

## 종양 환자에서 초고에너지(511 keV) 조준기를 이용한 전신 F-18-FDG 평면 영상: Coincidence 감마카메라 단층 촬영 영상과의 비교

아주대학교 의과대학 핵의학과, 원자력병원 싸이클로트론 응용연구실<sup>1</sup>

배문선 · 박찬희 · 조철우 · 윤석남 · 양승대<sup>1</sup> · 임상무<sup>1</sup>

### F-18-FDG Whole Body Scan using Gamma Camera equipped with Ultra High Energy Collimator in Cancer Patients: Comparison with FDG Coincidence PET

Moonsun Pai, M.D., Chan H Park, M.D., Chul-Woo Joh, Ph.D., Seok-Nam Yoon, M.D.,  
Seung-Dae Yang, Ph.D.,<sup>1</sup> and Sang-Moo Lim, M.D.<sup>1</sup>

Department of Nuclear Medicine, Ajou University Hospital, Ajou University College of Medicine,  
Suwon, Korea Cyclotron Application Laboratory, Korea Cancer Center Hospital,<sup>1</sup> Seoul, Korea

#### Abstract

**Purpose:** The aim of this study is to demonstrate the feasibility of 2-[fluorine-18] fluoro-2-deoxy-D-glucose (F-18-FDG) whole body scan (FDG W/B Scan) using dual-head gamma camera equipped with ultra high energy collimator in patients with various cancers, and compare the results with those of coincidence imaging. **Materials and Methods:** Phantom studies of planar imaging with ultra high energy and coincidence tomography (FDG CoDe PET) were performed. Fourteen patients with known or suspected malignancy were examined. F-18-FDG whole body scan was performed using dual-head gamma camera with high energy (511 keV) collimators and regional FDG CoDe PET immediately followed it. Radiological, clinical follow up and histologic results were correlated with F-18-FDG findings. **Results:** Planar phantom study showed 13.1 mm spatial resolution at 10 cm with a sensitivity of 2638 cpm/MBq/ml. In coincidence PET, spatial resolution was 7.49 mm and sensitivity was 5351 cpm/MBq/ml. Eight out of 14 patients showed hypermetabolic sites in primary or metastatic tumors in FDG CoDe PET. The lesions showing no hypermetabolic uptake of FDG in both methods were all less than 1 cm except one lesion of 2 cm sized metastatic lymph node. The metastatic lymph nodes of positive FDG uptake were more than 1.5 cm in size or conglomerated lesions of lymph nodes less than 1cm in size. FDG W/B scan showed similar results but had additional false positive and false negative cases. FDG W/B scan could not visualize liver metastasis in one case that showed multiple metastatic sites in FDG CoDe PET. **Conclusion:** FDG W/B scan with specially designed collimators depicted some cancers and their metastatic sites, although it had a limitation in image quality compared to that of FDG CoDe PET. This study suggests that F-18-FDG positron imaging using dual-head gamma camera is feasible in oncology and helpful if it should be more available by regional distribution of FDG. (*Korean J Nucl Med* 1999;33:65-75)

**Key Words:** Carcinoma, F-18 FDG, Coincidence imaging, Coincidence detection camera, Whole body scan, Positron emission tomography, Ultra high energy collimator

Received Aug. 14, 1998; Revision accepted Jan. 11, 1999

Corresponding Author: Chan H. Park M.D., Department of Nuclear Medicine, Ajou University Hospital, San 5 Wonchon-dong, Paldal-Gu, Suwon, Kyunggi-Do 442-749, Korea

Tel: (0331) 219-5948, Fax: (0331) 219-5950, E-mail: chpark@madang.ajou.ac.kr

## 서 론

2-[fluorine-18]fluoro-2deoxy-D-glucose (FDG)는 이미 뇌와 심장, 종양 등의 연구에 많이 이용되어 왔으며 양전자 방출 단층촬영(PET)의 임상적 적용은 이미 널리 알려져 있다.<sup>1-3)</sup> 특히 종양학 분야에서는 악성 조직의 발견과 병기 결정, 치료에 대한 반응을 알아보는 데 있어서 많은 연구가 이루어져 왔다.<sup>4,5)</sup> 악성 병변과 양성 병변의 비침습적인 감별을 가능하게 한다는 것이 FDG를 이용한 PET의 장점이며 이것은 두경부암, 폐암, 대장암, 췌장암, 유방암, 근 골격계 종양 등의 여러 가지 종양에서 성공적인 결과를 내고있다.<sup>6-13)</sup> FDG PET가 CT나 MRI 등의 통상적인 영상진단법보다 높은 정확도를 가진다는 보고도 계속 나오고 있으나<sup>12,13)</sup> PET는 비용이 높고 우리나라에서는 시설이 많지 않아 그 이용에 제한이 많다. 이에 따라 보편적인 감마카메라를 초고에너지(ultra high energy) 조준기를 이용해 511 keV에 맞추어 FDG의 영상을 가능하게 하는 방편이 제시되었다.<sup>14-19)</sup> 또한 최근에는 감마 카메라에 동시계수회로(coincidence detection circuit)를 장착하여 PET와 같은 원리로 양전자를 동시 계수할 수 있는 장치가 개발되었다.<sup>20-22)</sup> 이 연구는 종양 환자의 평가에 있어서 초고에너지 조준기를 장착하여 511 keV에 적용시킨 감마카메라로 FDG 전신 평면 영상(FDG W/B scan)을 얻어 충분한 정보를 얻을 수 있는지 알아보고 동시에 같은 카메라로 동시계수 회로를 이용한 양전자 방출 단층촬영(FDG CoDe PET)을 실시하여 그 결과를 비교하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 장치 및 물리적 계속

FDG 영상은 511 keV 고에너지 광자에 맞게 고안된 5/8 inch NaI (Tl) 결정(crystal)을 사용한 이중 헤드 감마카메라(Varicam; Elscint, Haifa, Israel)를 이용하였다. 카메라의 섬광체는 유효시야가 540×400 mm인 직사각형이다. 초고에너지 조준기를 사용한 기기 평면 민감도(system planar sensitivity)를

측정하기 위해서 3.7 MBq (100  $\mu$ Ci)/5 ml의 F-18 선원을 넣은 8 cm 직경의 원판형 tissue culture flask를 조준기 표면에 올려놓고 에너지 창을 511 keV $\pm$ 10% 열고 계수율을 구하였다.<sup>23,24)</sup> 평면 공간 해상력(planar spatial resolution)은 조준기에서 10 cm 떨어진 곳에 F-18 선원을 놓고 측정하였다. FDG CoDe PET는 고에너지 필터와 격벽(high energy filter & septa)을 장착하여 실시하였다. 2.7 MBq (75  $\mu$ Ci)의 F-18 점 선원을 양 조준기 사이의 중앙에 위치시키고 동시 계수율(coincidence count rate)을 구하여 기기 민감도를 측정하였다.<sup>25)</sup> 이때 선원과 계수기 표면까지의 거리는 28 cm 이었다. 동시계수 영상의 해상력 측정은 가운데에 F-18을 채운 가늌 선 선원이 있고 물이 채워져 있는 22 cm 직경의 팬텀을 사용하였다. 28 cm의 회전반경으로 30분간 10회전 시키고 에너지 창은 511 keV $\pm$ 10% 열었다. Butterworth filter를 사용하여 재구성된 영상을 얻었다.

### 2. 대 상

악성 종양이 의심되거나 진단된 환자 14명(나이: 46 $\pm$ 11세, 범위: 25-62세; 남자 5명, 여자 9명)을 대상으로 하였다. 이 중 2명은 양성, 나머지 12명은 악성종양으로 진단되었다. 양성 병변(유방 병변 1예, 폐 병변 1예)은 방사선학적 검사와 조직학적 조사를 통해 이루어졌고 악성 종양인 환자(유방암 5예, 림프종 3예, 폐암 1예, 자궁경부암 1예, 직장암 1예, adenocarcinoma of unknown origin 1예)들은 모두 조직학적인 검사를 통해 진단을 받고 치료 중이거나 치료를 받고 추적관찰 중인 환자들이었다(Table 1).

### 3. 초고에너지 조준기를 이용한 전신 평면 영상(FDG W/B scan)

모든 환자들은 영상획득 전에 최소 12시간 이상의 금식을 하였다. 약 148-185 MBq의 FDG를 정맥 주사 후 30-50분에 전, 후면 전신 평면 영상을 실시하였다. 초고에너지 조준기를 장착하고 에너지 준위를 511 keV $\pm$ 10%로 조절하여 64×64 매트릭스로 한 스텝 당 5분간 데이터를 얻었고 40 cm의 거리를 포함하므로 전신을 포함하기 위하여 5스텝을 진

**Table 1.** Tumor Type, Location and Size of the Suspected Leions and Result of F-18 FDG Whole Body and Coincidence Detection PET Imaging

Patient No./ Tumor Type	Site suspected	Diameter (cm)	FDG W/B scan	FDG CoDe PET	Evidence for results
NHL S/P chemo- therapy	Both jugular chain	<1	-	-	Biopsy was positive on supraclavicular node
	Rt supraclavicular	1.5	+	+	
	Paratracheal (conglomerated)	<1	+	+	
	Rt. hilar	1.5	+	+	
	Both axilla	<1	-	-	
	Paraortic LNs	<1	-	-	
NHL S/P chemo- therapy	Normal chest CT		-	-	Normal CT scan with 3 months interval
Lung ca..	Right lower lobe	9×5×6	+	+	Resected lung cancer with positive node
	Upper paratracheal	2	-	-	
	Lower paratracheal LN	1	-	-	
Breast ca.	Multiple nodules in liver	2-5	-	+	Newly developed lesions on CT scan
Cervix ca S/P hysterectomy & radiation	Pancreas	1.5	-	-	Undetermined
	T-vertebral bodies	<1	-	-	
Metastatic adeno- carcinoma	Multiple nodules in liver	1-2	+	+	Malignancy confirmed at bronchoscopy
	Multiple nodules in both lung	<1	+	+	
	Pancreas	<1	-	-	
	T-vertebral bodies		-	-	
Rectal ca. S/P Miles' op	Multiple nodules in liver	1-4	+	+	Elevated CEA, newly developed lesions on CT scan
NHL S/P chemo- therapy	Splenomegaly	17	-	-	Undetermined
Breast ca.	Normal chest CT		-	-	Negative MIBI scan and bone scan
Breast mass	4 masses on US	0.7×0.5	-	-	Aspiration cytology was negative
Massive pleural effusion	Upper tracheal LN	<1	+	-	4 repetitive pleural biopsy and pleural fluid cytology were negative
	Paraortic LN	<1	-	-	
Breast ca.	Multiple lesions in neck and pelvis on MIBI scan		+	+	Multiple lesion on MIBI scan and bone scan
Breast ca.	Multiple metastatic lesion on bone scan		+	+	Multiple lesion on MIBI and bone scan
Breast ca.	Multiple metastasis on bone scan		+	+	Histologic evaluation of surgical specimen

W/B, whole body; CoDe, Coincidence detection; LN, Lymph node; CT, Computed tomography; US, Ultrasonography; NHL, Nonhodgkin's lymphoma.

행 하였다. 일부의 환자에서는 두부와 원위 하지를 제외하여 3-4 스텝이 진행되었다.

#### 4. 동시회로 계수를 이용한 양전자 방출 단층 영상

FDG W/B scan이 끝난 후 초고 에너지 조준기를 제거하고 납, 주석, 구리의 합금으로 된 고에너지 필터(high energy filter)와 고에너지 격벽(high energy septa)를 장착하여 곧 바로 FDG CoDe PET를 실시 하였다. 고에너지 격벽은 환자의 측과 수직이 되게 하였다. 촬영 부위는 환자에서 평가하고 싶은 병변 부위 또는 FDG W/B scan에서 병변이 의심되는 곳을 포함하여 1회 또는 2회 촬영하였다. FDG 주사와 FDG CoDe PET 사이의 시간은 60-100분이었다. CoDe PET 영상 획득은 단일 방향 회전 이 중 헤드 로 3분간 한번 회전하여 물리적 붕괴를 교정하였고, 한 부위 당 10회전을 실시하여 30분간 리스트 모드로 데이터를 얻었다. 영상 재구성시 Butterworth filter (cutoff frequency of 0.35-0.45 cycles per pixel; order of 4)와 spatial smoothing을 사용했으며, 감쇠 교정은 하지 않았다. 데이터는 횡단면, 시상면, 관상면을 0.6-1.2 cm 간격으로 구성하였다.

#### 5. 영상 분석

FDG W/B scan과 FDG CoDe PET영상은 그레이 스케일 및 컬러 스케일로 백그라운드를 다양하게 조절하면서 관찰하였다. 임상 정보와 방사선학적 검사 결과는 모든 환자에서 결과 해석에 연관시켜 이용하였다. FDG W/B scan과 CoDe PET는 시각적 분석을 통해 FDG의 정상적인 섭취를 보이는 부분을 제외하고 국소적인 섭취를 보이는 곳을 종양에 의한 섭취로 보았다. 이러한 병변들은 방사선학적 소견과 연관하여 해부학적 위치를 결정하고 수술이나 생검, 다른 핵의학검사, 또는 방사선검사에 의한 추적관찰 등과 비교하였다.

### 결 과

#### 1. 물리적 계측

511 keV 조준기를 장착한 이중헤드 카메라 중 한

개의 헤드에 대해 측정된 10 cm에서의 해상력은 13.1 mm, 민감도는 2,638 cpm/MBq/ml (98 cpm/ $\mu$  Ci/ml), FDG CoDe PET에서 해상력은 7.49 mm, 민감도는 5,351 cpm/MBq/ml (192 cpm/ $\mu$  Ci/ml)로 측정되었다(Table 2).

**Table 2.** Physical Measurement for 511 keV in Dual-Head Scintillation Camera with Ultra high Energy Collimator and Coincidence PET System

Acquisition type	Resolution (mm)	Sensitivity (cpm/MBq/ml)
UHE	13.1	2,638
CoDe PET	7.49	5,351

UHE, ultra high energy collimator; CoDe PET, coincidence detection positron emission tomography.

#### 2. 임상 결과

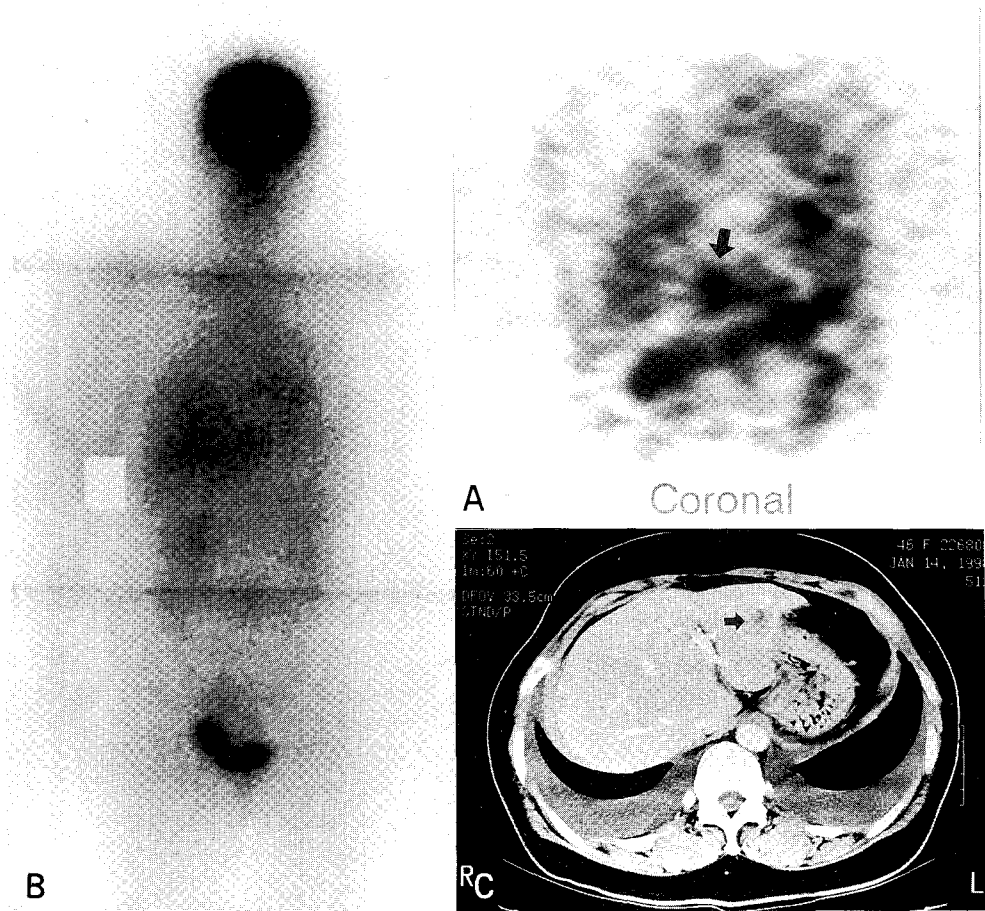
각 환자에 대한 종양의 종류와 병변의 특성, FDG W/B scan 및 FDG CoDe PET의 결과는 Table 1에 나타내었다. 원발성 종양을 포함하여 림프절에 대해서 CT상 의심되었던 병변들 중, FDG 섭취가 없었던 병변의 크기는 0.5-2 cm이었고 FDG 섭취를 보인 병변들은 1-9 cm으로 나타났다. 14명의 환자 중 FDG W/B scan에서 이상섭취를 보인 사람은 8명으로 CT scan에서 모두 1.5 cm 이상의 병변이었고 1 cm 이하의 림프절들에서 섭취가 보인 것은 여러 개가 뭉쳐 있는 것으로 나타났다. 이들 중 환자 11은 심한 흉막 삼출이 있어 폐암을 의심했던 환자로, 상부기도 근처에 섭취가 보여 악성 종양으로 생각되었으나 흉막 생검 및 흉막 삼출액 세포진검사와 CT 소견에서 악성 병변이 없어 위양성이었던 예이다. 이 환자의 FDG CoDe PET에서는 이상 섭취가 없었다. 환자 4는 유방암으로 유방절제술 후 간 전이가 의심되어 FDG W/B scan을 실시하였으나 정상 간 섭취에 비해 뚜렷한 증가를 볼 수 없었다. 그러나 CoDe PET는 CT 스캔과 잘 일치하는 다수 병변을

보였다(Fig. 1). 이외의 환자에서 간과 폐의 다수의 전이성 결절들은 두 가지 영상 방법 모두에서 FDG의 섭취를 보였다(Fig. 2). CT scan상 2 cm 크기의 기도 주위 림프절이 관찰되었으나 W/B scan과 Co-De PET에서 모두 FDG의 이상 섭취를 보이지 않았던 환자 3은 수술적으로 종양 세포의 침범이 확인되어 위음성이었다. 그러나 이 환자의 원발성 폐암에는 FDG 섭취가 강하게 있었다(Fig. 3). FDG 섭취가 없었던 다른 환자들의 병변은 수술적으로 확인되지는 않았으나 CT scan에서 모두 1 cm 이하였다. 1cm 이하의 작은 전이성 폐 결절들이 있었던 환자 6의

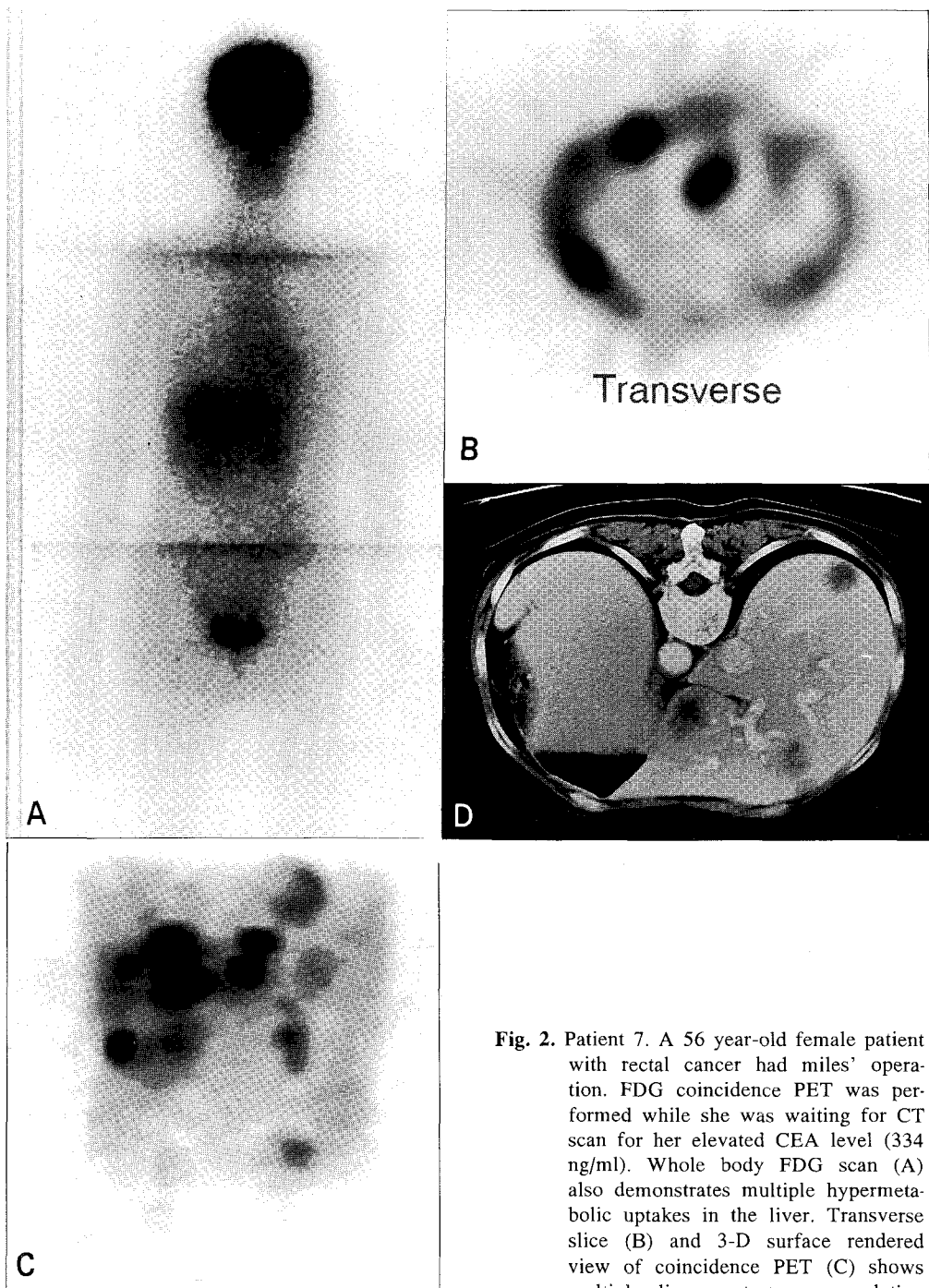
경우는 일부 결절에서만 섭취가 관찰되었다.

### 고 찰

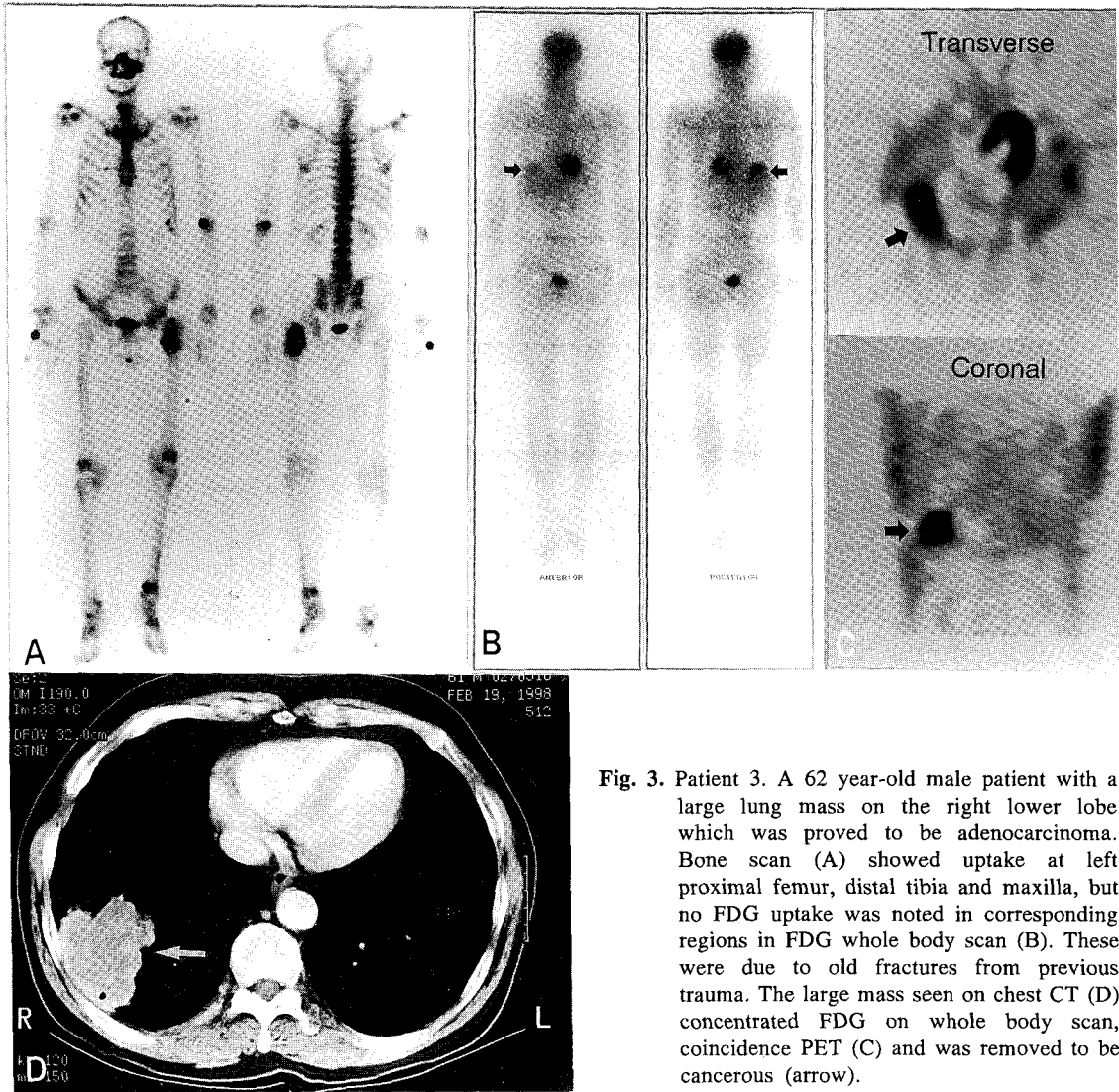
F-18-FDG는 생리적 단계에 따른 대사를 영상화할 수 있는 중요한 도구가 되어 왔지만 PET 카메라가 있어야만 하기 때문에 널리 이용되고 있지 못하는 실정이다. 최근 종양 분야에서 각광 받고 있는 FDG 양전자 방출 단층촬영은 coincidence ring이 장착 되어 있는 PET 카메라가 가장 우수한 영상을 할 수 있는 것으로 알려져 있으나 고가라는 단점 때



**Fig. 1.** Patient 4. A 46 year-old female patient with breast cancer was treated by mastectomy and chemotherapy. FDG whole body scan (A) showed no abnormal uptake but FDG CoDe PET (B) depicted hypermetabolism in the liver nodule (arrow) which was correlated well with a lesion seen on CT scan (C). Note two transverse linear increased activity due to an artifact from merging view (A).



**Fig. 2.** Patient 7. A 56 year-old female patient with rectal cancer had miles' operation. FDG coincidence PET was performed while she was waiting for CT scan for her elevated CEA level (334 ng/ml). Whole body FDG scan (A) also demonstrates multiple hypermetabolic uptakes in the liver. Transverse slice (B) and 3-D surface rendered view of coincidence PET (C) shows multiple liver metastases correlating well with CT scan (D) done after the coincidence PET.



**Fig. 3.** Patient 3. A 62 year-old male patient with a large lung mass on the right lower lobe which was proved to be adenocarcinoma. Bone scan (A) showed uptake at left proximal femur, distal tibia and maxilla, but no FDG uptake was noted in corresponding regions in FDG whole body scan (B). These were due to old fractures from previous trauma. The large mass seen on chest CT (D) concentrated FDG on whole body scan, coincidence PET (C) and was removed to be cancerous (arrow).

문에 널리 이용되지 못하고 있으며, 이에 대해 현재 널리 쓰이고 있는 감마 카메라에 초고에너지 조준기를 장착하여 양전자 방출 영상을 얻는 기술이 개발되어 임상에 이용되고 있다.<sup>14-19)</sup> FDG PET는 정상 크기의 림프절이 종양에 의해 침범되었는지 구별할 수 있기 때문에, 특히 폐암 등에서 종격동 침범 등 병기 결정에 conventional CT보다 더 정확한 것으로 알려져 있다.<sup>12)</sup> 본 연구는 FDG W/B scan을 이용하여 임상적으로 유용한 양전자 방출영상을 얻을 수 있는지 알아보고 FDG CoDe PET를 같은 카메라로 실시하여 그 결과를 비교하였다.

본 연구에서 사용된 이중헤드 감마 카메라는 초고에너지 조준기를 장착하였을 때 10 cm에서의 해상력과 민감도가 각각 13.1 mm, 98 cpm/ $\mu$ Ci/ml였다. 3/8 inch 두께의 섬광체를 사용한 다른 연구들에서는 Patton 등<sup>17)</sup>이 14.1 mm, 93 cpm/ $\mu$ Ci를 보고하였고, Martin 등<sup>14)</sup>은 129 cpm/ $\mu$ Ci의 민감도를 보고하였다. 동시계수 회로를 이용한 단층촬영에서는 해상력 7.49 mm, 민감도 192 cpm/ $\mu$ Ci/ml로 측정되어 PET scanner에서 측정한<sup>17-19)</sup> 해상력 6-7 mm과 민감도 2,157-2,238 cpm/ $\mu$ Ci의 결과와 비교할 때 해상력에서는 별 차이가 없었으나, 민감도에서는 확

연한 차이를 나타내었다. 이러한 물리적 계측성능의 차이가 임상 결과에 미치는 영향이 작지 않을 것으로 생각되었고, 실제 본 연구 결과에서도 FDG 섭취를 보인 것은 대부분 1.5 cm 이상이고 1 cm 이하의 림프절들은 여러 개가 모여 있는 병변이 발견되었다(환자 1). 2 cm 크기의 전이성 림프절에서도 위음성이 있었다. 이것은 환자에게 투여한 FDG의 양이 PET에서보다 적고, 민감도도 적으므로 종양 대 정상조직의 섭취의 차가 뚜렷이 반영되지 못하였기 때문이라고 생각된다. 반면 PET scanner를 사용한 연구에서는 0.6 cm의 폐 결절까지 발견할 수 있었다.<sup>26)</sup> FDG SPECT로 폐 결절을 평가했던 연구에서는 2 cm 이상의 악성 결절은 모두 발견하였으나, 2 cm 이하의 결절은 5개 중 하나만이 보였다.<sup>27)</sup>

본 연구에서 FDG W/B scan의 영상의 질이 크게 떨어짐에도 불구하고 CoDe PET의 결과와 크게 다르지 않게 나왔는데 이것은 방사선학적 검사나 다른 핵의학검사들과 비교하여 의심되는 병변이 FDG를 섭취했는지 여부를 보고 FDG CoDe PET와 비교하였기 때문이라고 생각된다. FDG 주사 후 먼저 W/B scan을 얻고 그 후에 CoDe PET를 실시하여 FDG의 붕괴가 상당히 진행되었다는 것도 또 하나의 원인으로 생각된다.

FDG W/B scan은 영상의 질, 병변의 FDG 섭취 정도, 크기나 위치의 예측력이 CoDe PET에 비하여 떨어지는 단점을 갖고 있다. 이것은 평면 영상과 단층촬영의 차이일 뿐만 아니라 동시 계수와 그렇지 않은 방법의 차이에서도 기인한다고 볼 수 있겠고, 또한 한 부위 당 데이터를 얻는 시간이 CoDe PET는 30분인 것에 비해 FDG W/B scan은 5분간 데이터를 얻었다는 점도 고려 되어 할 것이다. 따라서 뇌, 간, 심장 주위(금식이 잘 되지 않은 경우) 등 정상적으로도 섭취가 높은 곳은 전신 평면영상으로는 판독에 어려움이 있다. 실제로 환자 4의 경우 정상적인 간 섭취에 비해 대조도가 떨어져 여러 개의 간 전이를 발견하지 못했다(Fig. 1). 환자 3의 경우는 원발성 폐암의 병기 결정을 위해 실시한 골 스캔에서 근위 대퇴골과 안면 상악골의 강한 MDP 섭취가 있어 전이로 생각되었으나 FDG W/B scan상 음성으로 나와 수술이 가능했던 환자이다. 이 환자의

MDP 섭취는 과거 골절로 인한 것이었다(Fig. 3). 이처럼 뼈 전이와 골절을 감별하여 임상적으로 유용한 정보를 제공하였던 것 같이 CoDe PET의 관심영역을 벗어나는 전신에 걸친 영역을 조사하는 데에는 FDG W/B scan이 매우 유용할 것이다. 또한 원발 병소를 알지 못하는 경우에도 CoDe PET의 영상 위치를 결정하는데 도움을 줄 것이다.

FDG 전신 평면 영상으로 종양을 영상화 한 여러 연구가 있다. Sugiyama 등<sup>28)</sup>은 4명의 악성 종양 환자 중 3명에서 전신 평면영상과 SPECT 영상 모두 종양에 의한 섭취를 관찰하였고 2.5×1.5 cm의 폐의 악성 결절은 SPECT에서 확실히 보였다. Hoekstra 등<sup>29)</sup>은 Ga-67 스캔과 비교한 악성 림프종 환자의 치료 반응 추적검사로써 FDG 평면 영상이 대조도가 떨어지기는 하지만 유용한 정보를 제공할 것으로 보고 하였고 특히 화학요법 중에 일어나는 대사의 변화는 평면 영상으로 충분히 얻을 수 있다고 하였다. Paul 등<sup>30)</sup>은 Ga-67 영상보다 FDG 평면 영상이 더 우월한 진단적 정보를 제공한다고 하였다. 유방암 환자를 대상으로 한 연구에서는<sup>31)</sup> 전이성 종양의 82%, 전이된 림프절의 75%가 FDG 섭취를 보였다. 갑상선암의 전이를 찾는 데에도 I-131 스캔보다 더 예민한 것으로 보고되었고 Tc-99m MIBI 스캔과 비슷한 성적을 보였다.<sup>32)</sup> 그 외에, 재발한 Hurthle cell carcinoma의 국소화,<sup>33)</sup> 스트레스 골절과 악성 종양과의 감별<sup>34)</sup> 등에서 FDG 전신 평면 영상이 PET scanner없이 임상적으로 도움이 되었다. 심근의 FDG 평면 영상도 살아 있는 심근을 찾는 데 유용하다고 보고되었다.<sup>35-37)</sup> 본 연구에서도 악성 종양의 발견 및 전이와 재발 여부를 감별에서 임상적으로 유용한 정보를 얻을 수 있었다. UHE 조준기와 감마카메라를 이용하면 FDG 영상이 널리 가능해지고 비용-효과 면에서도 효율적일 것으로 생각된다.

동시 계수 회로를 이용한 FDG CoDe PET가 최근에 개발되어 임상에 이용되기 시작하였다.<sup>38)</sup> 이것은 원형 검출기가 아닌 이중헤드이기 때문에 본 연구에서 측정된 것같이 보통 쓰이고 있는 PET 카메라보다는 성능이 떨어진다. 불응시간 소실(dead time loss) 때문에 동시 계수에서는 주사량을 보통 PET에서 사용하는 370 MBq (10 mCi)보다 적은



148-185 MBq (4-5 mCi) 정도를 주어야 하기 때문에 우리가 찾고자 하는 병변에 충분한 양의 FDG를 섭취되게 할 수 없어 크기가 작거나 대사증가 정도가 비교적 미약한 병변은 찾기 어려울 수 있다. 감쇠 교정을 할 수 없는 점도 FDG CoDe PET의 영상 해독에 어려움을 주는 요인 중의 하나다. 또한 정량화가 불가능하기 때문에 추적자 역학 모델 연구가 어렵고 SUV 계산이 안되어 치료반응 추적 시에 제약이 된다. 그러나 비록 SUV를 구하지 못하더라도 양성과 악성의 감별에는 육안 판독으로도 충분하다는 보고가 있다.<sup>9,13)</sup> 전신 영역을 포함하기 위해 2회 이상 여러 부위에 걸쳐 시행하기에는 시간이 오래 걸리고 이에 따른 FDG의 붕괴나 환자의 불편 등이 또 다른 문제점이다. 그러나 이런 문제점들은 종양의 종류와 임상적 특징으로 영상 부위를 정할 수 있고 FDG W/B scan을 같이 사용하여 해결할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 실시하지 않았으나 PET를 대체하기 위한 FDG SPECT 영상이 임상에 이용되고 있다. Drane 등<sup>16)</sup>에 따르면 이중 헤드 카메라로 91%의 환자에서 원발종양 및 전이성 종양을 찾았고 0.5 cm 크기의 폐 종양도 포함되어 있었다. 그러나 Macfarlane 등<sup>18)</sup>은 3 cm 이하의 병변에서는 36%의 민감도를 보고하였고 이는 PET에서 찾아낸 병변의 50% 밖에 되지 않는 결과였다. Martin 등<sup>19)</sup>은 78%의 민감도를 보고하였다. 이러한 보고자들 간의 차이는 장비와 영상획득 시간, FDG투여 후 경과 시간, 검량 방법 등이 달랐기 때문으로 생각된다. 아직 같은 감마카메라에서 FDG SPECT와 FDG CoDe PET를 실시하여 비교한 연구는 없으며 본 연구에서도 실시하지 못하였는데 이는 여러 가지 검사를 한번에 할 경우 FDG의 반감기 때문에 충분한 데이터를 얻을 수 없으며 환자에게도 불편이 따르기 때문이었다. 또한 FDG CoDe PET는 FDG SPECT와 비교 해볼 때, 조준기가 없어 민감도가 증가하고 동시에 반대 방향으로 나오는 두 개의 감마선만을 검출하므로 해상도도 증가할 것으로 생각된다. 이에 관해서 앞으로 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 요 약

**목적:** 종양 환자의 평가에 있어서 초고에너지 조준기를 장착하여 511 keV에 적용 시킨 감마카메라로 FDG 전신 평면 영상(FDG W/B scan)을 얻어 충분한 정보를 얻을 수 있는지 알아보고 동시에 같은 카메라로 동시계수 회로를 이용한 양전자 방출 단층 촬영(FDG CoDe PET)을 실시하여 그 결과를 비교하였다. **대상 및 방법:** F-18 FDG를 이용하여 초고에너지 조준기와 동시계수 양전자 방출영상에 대해 각각 팬텀 실험을 실시하였고, 악성종양이 의심되거나 진단된 환자 14명을 대상으로 FDG 전신 평면 영상과 양전자 방출 단층 영상을 얻어 방사선학적 검사, 임상적 추적관찰, 조직학적 검사 등과 비교하였다. **결과:** 평면 영상에서는 해상력 13.1 mm, 민감도 2638 cpm/MBq/ml, 동시계수 영상에서는 공간 해상력 7.49 mm, 민감도 5351 cpm/MBq/ml로 측정되었다. FDG CoDe PET에서 14명의 환자 중 8명에서 FDG의 섭취가 있었다. 두 방법 모두에서 FDG 섭취가 없었던 병변은 모두 CT에서 1 cm 이하였으나 한 예에서 2 cm 크기의 전이성 림프절을 찾지 못하였다. FDG 섭취를 보였던 병변은 모두 CT상 1.5 cm 이상이거나 여러 개가 모여 있는 병변이었다. FDG W/B scan은 FDG CoDe PET와 거의 비슷한 결과를 보였으나 위음성과 위양성이 1예씩 더 있었다. FDG CoDe PET에서 보였던 다수의 폐 결절과 간 결절들이 FDG W/B scan에서 한 예를 제외하고는 모두 발견되었다. **결론:** 감마카메라에 의한 FDG 영상들은 악성 종양의 감별, 병기 결정, 추적검사 등에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 간주되며, SPECT 카메라가 널리 보급되어 있으므로 FDG 전신 평면 영상과 동시계수 양전자 방출영상은 서로 보완적으로 쓰이면서 FDG의 지역 분배 공급을 통해 기존의 PET를 대신하여 FDG를 이용한 더 많은 임상적 이용 및 영상진단을 가능하게 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 1) DiChiro G. Positron emission tomography using

- 18-F-fluorodeoxyglucose in brain tumors. *Invest Radiol* 1987;22:360-71.
- 2) Bonow RO, Dilsizian V, Cuocol A, Bacharach SL. Identification of viable myocardium in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction: comparison of thallium scintigraphy with reinjection and PET imaging with F-18-fluorodeoxyglucose. *Circulation* 1991; 83:26-37.
  - 3) Knight SB, Delbeke D, Stewart JR, Sandler MP. Evaluation of pulmonary lesions with FDG-PET. *Chest* 1996;109:982-8.
  - 4) Okada J, Yoshikawa K, Itami M, Imaseki K, Uno K, Itami J, et al. Positron emission tomography using fluorine-18-fluorodeoxyglucose in malignant lymphoma: a comparison with proliferative activity. *J Nucl Med* 1992;33:325-9.
  - 5) Strauss LG, Clorius JH, Schlag P, Lehner B, Kimmig B, Engenhart R, et al. Recurrence of colorectal tumors: PET evaluation. *Radiology* 1989;170:329-32.
  - 6) Adlar LP, Crowe JP, al-Kaisi NK, Sunshine JL. Evaluation of breast masses and axillary lymph nodes with [F-18]2-deoxy-2-fluoro-D-glucose PET. *Radiology* 1993;187:743-50.
  - 7) Gritters LS, Francis IR, Zasadny KR, Wahl RL. Initial assessment of positron emission tomography using 2-fluoro-18-fluoro-2-deoxy-D-glucose in the imaging of malignant melanoma. *J Nucl Med* 1993;34:1420-7.
  - 8) Greven KM, Williams DW 3rd, Keyes JW Jr., McGuirt WF, Watson NE Jr., Randall ME, et al. Positron emission tomography of patients with head and neck carcinoma before and after high dose irradiation. *Cancer* 1994;74:1355-9.
  - 9) Lowe VJ, Hoffman DM, Delong DM, Patz EF, Coleman RE. Semiquantitative and visual analysis of FDG-PET images in pulmonary abnormalities. *J Nucl Med* 1994;35:1771-6.
  - 10) Newman JS, Francis JR, Kaminske MS, Wahl RL. Imaging of lymphoma with PET with 2-[F-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose: correlation with CT. *Radiology* 1994;190:111-6.
  - 11) Okada J, Oonish H, Yoshikawa K, Uno K, Itami J, Arimizu N. FDG PET for the evaluation of tumor viability after anticancer therapy. *Ann Nucl Med* 1994;8:109-13.
  - 12) Wahl RL, Quint LE, Greenough RL, Meyer CR, White RI, Orringer MB. Staging non-small cell lung cancer with FDG-PET, CT, and fusion images: preliminary prospective evaluation. *Radiology* 1994;191:371-7.
  - 13) Stollfuss JC, Glatting G, Friess H, Kocher F, Berger HG, Reske SN. 2-(fluorine-18)-fluoro-2-deoxy-D-glucose PET in detection of pancreatic cancer: value of quantitative image interpretation. *Radiology* 1995;195:339-44.
  - 14) Martin WH, Delbeke D, Patton JA, Hendrix B, Weinfeld Z, Ohana I, et al. FDG SPECT: correlation with FDG-PET. *J Nucl Med* 1995;36: 988-95.
  - 15) Van Lingen A, Huijgens PC, Visser FC, Ossenkoppele GJ, Hoekstra OS, Martens HJ, et al. Performance characteristics of a 511-keV collimator for imaging positron emitters with a standard gamma camera. *Eur J Nucl Med* 1992; 19:315-21.
  - 16) Drane WE, Abbott FD, Nicole MW, Mastin ST, Kuperus JH. Technology for FDG SPECT with a relative inexpensive gamma camera. *Radiology* 1994;191:461-5.
  - 17) Patton JA, Sandler MP, Ohana I, Weinfeld Z. High energy (511-keV) imaging with the scintillation camera. *Radiographics* 1996;16:1183-94.
  - 18) Macfarlane DJ, Cotton L, Ackermann RJ, Heikki M, Ficaro EP, Shreve PD, et al. Triple-head SPECT with 2-[fluorine-18]fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG): initial evaluation on oncology and comparison with FDG PET. *Radiology* 1995;194: 425-9.
  - 19) Martin WH, Delbeke D, Patton JA, Sandler MP. Detection of malignancies with SPECT versus PET, with 2-[fluorine-18]fluoro-2-deoxy-D-glucose. *Radiology* 1996;198:225-31.
  - 20) Ziegler SI, Entertrotacher A, Boning G, Nieland P, Kretschko J, Schwaiger M. Performance characteristics of a dual head coincidence camera for the detection of small lesions[Abstract]. *J Nucl Med* 1997;38(suppl):206.
  - 21) Smith EM, McCroskey WK, Vickers DS, Vernon P. Simultaneous SPECT and coincidence imaging using a dual detector scintillation camera-works in progress[Abstract]. *J Nucl Med* 1997;38(suppl): 208.
  - 22) Patton JA, Hefetz Y, Shone MD, Stoner MB, Sandler MP. Measured coincidence imaging parameters of clinical dual-head scintillation camera [Abstract]. *J Nucl Med* 1997;38(suppl):221.
  - 23) *AAPM Report No. 9*. Computer-aided scintillation

- camera acceptance testing. New York: American institute of physics; 1981.
- 24) *NEMA standard publication NUI-1994*. Performance measurements of scintillation cameras. Washington, D.C.: National Electrical Manufacturers Association; 1994.
  - 25) *Elscint service manual*. CoDe option for Varicam. Haifa: Elscint Inc.; 1997.
  - 26) Gupta NC, Frank AR, Dewan NA, Redepenning LS, Rothberg ML, Mailliard JA, et al. Solitary pulmonary nodules: detection of malignancy with PET with 2-[F-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose. *Radiology* 1992;184:441-4.
  - 27) Worsely DF, Celler A, Adam MJ, Kwong JS, Muller NL, Coupland DB, et al. Pulmonary nodules: Differential diagnosis using F-18-fluorodeoxy glucose single-photon emission computed tomography. *AJR* 1997;168:771-4.
  - 28) Sugiyama S, Suzuki Y, Matsuzaki H, Tomiyoshi K, Endo K. Tumor diagnosis using 18F-FDG SPECT. *Nippon-Igaku-Hoshasen-Gakkai-Zasshi* 1996;56:679-80.
  - 29) Hoekstra OS, Ossenkuppele GJ, Golding R, van-Lingen A, Visser GW, Teule GJ, et al. Early treatment response in malignant lymphoma, as determined by planar F18-FDG scintigraphy. *J Nucl Med* 1993;34:1706-10.
  - 30) Paul R. Comparison of fluorine-18-2-fluorodeoxyglucose and gallium-67-citrate imaging for detection of lymphoma. *J Nucl Med* 1987;28:288-92.
  - 31) Minn H, Soini I. [<sup>18</sup>F] fluorodeoxyglucose scintigraphy in diagnosis and follow up of treatment in advanced breast cancer. *Eur J Nucl Med* 1989; 15:61-6.
  - 32) Fridrich L, Messa C, Landoni C, Lucignani G, Moncayo R, Kendler D, et al. Whole body scintigraphy with 99m-Tc-MIBI, 18F-FDG and 131-I in patients with metastatic thyroid carcinoma. *Nucl Med Comm* 1997;18:3-9.
  - 33) Blount CL, Dworkin HJ. F-18 FDG uptake by recurrent Hurthle cell carcinoma of thyroid using high-energy planar scintigraphy. *Clin Nucl Med* 1996;21:831-3.
  - 34) Paul R, Ahonen A, Virtama P, Aho A, Ekfors T. F-18 fluorodeoxyglucoses: its potential in differentiating between stress fracture and neoplasia. *Clin Nucl Med* 1989;14:906-8.
  - 35) Huitink JM, Visser FC, Bax JJ, van-Lingen A, Visser CA. Course of impaired left ventricular function after myocardial infarction predicted with planar thallium-201 chloride and F-18-fluorodeoxyglucose imaging. *Int J Cardiol* 1996;57: 271-81.
  - 36) Kalf V, Beralngieri SU, Van-Every B, Rowe JL, Lambrecht RM, Tochon-Danguy HJ, et al. Is planar thallium-201/fluorine-18 fluorodeoxyglucose imaging a reasonable clinical alternative to positron emission tomography myocardial viability scanning? *Eur J Nucl Med* 1995;22:625-32.
  - 37) Huitink JM, Visser FC, van-Lingen A, Groenevelt AB, Bax JJ, van-Leeuwen GR, et al. Feasibility of planar fluorine-18-FDG imaging after recent myocardial infarction to assess myocardial viability. *J Nucl Med* 1995;36:975-81.
  - 38) Abdel-Dayem HM, Radin AI, Luo JQ, Marans HY, Wong S, Naddaf SY, et al. Fluorine-18-fluorodeoxyglucose dual-head gamma camera coincidence imaging of recurrent colorectal carcinoma. *J Nucl Med* 1998;39:654-6.