

Original Article

PET/CT 검사에서 추가 검사 시 수분섭취에 따른 ^{18}F -FDG의 신장 섭취 감소에 대한 고찰

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

이이랑 · 김상규 · 함준철 · 남궁혁 · 임한상 · 김재삼

A Study on the Reduction of Kidney Uptake of ^{18}F -FDG due to the Water Intake at the Time of Additional Examination in the PET/CT scan

Yi Lang Lee, Sang Gyu Kim, Jun Chul Ham, Hyuk Nam-Koong, Han Sang Lim and Jae Sam Kim

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

Purpose By ingestion of ^{18}F -FDG of kidney of PET/CT during the inspection, if additional examination is required, depending on whether you want to water intake, we want to confirm a change in the rate of decrease of ^{18}F -FDG of the kidney.

Materials and Methods The 80 patients without kidney disease were performed PET/CT examination. Device was analyzed after setting the kidney to a three-dimensional region of interest. In patients require additional examination, and inspection after 30 minutes, a PET/CT torso examination after the water of the 500 cc ingested at a time. After the addition of both water intake group and no hydration group of kidney of SUV, it was compared with PET/CT torso scan.

Results High and low of the kidney SUV did not show a significant difference in the rate of decrease. Reduction rates of background (BKG) of additional examination was 2.8% and reduction rates of SUV was 49.7% (Hydration) : -6.8% (No hydration), so did show a significant difference. In the image blind test, the average point score of hydration and no hydration was 34.25 : 17.25.

Conclusion An undercurrent of ^{18}F -FDG in the kidney at the time of torso examination, it was confirmed that the reduction rate after the addition of water intake is high. It is considered that can be expected to improve the quality of an image due to a decrease in elongation through the kidneys examination with additional fluid intake as needed intake.

Key Words Renal uptake, Excretion rate, SUV, Glomerular filtration rate

서 론

양전자 방출 단층 영상(Positron Emission Computed Tomography/Computed Tomography, PET/CT)는 포도당 유

사체인 ^{18}F -FDG (18F-FluorodeoxyGlucose) 를 이용하여 다양한 종양 진단, 병기 설정 및 치료에 대한 평가에 널리 사용되고 있다.^{1,2)} 하지만 FDG의 대부분이 비뇨기계를 통해 배설되기 때문에 신장에 저류될 경우 신장과 인접한 장기들의 방사능 평가를 저하하고 판독 성능을 떨어뜨리는 문제점을 갖고 있다. PET-CT 검사에서 ^{18}F -FDG의 신장 배설을 촉진하는 것은 비뇨기계 이외의 장기의 진단뿐만 아니라 내부피폭 감소에서도 매우 중요한 요소이다. 신장의 ^{18}F -FDG 감소에 대한 여러 가지 방법들이 소개되어 왔고, 이노제 사용에 관한 연구 또한 활발히 진행되어왔다. 하지만, 이노제를 이용한 신장 배설의

•Received: March 18, 2016 Accepted: April 15, 2016

•Corresponding Author: Yi Lang Lee

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System

50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea

Tel: +82-2-2228-4860, Fax: +82-2-2227-7062

E-mail: yl.lee@toshiba-medical.co.kr

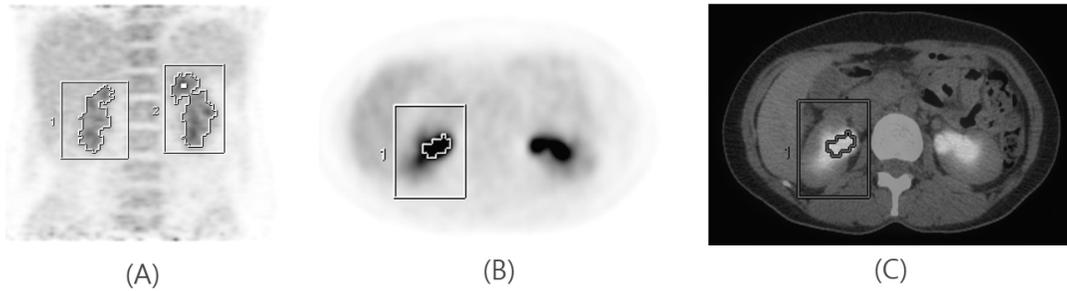


Fig. 1. VOI of MIP image of PET/CT (A), VOI of Axial image of PET-CT (B), VOI of Axial image of PET-CT Fusion (C).

경우에는 환자에 따라 사용에 제한이 있고, 부작용을 동반할 수 있으므로 사용에 어려운 점이 많을 뿐만 아니라, 필수적으로 사용할 필요는 없다고 나와 있다.³⁾ 본 연구에서는 환자에게 적용할 때에 있어 제한점이 적은 물을 이용하여 신장의 섭취를 감소시키는 방법에 대한 고찰로써, 신장 ¹⁸F-FDG의 과도한 섭취로 인해 추가 검사가 필요한 경우 수분 섭취 여부에 따라서 신장의 ¹⁸F-FDG의 감소율 변화를 확인하고, 수분 섭취에 의한 신장 배설 촉진이 가져다주는 효과에 대한 영상 비교평가를 하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 대상 환자

대상 환자는 2014년 11월부터 2015년 9월까지 세브란스병원에 내원하여 ¹⁸F-FDG를 이용한 PET/CT검사를 시행한 환자들로서 최대강도투영(Maximum Intensity Projection, MIP) 영상에서 ¹⁸F-FDG의 신장 저류로 의심되는 환자들 중 신장 표준화섭취계수 최대값(The Maximum Standardized Uptake Value, SUVmax)가 10이상인 환자를 대상으로 신장에 질환이 없고 신장 기능이 정상인 환자 80명을 대상으로 진행하였다. 신장 질환의 유무는 크레아티닌(Creatinine) 수치가 여성 0.49~0.91 mg/dL, 남성 0.68~1.19 mg/dL, 혈액요소질소(Blood urea nitrogen, BUN) 수치가 여성 0.73~20.5 mg/dL, 남성 8.5~22 mg/dL, 사구체여과율(Glomerular Filtration Rate, GFR) 수치가 60 ml/min/1.73m²이상일 때 같은 시기의 CT, MRI와 초음파의 소견을 참고로 기능이 정상이라고 간주하였다.

2. 검사 방법

환자는 ¹⁸F-FDG를 이용한 PET-CT 검사 전 최소 8시간 이상 금식하였다. 환자의 몸무게 1 kg당 5.18 MBq의 FDG를 정

맥 주입하고, 주사 후 약 한 시간 동안 휴식을 취한 후 DISCOVERY 600 (General Electronics Healthcare, GE, USA) 장비를 이용하여 Torso 영상을 획득하였다. Torso 검사는 Bed 당 2분으로 6~8 bed 영상을 획득하였고, 추가 검사 시는 부수적 피폭을 줄이기 위해서 신장을 중심으로 Bed 당 2분으로 2~3 bed 영상을 획득하였다. 영상의 재구성 방법은 VUE Point HD를 이용하였고, Iteration 2회, Subsets 16회로 재구성하였다. CT는 120 kVp, 10 mA, 16 mm slice Thickness로 촬영하였고, 조영제는 사용하지 않았다. Torso 검사를 마친 환자들은 두 집단으로 구분하였고, 집단의 인원은 각 40명씩 구성하였다. Torso 검사가 끝난 후 수분 섭취 없이 30분 동안 휴식만 취한 집단과 30분 전 물 500 cc를 한 번에 섭취한 후 휴식을 취한 집단으로 나뉘었다. Torso 검사가 종료된 후 각 집단에 맞는 처치를 받은 후 추가 검사를 시행하였다.

3. 영상 분석

영상분석방법은 SUV 측정과 Blind test, 두 가지로 실시하였다.

첫 번째로 SUV는 신장의 배설 정도를 평가하기 위한 양쪽 신장의 SUVmax (Fig. 1), 와 시간 흐름에 따른 자연감소율을 고려하기 위한 Background (BKG) 인 근육과 지방의 SUVmax를 입체관심영역(Volumes Of Interest, VOI)를 설정하여 측정하였고 기준이 되는 장기인 간의 표준화섭취계수 표준값(The Mean Standardized Uptake Value, SUVmean)을 간 실질만을 포함하는 세 군데의 관심영역(Region Of Interest, ROI) 으로 설정하여 측정하였다(Fig. 2).

두 번째로 Blind test는 2명의 핵의학 전문의와 5년 이상의 경력을 가진 3명의 방사선사가 Torso 검사와 추가 검사의 MIP 영상을 기준으로 신장 방사능 배설 정도를 총 4등급으로 점수(Grade)를 나타내어 분류 및 기록하였다. 1점은 추가 검사 영상에서 신장의 저류가 오히려 증가한 경우, 2점은 Torso 검사

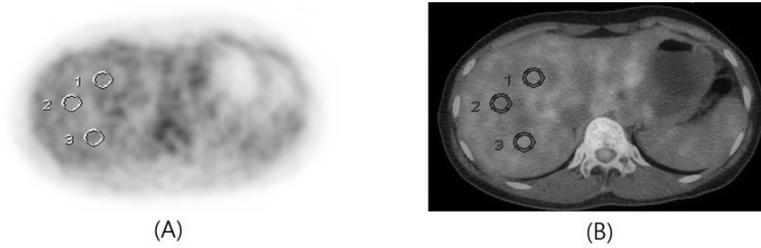


Fig. 2. ROI of Liver of PET/CT (A), ROI of Liver of PET-CT Fusion (B).

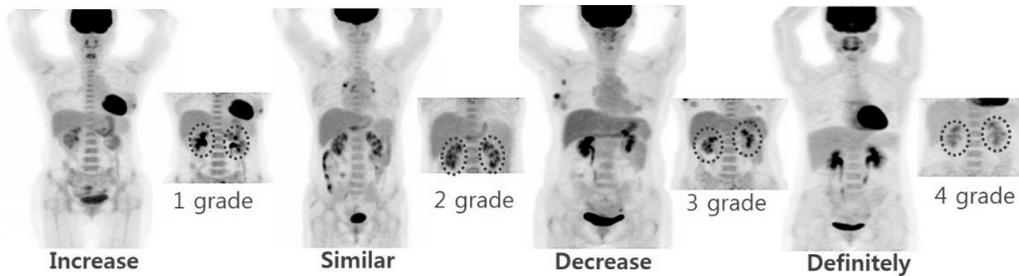


Fig. 3. Images represented each grade of renal excretion for the blind test.

와 추가 검사 영상에서 신장의 저류가 비슷한 경우, 3점은 Torso 검사와 추가 검사영상에서 신장의 저류가 일부분 감소한 경우, 4점은 뚜렷하게 감소한 경우의 점수로 나타냈고 합한 점수가 더 높은 쪽이 신장에서의 배설이 잘 되었다고 간주하였다(Fig. 3).

ROI 설정과 SUV 측정 소프트웨어로는 GE사의 AW VolumeShare5 Workstation을 이용하였고, 신장에서의 소변 배설률을 SUV를 이용하여 나타내기 위하여 다음과 같은 식으로 집단별로 신장에서의 소변 배설률(Excretion Rate, %)을 산출하였다.

$$\text{Excretion rate}(\%) = \frac{\text{Torso}(\text{SUVmax}) - \text{Additional}(\text{SUVmax})}{\text{Torso}(\text{SUVmax})} \times 100$$

통계 분석으로 신장의 감소율은 정규분포를 따르지 않아 비모수적 검증인 Maan-Whitney-test를 하였고, 근육과 지방의 감소율은 정규분포를 따랐기 때문에 모수적 검증인 Independent T-test로 분석하였다. 검증 후에 $p < 0.05$ 인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

Blind test에서 수분 미 섭취 군은 주로 1점과 2점이 측정되었고, 수분 섭취 군에서는 주로 3점과 4점이 측정되었다. 수분

Table 1. Grade of no hydration group and hydration group

Grade	No Hydration	Hydration
1	16	1
2	19	4
3	5	12
4	0	23
Average	17.25	34.25

Table 2. Excretion rate according to the organs

Excretion rate (%)	No Hydration	Hydration	
Muscle	3	1	NS*
Fat	11	8	NS*
Kidney	-6.8	49.7	$p < 0.001^{\#}$

NS = not statistically significant.

*Maan-Whitney.

$\#$ Independent T-test.

미섭취 군의 평균(Average)은 17.25점이었고, 수분 섭취 군의 평균은 34.75점으로 더 높은 점수를 나타냈다(Table 1).

자연 감소율을 알아보기 위해 측정된 Background인 근육과 지방의 수분 미섭취 군과 수분 섭취 군의 Excretion Rate(%)는 통계상 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면에 수분 미섭취 군의 신장 SUV는 6.8% 증가하였고, 수분 섭취 군의 SUV의 감소율은 49.7% (Table 2)로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$).

따라서 신장의 수분 섭취 군이 배설이 잘 이루어졌음을 알 수 있었고, 수분 미섭취 군은 배설이 잘 이뤄지지 않았을 뿐만 아니라, 오히려 신장 방사능이 증가하는 경향을 보이는 환자도 있었다.

고 찰

여러 종류의 종양 진단, 병기 설정 및 치료에 대한 평가에 유용하게 사용되고 있는 FDG를 이용한 PET/CT 검사에서 FDG의 신장에서의 저류는 신장과 인접한 장기들의 방사능 평가를 저하하고 판독 성능을 떨어뜨리는 문제점을 일으키는 요인 중 하나이다.⁴⁾ 이에 따라 신장에서의 FDG 배설 촉진은 영상의 질을 향상하고 판독 성능을 높이고 체내에서 빠르게 방사능을 배설할 수 있도록 도와서 환자의 피폭선량을 감소시킬 방법이 될 수 있다.⁵⁾ 본 연구에서는 신장에서의 FDG 배설을 촉진하는 여러 가지 방법 중 수분 섭취를 이용한 방법을 분석하고, 그것의 효과에 관해 설명하여 FDG를 이용한 PET/CT 검사를 보다 효과적으로 할 수 있도록 도움을 주고자 시행하였다.

주사 후 한 시간 안정을 취하는 방법, 수분 섭취 방법, 이노제 정맥주사 또는 경구 투여하는 방법⁶⁾ 중에서 신장의 요 배설을 촉진하는 방법 중 가장 큰 효과를 나타내는 것은 이노제라고 알려져 있다.⁷⁾ 하지만 모든 환자에게 적용할 수 없고, 사용에 제한점이 있는 이노제는 임상 적용에 한계점을 갖고 있다. 약물을 이용하지 않는 방법 중 가장 효과적인 방법으로 나타나 있는 것은 수분 섭취를 통한 신장 배설이라고 나와 있으며 이노제 사용과 큰 차이를 보이지 않는다.⁸⁾ 수분 섭취의 방법에 대해 고민하던 중 이노제만을 사용한 방법을 제외하고서 물 500 cc를 자유롭게 섭취하는 방법, 생리식염수와 함께 희석하여 이노제를 정맥 주입하는 방법, 물 500 cc를 한 번에 마시는 방법 중에서 물 500 cc를 한 번에 섭취하는 방법의 효과가 가장 뛰어나다고 입증⁸⁻⁴⁾ 되었기 때문에 본 연구에서도 신장에서의 FDG 배설을 효과적으로 촉진할 수 있고, 수분 섭취 효과에 대해서 집중적으로 초점을 맞추고 그것에 대해 신뢰성을 부여하고자 물 500 cc를 한 번에 섭취하는 방법만을 비교 및 제시하였다.

신장에서 배설 능력은 성별, 나이, 물리적 시간 차이, GFR, Creatinine, BUN 등에 의해 변화할 수 있다.⁹⁾ 본 연구는 같은 시간 차이를 두고 검사를 진행하였고, GFR, Creatinine, BUN 등을 정상 범주에 있는 환자를 대상으로 하였다(Table 3).

본 연구의 첫 번째 제한점은 수분 섭취 군만 연구한 것에 있다. 저자들은 신장 배설을 위한 방법 중 쉽고 이용이 쉬운 방법인 수분 섭취 군만을 선택하였고, 분명히 수분 섭취 군을 대표

Table 3. Distribution of clinical characteristics in the 2 groups

Characteristic	No Hydration	Hydration
Sex	W : 22 / M : 18	W : 27 / M : 13
Age	60.4 ± 13.2	53.7 ± 11.5
Height (cm)	162.8 ± 7.2	161.2 ± 7.1
Weight (kg)	60.3 ± 6.5	59.8 ± 9.5
Creatinine (mg/dl)	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1
BUN (mg/dl)	12.8 ± 4.0	14.3 ± 3.8
GFR (ml/min/1.73m ²)	87.5 ± 3.9	88.9 ± 7.3

하기엔 모순점이 있어 보인다. 그럼에도 불구하고, 이 방법은 FDG를 이용한 PET/CT 검사에서 수분 섭취를 통한 신장 배설과 관련된 연구에서 탁월한 효과를 보였던 방법이다.⁸⁾ 두 번째 제한점은 Blind test 방법이다. Blind test는 개개인이 영상을 보고 육안적인 평가로만 점수를 결정하였기 때문에 주관적 판단이 개입될 소지가 있다. 저자들은 이를 최소화하기 위하여 판독자들이 각각 점수를 결정할 때 일치되지 않는 환자에 대하여 협의 후 결정하고 합산하는 방법을 사용하였다. 세 번째 제한점은 추가 검사로 인한 부수적 피폭에 관한 것이다. 수분 섭취를 통한 FDG 배설을 유도하였고 그로 인해 내부 피폭은 감소하였지만, 추가 검사로 인한 피폭은 무시하지 못한다. 저자들은 부수적 피폭을 최소화하기 위해 추가 검사에서는 신장 주변만을 검사하였다. 따라서 향후 FDG를 이용한 PET/CT 검사에서 추가 검사가 필요하지 않게 할 수 있는 근본적 해결방안 계속 모색해 나가는 연구가 필요하다고 생각된다.

결 론

본 연구에서 Torso 검사시 신장에서 FDG의 저류가 추가 검사에서 수분 섭취 군의 감소율 49.7%로 수분 미섭취 군의 -6.8%보다 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한, Blind test와 SUV 분석의 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 추가 검사가 필요하지 않게 할 수 있는 근본적인 해결방안을 계속 찾는 것이 필요하다. 추가 검사가 필요한 경우에 이노제의 사용에는 환자에 따라 어려움이 있고, 여건상 제한점이 있다. 따라서 추가 검사가 필요한 경우에 신장에서의 FDG 저류를 최소화하기 위한 처치인 수분 섭취량을 최소한으로 하고, 환자 대기시간을 줄일 수 있도록 하는 환자에게 편이한 검사 프로토콜을 계속하여 만들어 가는 것이 필요하다. 의료기관이 환자에게 부담을 최소화할 수 있도록 적절한 수분 섭취를

이용하여 검사를 시행한다면 영상의 질을 향상함으로써 판독 성능을 증가시킬 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

FDG를 이용한 PET/CT 검사에서 FDG의 대부분이 비뇨기계를 통해 배설된다. FDG가 신장에 저류될 경우 판독 성능이 저하된다. PET-CT 검사에서 FDG의 신장 저류로 인해 추가 검사가 필요한 경우 이뇨제 사용 없이 쉬운 방법인 수분 섭취를 이용해 배설을 촉진할 수 있는 방법을 선택하는 데 도움을 주고자 한다. 11개월간 세브란스병원에서 PET-CT 검사를 시행한 환자 중 신장에 질환이 없고 기능이 정상인 환자 총 80명을 대상으로 하였다. 두 집단으로 구분하였고, 각 40명씩 구성하였다. (1) Torso 검사가 끝난 후 수분 섭취 없이 30분 동안 휴식만 취한 집단, (2) 30분 전 물 500 cc를 한 번에 섭취한 후 휴식을 취한 집단으로 나뉘었다. 영상분석은 SUV 측정과 Blind test, 두 가지로 하였다. SUV 측정은 양쪽 신장의 SUVmax와 근육과 지방의 SUVmax을 VOI를 설정하여 측정하였고 간의 SUVmean을 ROI를 설정하여 측정하였다. 검증 후에 $p < 0.05$ 인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다. Blind test는 Torso 검사와 추가 검사의 영상을 비교하여 신장 방사능 배설 정도를 4등급으로 점수를 나타내어 분류 및 기록하였다. SUV 측정 결과 수분 미섭취 군의 신장 SUV 값은 6.8% 증가하였고, 수분 섭취 군의 SUV의 값은 49.7% 감소하였다($p < 0.001$). Blind test에서 수분 미섭취 군의 평균은 17.25점이었고, 수분 섭취 군의 평균은 34.75점으로 더 높은 점수를 나타냈다.

참고문헌

1. Delbeke D. Oncological applications of FDG PET imaging. *J Nucl Med*. 1999;40:1706-1715.
2. Delbeke D. Procedure Guideline for Tumor Imaging with ^{18}F -FDG PET/CT 1.0. *J Nucl Med*. 2006;47:885-895.
3. Boellaard R, O'Doherty MJ, Weber WA, et al. FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumor PET imaging: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:181-200.
4. Qiao H, Bai J, Chen Y, et al. Modeling the excretion of FDG in human kidneys using dynamic PET. *Comput Biol Med*. 2008;38:1171-1176.
5. Qiao H, Bai J, Chen Y, et al. Kidney Modeling for FDG Excretion with PET. *Int J Biomed Imaging*. 2007;2007:63234.
6. Liu IJ, Zafar MB, Lai YH, et al. Fluorodeoxyglucose positron emission tomography studies in diagnosis and staging of clinically organ-confined prostate cancer. *Urology* 2001;57:108-111.
7. Yeh CL, Chen SW, Chen YK. Delayed diuretic FDG PET/CT scan facilitates detection of renal urothelial cell carcinoma. *Clin Nucl Med*. 2009;34:829-830.
8. Ceriani L, Suriano S, Ruberto T, Giovanella L. Could Different Hydration Protocols Affect the Quality of ^{18}F -FDGPET/CT Images? *J Nucl Med Technol*. 2011; 39(2):77-82.
9. Powles T, Murray I, Brock C, et al. Molecular positron emission tomography and PET/CT imaging in urological malignancies. *Eur Urol*. 2007;51:1511-1520.