.6%, from 45834.5±5662.1 to 52094.0±6335.4). However, ^{18}F -FDG PET/CT without CA had no effect on the measurement of DXA (BMC, +2.4%, from 2197.7±391.6 to 2251.5±380.9; BMD, +1.8%, from 1.13±0.09 to 1.15±0.07; TFM, -6.8%, from 14585.6±3455.9 to 13591.3±4351.4; LBM, +2.2%, from 47360.5±8381.8 to 48441.1±8488.1). **Conclusion :** The measurements of DXA are affected by using CA. However, DXA scans might be unaffected by the presence of ^{18}F -FDG administered for PET/CT. (Korean J Nucl Med Technol 2012;16(2):7-11)

Key Words : Contrast Enhancement; Dual-Energy X-Ray Absorptiometry; PET/CT; Bone Mineral Density

서 론

Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)는 에너지가 서로 다른 2 종류의 X선을 인체에 조사한 후 얻어진 X선의 투과율을 이용하여 인체 내 골무기질함량(Bone Mineral Content, BMC), 골밀도(Bone Mineral Density, BMD), 총 지

방질량(Total Fat Mass, TFM), 제지방 체질량(Lean Body Mass, LBM) 등을 측정할 수 있다.¹⁾ DXA는 골다공증을 진단하는데 가장 널리 사용되고 있고 소아 또는 종양 환자에서 생존율과 관련된 영양 상태를 반영하는 연구에도 사용되고 있다.²⁾ 최근 많은 핵의학 검사가 시행되고 있고 특히 종양 환자에서 ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG)를 이용하는 양전자 방출 영상(positron emission tomography, PET) 검사는 진단, 병기 설정 및 치료반응 평가에 널리 사용되고 있다.

최근 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 을 이용한 핵의학 검사와 DXA 검사 간의 상호 영향에 대한 연구가 보고되었다.³⁻⁴⁾ 140 keV를 방출하는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 처럼 PET/CT 검사에 사용되는 FDG는 511 keV의 소

• Received: August 31, 2012. Accepted: September 26, 2012.

• Corresponding author : Chun Ho Lee

Department of Nuclear Medicine, Wonkwang University Hospital
544-2 Shinyong-dong, Iksan, 570-771, Korea
Tel: +82-63-859-1836, Fax: +82-63-852-1310
E-mail: chlee1667@hanmail.net

멸 방사선을 방출하므로 FDG는 DXA 검사에 영향을 미칠 가능성이 있으며 최근에는 일부 PET/CT 검사 중 CT 조영제(contrast media)를 정맥 주사하고 촬영하는 조영증강(contrast-enhancement) ¹⁸F-FDG PET/CT검사가 시행되고 있는 실정이다. CT 조영제는 인체 조직보다 상대적으로 고 원자번호로써 X-선의 투과력을 감소시켜 영상의 대조도를 향상 시키는 물질이므로 이 또한 DXA 검사에 영향을 미칠 수 있다.⁵⁾ 따라서 본 연구에서는 인체 내 투여된 FDG와 CT 조영제가 DXA 검사 결과에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 대상 환자

2011년 12월부터 2012년 3월까지 본원에서 PET/CT를 시행한 환자 중 실험에 동의한 환자 총 22명을 대상으로 하였다. 모든 환자는 알려진 골질환 또는 영양 불량 상태는 없었다. 대상 환자의 나이는 평균 55.1세였고, 남성 9명, 여성 13명이었다. 환자의 평균 체중은 63.3 kg이었고, 평균 체질량지수(body mass index, BMI)는 24.1이었다. 총 22명 환자 중 17명에서 CT 조영제를 사용한 조영 증강 ¹⁸F-FDG PET/CT를 시행하였고, 5명에서 CT 조영제 없이 ¹⁸F-FDG PET/CT를 시행하였다.

2. 영상 획득

모든 환자에서 PET/CT 촬영 직전에 DXA 스캐너(Delphi A, Hologic, USA)를 이용하여 DXA 검사를 시행하였다. 그 후 환자에게 kg 당 7.4 MBq의 FDG를 정맥 주사하고 PET/CT (Biograph 16, Siemens Medical Systems, Germany)를 실시하였다. 조영 증강 PET/CT를 촬영하는 환자에서는 370 mg/ml 농도의 정맥 주사용 CT 조영제(pamiray, 동국제약)를 2 ml/s 속도로 80~140 ml 주사하여 검사를 시행하였다. PET/CT 검사가 종료 되고 모든 환자에서 DXA 검사를 전과 같은 방법으로 반복 시행하였다(Fig. 1).

3. 영상분석

각 집단의 PET/CT 전, 후 DXA 검사에서 얻어진 골밀도 및 체성분 수치, 즉 whole body bone mineral content (WB-BMC), whole body bone mineral density (WB-BMD), TFM 그리고 LBM을 측정하여 변화율을 산출하였다.

$$\text{변화율 (\%)} = \frac{\text{PET/CT 전 평균 측정치} - \text{PET/CT 후 평균 측정치}}{\text{PET/CT 전 평균 측정치}} \times 100$$

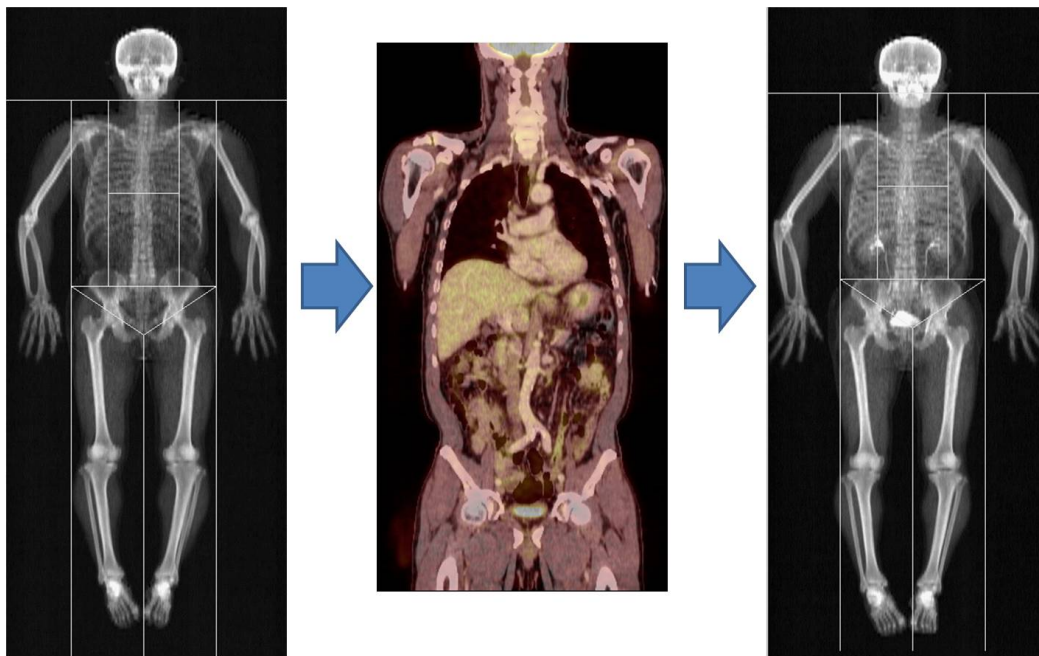


Fig. 1. Two DXA and 1 PET/CT scans had performed in all patients within one-day.

4. 통계분석

연속 변수는 가능한 경우 평균±표준편차로 표기하였다. 변수들은 기술 통계를 사용하여 분석하였고, 이분 변수 분석에는 Chi-square 검증을 사용하였다. 연속 변수의 분석에는 비모수적인 방법은 Mann-Whitney U 검증을, 모수적인 방법으로는 Independent-Samples T 검증을 사용하였다. 검증 후 $p < 0.05$ 인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

CT 조영제를 사용하지 않은 ¹⁸F-FDG PET/CT를 시행한 집단의 골밀도 및 체성분 측정치는 PET/CT 검사 전 WB-BMC, 2197.7±391.6; WB-BMD, 1.13±0.09; TFM, 14585.6±3455.9; LBM, 47360.5±8381.8였고 PET/CT 검사 후 WB-BMC, 2251.5±380.9; WB-BMD, 1.15±0.07; TFM, 13591.3±4351.4; LBM, 48441.1±8488.1였다. PET/CT 전, 후의 골밀도 및 체성분의 변화율은 WB-BMC, +2.4%; WB-BMD, +1.8%; TFM, -6.8%; LBM, +2.2%였고 각 항목의 변화율은 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 1).

CT 조영제를 사용하고 ¹⁸F-FDG PET/CT를 시행한 집단의 골밀도 및 체성분 측정치는 PET/CT 검사 전 WB-BMC, 2061.3±393.7; WB-BMD, 1.07±0.09; TFM, 17052.1±4049.9; LBM, 45834.5±5662.1였고 PET/CT 검사 후 WB-BMC, 2343.4±373.3; WB-BMD, 1.17±0.08; TFM, 11237.1±2990.3; LBM, 52094.0±6335.4였다. PET/CT 전, 후의 골밀도 및 체성

분의 변화율은 WB-BMC, +13.7%; WB-BMD, +9.3%; TFM, -34.1%; LBM, +13.6%였고 이 변화는 모두 통계적으로 유의하였다(Table 2).

고 찰

인체의 성분은 지방, 수분, 단백질, 당원(glycogen), 골무기질, 비골 무기질(non-bone mineral)로 구성된다. 이 중 지방, 수분, 단백질, 당원, 비골 무기질을 합하여 연조직(soft tissue)이라 한다. 연조직 중 지방을 제외한 나머지 성분을 제지방 연조직(lean soft tissue)이라 하며 그 질량을 LBM이라 한다.⁶⁾ DXA는 이러한 체성분 중 지방, 제지방 연조직 그리고 골무기질의 측정에 이용된다. R-Value는 인체를 통과한 DXA에서 조사된 X-선 중 고 에너지 X-선의 질량감약계수(mass attenuation coefficient)에 대한 저 에너지 X-선의 질량감약계수의 비로 정의된다. 체성분 측정 시 DXA의 연산 프로그램은 인체 내 연조직의 R-Value가 이용되며 연조직의 R-Value(R_{st})는 다음 수식으로 정의된다.⁷⁾

$$R_{st} = \frac{\ln(I_{oL}/I_{tL})}{\ln(I_{oH}/I_{tH})}$$

I_{oL} 와 I_{oH} 는 저, 고 에너지의 세기이며 I_{tL} , I_{tH} 은 투과물질을 통과하여 감약된 후 detector에 검출되는 저, 고 에너지 X-선의 세기이다. 인체 내 투여된 CT 조영제로 인하여 X-선의 감약이 증가하게 되는데 이때 고 에너지 X-선보다 저 에너지 X-선에서 감약이 더 많이 증가되어 물질 투과 후 X-선은 고 에너지 X-선보다 저 에너지 X-선의 세기가 CT 조영제 투여

Table 1. F-18 FDG PET/CT without contrast-enhancement had no effect on the measurement of DXA

	WB-BMC	WB-BMD	TFM	LBM
Before FDG PET/CT scan	2197.7±391.6	1.13±0.09	14585.6±3455.9	47360.5±8381.8
After FDG PET/CT scan	2251.5±380.9	1.15±0.07	13591.3±4351.4	48441.1±8488.1
Difference	+2.4%	+1.8%	-6.8%	+2.2%

WB-BMC; whole-body bone mineral content, WB-BMD; whole-body bone mineral density, TFM; total fat mass, LBM; lean body mass.

Table 2. F-18 FDG PET/CT with contrast-enhancement had significant effect on the measurement of DXA

	WB-BMC	WB-BMD	TFM	LBM
Before FDG PET/CT scan	2061.3±393.7	1.07±0.09	17052.1±4049.9	45834.5±5662.1
After FDG PET/CT scan	2343.4±373.3	1.17±0.08	11237.1±2990.3	52094.0±6335.4
Difference	+13.7%*	+9.3%*	- 34.1%*	+13.6%*

*Statistically significant ($p < 0.05$), WB-BMC; whole-body bone mineral content, WB-BMD; whole-body bone mineral density, TFM; total fat mass, LBM; lean body mass.

전보다 상대적으로 더 많이 감소하게 되며 이로 인하여 R-Value가 증가하게 된다.⁸⁾ 연조직의 R-Value는 조직의 지방 함유량에 따라 직선적으로 결정된다. 제지방 연조직의 R-Value는 1.48, 지방의 R-Value는 1.29로써 연조직 중 지방의 함유량이 많으면 R-Value는 증가하고 지방의 함유량이 적으면 R-Value는 감소하게 된다. PET/CT검사 중 CT 조영제의 인체 내 투여 이후 시행한 DXA 검사에서 CT 조영제 투여로 인하여 연조직의 R-Value를 증가시키게 되어 연산 프로그램의 오류로 지방은 과대평가 되고 제지방 연조직은 과소평가 된다. 마찬가지로 골무기질의 측정도 골 주위로 CT 조영제가 포함된 연조직으로 둘러싸여 있기 때문에 X-선의 감약이 증가되어 CT 조영제 투여 전보다 투여 후 골무기질이 과대평가 되어 체성분 측정의 오류를 유발하게 된다.

DXA 검사 시 환자의 위치에 따라 체적의 변화가 일어날 수도 있다. 이는 체성분 측정 오류를 유발할 수 있게 되는데 이를 보완하기 위해 두 번의 DXA 시 동일한 술자가 최대한 동일한 포지션이 되도록 환자를 위치시켜 검사를 진행하였다.

본 연구 시 환자의 동의하에 실험을 진행하여야 하므로 충분한 모집단 충족에 어려움이 있었다. 특히 조영 증강을 하지 않고 FDG만 투여하고 PET/CT를 시행한 집단이 5명으로 충분하지 못하여 실험 결과의 신뢰도가 저하되었다는 부분이 제한점으로 남아 더 많은 환자를 대상으로 하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 통계적으로 유의한 변화는 아니지만 FDG만 투여한 집단의 골밀도 및 체성분의 변화 양상이 CT 조영제를 투여한 집단의 변화와 유사하여 이 부분에 대하여 집중적인 연구가 필요하겠다.

결 론

본 연구는 DXA를 시행함에 있어서 PET/CT 검사가 DXA 결과에 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. PET/CT 중 DXA에 영향을 미칠 수 있는 물질로는 방사성의약품인 FDG와 Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT에서 물질에서의 X-선의 투과력을 감소시켜 영상의 대조도를 향상시키기 위해 사용되는 CT 조영제가 있다. Non-Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT에서 FDG만 투여된 후 시행한 DXA의 골밀도와 체성분 측정치는 FDG 투여 전보다 투여 후 소폭의 변화가 확인되었지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. FDG 투여와 CT 조영제를 사용하여 검사한 Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT후 DXA 측정치의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 확인하였다. 본 연구를 통하여 PET/CT검사 이후 DXA 시행은 Non-Contrast Enhancement

¹⁸F-FDG PET/CT후에는 검사가 가능할 것이라 생각되어지나 Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT시행 후 DXA 검사는 신뢰도가 감소할 것으로 사료된다.

요 약

PET/CT에 사용되는 방사성의약품 FDG와 CT 조영제가 DXA를 이용하여 측정하는 BMC, BMD, TFM, LBM 등의 결과에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 2011년 12월부터 2012년 3월까지 본원 PET/CT를 시행한 환자 중 본 연구에 참여를 동의한 환자 총 22명을 대상으로 하였다. 실험은 두 집단으로 나누어 실험을 진행하였는데 첫 번째 집단은 17명으로 PET/CT 용 방사성의약품인 FDG 정맥 주사 전에 WB DXA를 시행한 다음 FDG 정맥주사 1시간 후 CT 조영제 사용 없이 PET/CT (Non-Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT)시행 후 즉시 다시 WB DXA를 진행하였다. 두 번째 집단은 총 5명으로 첫 번째 집단과 마찬가지로 FDG 정맥 주사 전 WB DXA를 시행한 다음 FDG 정맥 주사 1시간 후 CT 조영제 사용하여 PET/CT (Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT)시행 후 즉시 다시 WB DXA 진행하였다. 결과는 PET/CT 전·후 DXA에서 WB-BMC, WB-BMD, TFM 그리고 LBM 등을 측정하였고 각 항목의 변화율을 산출하여 비교하였다. Non-Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT 전·후의 골밀도 및 체성분의 변화율은 WB-BMC, +2.4%; WB-BMD, +1.8%; TFM, -6.8%; LBM, +2.2%였고 각 항목의 변화는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT 전·후의 변화율은 WB-BMC, +13.7%; WB-BMD, +9.3%; TFM, -34.1%; LBM, +13.6%였고 Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT 전과 후의 골밀도 및 체성분 측정치의 변화는 통계적으로 유의하였다. 본 연구에서 Non-Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT 후에는 DXA 시행은 결과에 영향이 없어 가능할 것이라 생각되어지나 Contrast Enhancement ¹⁸F-FDG PET/CT검사 후에 시행한 DXA 검사의 결과는 신뢰도가 감소될 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Lukaski HC. Soft tissue composition and bone mineral status: evaluation by dual-energy X-ray absorptiometry. *The Journal of nutrition*. 1993;123(2 Suppl):438-43.
2. Sala A, Pencharz P, Barr RD. Children, cancer, and nutrition-A dynamic triangle in review. *Cancer*. 2004;100(4):677-87. doi:

- 10.1002./cncr.11833.
3. Chan PS, Binkley NC, Lalande BM, Young S, Shaker JL. Artifactual reduction in bone density as a result of technetium-99m MDP for bone scanning: report of two cases. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2004;7(4):457-8.
 4. Rosenthal L. Estimation of the effect of a preinjection of Tc-99m MDP on lumbar spine bone mineral density determinations. *Clinical nuclear medicine*. 1992;17(3):195-7.
 5. Sala A, Webber C, Halton J, Morrison J, Beaumont L, Zietak A, et al. Effect of diagnostic radioisotopes and radiographic contrast media on measurements of lumbar spine bone mineral density and body composition by dual-energy x-ray absorptiometry. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2006;9(1):91-6. doi:10.1016/j.jocd.2005.10.003.
 6. Lagos CM. The theory of thinking and the capacity to mentalize: a comparison of Fonagy's and Bion's models. *The Spanish journal of psychology*. 2007;10(1):189-98.
 7. Khan AA, Bachrach L, Brown JP, Hanley DA, Josse RG, Kendler DL, et al. Standards and guidelines for performing central dual-energy x-ray absorptiometry in premenopausal women, men, and children. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2004;7(1):51-64.
 8. Khan AA, Brown J, Faulkner K, Kendler D, Lentle B, Leslie W, et al. Standards and guidelines for performing central dual X-ray densitometry from the Canadian Panel of International Society for Clinical Densitometry. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2002;5(4):435-45.