

# 양전자방출단층촬영술 (Positron Emission Tomography;PET)



정 준 기  
서울대학교병원 핵의학과

## 서 론

양전자방출단층촬영술(Positron Emission Tomography;PET)은 핵의학 분야에서 최근에 급속히 발전하고 있는 새로운 영상기술이다. 인체내의 여러 기본 대사물질(metabolic substance)에 양전자를 방출하는 방사성동위원소를 표지하여 인체에 투여한 후 양전자와 무질간의 상호작용으로 발생하는 소멸방사선(annihilation radiation)을 체외에서 전산화단층촬영(CT)과 유사한 방법으로 검출하여 단층촬영 영상을 만드는 것이다(그림 1).

PET는 인체의 생화학적 변화를 영상화할 수 있는 촬영기법이다. 우리몸 대부분의 질병은 해부학적인 형태 변화가 생기기전에 기능적인 변화와 생화학적인 변화가 일어난다. 따라서 PET는 생화학적인 변화 이상을 찾아낼 수 있어 각종 질병의 조기진단 및 미세한 변화를 알 수 있는 장점이 있다. 또한 각종 기관의 정상대사 분석 및 질병에서의 대사이상을 연구할 수 있는 독특한 방법이다. PET은 이러한 대사이상을 영상화하고 정량적으로 분석함으로써 뇌신경질환, 심장질환, 악성종양 등에 임상적으로 이용되고 있다.

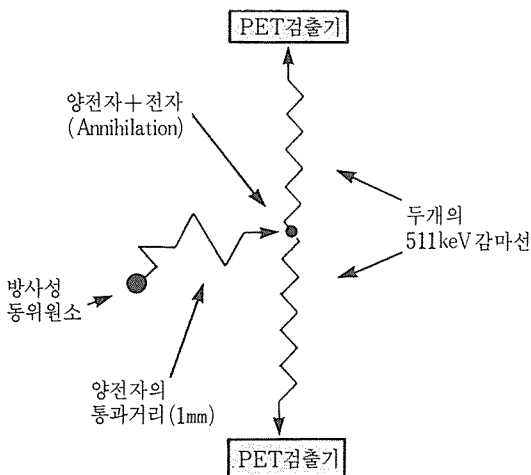


그림 1. PET 검출의 원리

## 기기 및 영상의 원리

PET는 스캐너와 사이클로트론 및 표지화합물 생성장치 그리고 컴퓨터시스템으로 구성되어 있다. 체내 대사과정에 관여하는 원소인 C-11, N-13, O-15, F-18등의 양전자방출 방사성핵종을 생산하는 의료용 소형 사이클로트론이 주로 쓰인다. 양전자 방출 방사성핵종은 반감기가 보통 수분에서 수십분 정도로 짧아 생성된 후 단시간내에 사용되어야 하므로, 스캐너 가까이에서 사이클로트론과 방사성동위원소 표지화합물 자동생성장치를 설치하여 필요한 방사성핵종을 생성 직후 표지하여 사용한다.

표 1. PET에 이용되는 방사성의약품

핵종	반감기 (분)	방사성의약품	이 용
F-18	110.0	$^{18}\text{F}$ -FDG $^{18}\text{F}$ -DOPA $^{18}\text{F}$ -spiperone	당대사 도파민수용체 세로토닌 수용체
C-11	20.4	$^{11}\text{C}$ -methionine $^{11}\text{C}$ -palmitic acid $^{11}\text{C}$ -acetate $^{11}\text{C}$ -thymidine $^{11}\text{C}$ -spiroperidol $^{11}\text{C}$ -carfentamil	아미노산대사 지방산대사 산소 소비율 핵산대사 도파민수용체 opiate 수용체
N-13	10.0	$^{13}\text{NH}_3$	혈류
O-15	2.1	$^{15}\text{O}$ -H <sub>2</sub> O, $^{15}\text{O}$ -CO <sub>2</sub> $^{15}\text{O}$ -CO $^{15}\text{O}_2$	혈류 혈액체적 산소대사

PET에서 사용되는 방사성의약품

PET에 사용되는 양전자방출핵종은 어떤 수용체 결합약물이나 대사물질등에 표지하여도 그 화학적 성질이 전혀 변하지 않거나 변해도 생리적 활성을 그대로 유지하는 경우가 많다. 따라서 PET를 이용하면 지금까지 할 수 없었던 여러가지 수용체들과 대사물질의 영상을 얻을 수 있다. 현재 PET에서 많이 사용되고 있는 대표적인 방사성의약품

은 표 1과 같다.

뇌 신경계질환에서의 임상이용

뇌에 병변이 발생하면 산소 및 포도당의 대사율 뿐만 아니라 뇌혈류량의 변화가 초래되고 또한 여러 신경전달물질 및 그 수용체들이 변화를 일으키게 된다. 다음 질환에서 PET이 현재 유용하게 쓰이고 있다.

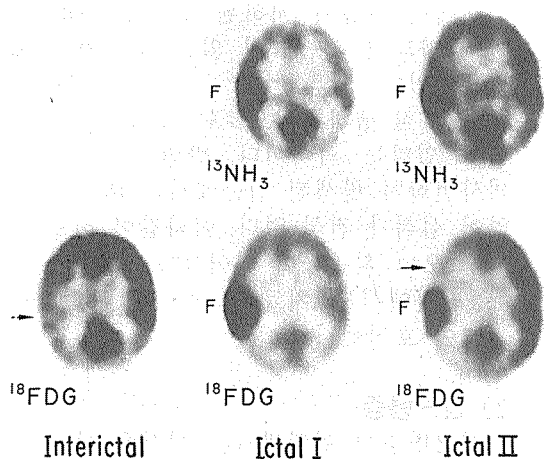


그림 2. 측두엽 간질에서 PET 소견  
발작간기(interictal period) 중에  
우측 측두엽에서  $^{18}\text{FDG}$ 의 섭취  
가 감소되어 있다가 발작시에는  
 $^{18}\text{FDG}$ 와  $^{13}\text{NH}_3$  섭취가 증가되어  
있다.

### 1) 간질(Epilepsy)

간질은 가장 흔한 중추신경계질환중에 하나이다. 흔히 측두엽(temporal lobe)에서 간질환의 원인 병소가 생길 수 있고 현재까지는 대부분 뇌파검사에 의존하여 진단하고 치료방침을 결정하고 있다. 그러나 상당수에서 투약만으로는 발작이 조절되지 않아 수술적인 치료가 필요하다. 발작의 원인부위를 찾아내기 위해서 해부학적인 영상진달술인 자기공명영상(MRI)을 사용하고 있으나 구조적인 이상을 발견하지 못하는 경우가 흔하다. 이러한 경우에 PET는 구조적인 이상은 없이 국소뇌조직 대사이상인 부위를 색출해 낼 수가 있다.

국소간질의 발작중에는 PET 영상상 발작원인 부위에 뇌대사율 및 혈류의 증가가 관찰되나 발작사이(interictal period)에서는 그 부위의 대사율 및 혈류의 감소를 보인다(그림 2).

### 2) 뇌혈관 질환(Cerebrovascular diseases)

뇌의 산소대사는 당대사와 밀접하게 연관되어 있으며 뇌졸중환자에서 PET을 이용한 뇌혈류검사나 당대사검사는 향후 예후를 판정하고 치료방침을 세우는데 크게 도움이 된다. 뇌동맥혈전증이나 전색증의 초기에는 CT에서 이상소견이 발견되지 않으며 12시간 내지 24시간이 지나서야 이상소견이 나타나기 시작한다. 초기에 PET으로 이상소견을 발견할 수가 있고 이때 나타나는 대사이상은 CT나 MRI 보다 더 넓은 영역인 경우가 흔하다.

### 3) 알쯔하이머(Alzheimer)병 및 기타 치매

치매 즉 노망에서 가장 흔한 원인은 알쯔하이머 질환으로 전체환자의 절반이상을 차지하고 있다.

그외에 다발성 경색치매(multi-infarct dementia), AIDS, 대사성 혹은 영양성 치매 등이 있다. 이들중 구조적인 변화가 있어 해부학적 영상으로 찾을 수 있는 치매는 전체에 약 10% 정도만 차지하고 있다. PET에

의한 기능영상은 CT나 MRI 검사보다 초기에 국소적인 변화를 찾아내는데 더 예민한 것으로 알려져 있다.

알쯔하이머병에서는 특징적으로 뇌의 두정엽 및 측두엽에서 뇌혈류 및 산소이용, 당대사가 주로 감소된다. 이러한 PET의 소견은 임상적인 소견보다도 먼저 예민하게 나타난다.

한편, 다경색치매환자에서는 당대사량의 저하부위가 알쯔하이머병과 같이 두정엽과 측두엽에 국한되어 있지 않고 여러 장소에 흩어져 나타난다.

### 심장질환에서의 임상 이용

우리나라에서도 관상동맥질환(협심증, 심근경색증)의 빈도가 급격히 증가되고 있고 PET은 이의 진단과 치료 방침을 정하는데 유용하게 쓰이고 있다.

#### 1) 관상동맥질환

PET으로 관상동맥의 협착을 진단할 수 있는 예민도는 95% 이상인 것으로 보고되고 있다. PET가 순환기 분야에서 가장 유용한 점은 임상적으로 비가역적인 심근손상이라고 생각되는 경우에 생존능(viable) 가능성이 있는 심근을 찾아내는데 있다. Rb-82나 N-13 ammonia 이용한 심근관류 PET 스캔에서 관류가 저하된 부위에 FDG 섭취가 증가되면 생존능이 있는 조직임을 확인할 수 있다.

즉 아직 생화학적으로는 대사기능이 유리되고 있다는 의미이다. 반면 심근경색으로 괴사변화가 발생된 심근에서는 FDG 이용이 없어 섭취가 전혀 없다. 이와같이 허혈 변화가 있으나 생존능이 있어 FDG 섭취가 증가된 환자에서는 치료로 심근이 되살아나고 기능이 호전된다.

#### 2) 심근병증

심근병증의 원인과 대사이상은 아직 정확히 규명되어 있지 않다. PET은 이러한 심근

병증의 대사규명 및 진단이용에 이용될 가능성을 가지고 있다. 비후성심근병증(hypertrophic cardiomyopathy)에서는 혈류는 감소되어 있고 지방산대사는 정상이나 포도당 대사는 감소되어 있다.

확장성심근병증(dilated cardiomyopathy)에서는 허혈성 원인인 경우 C-11 palmitate 섭취가 국소적으로 감소되어 있으나 비허혈성 심근병증에서는 전체적으로 비균일적으로 C-11 palmitate의 섭취가 감소되어 있다.

이들을 구별하는데 사용할 수 있다.

### 종양에서의 임상이용

악성종양세포의 산소의 존재하에서 당분해작용(glycolysis)가 특징적으로 증진되어 있다. 정상세포에서는 당분해 작용과 당합성 작용이 균형을 이루고 있으나 악성종양에서는 당합성작용에 관여하는 효소의 세포내 농도가 감소하고 당분해작용에 관여하는 효소에 세포내 농도가 급격히 증가하게 된다. 따라서 F-18 FDG를 주사하고 전신 PET을 촬영하면 암 부위에 섭취가 뚜렷이 증가되어 나타난다(그림 3).

### 1) 뇌종양

뇌종양에서 PET은 종양의 대사, 종양의 혈류나 혈뇌장벽투과성의 변화에 대한 평가를 할 수 있어 종양의 악성정도, 종양의 예후 및 치료후 종양의 재발을 찾아내는데 임상적으로 유용하게 쓰인다. 특히 치료후에 괴사가 있는 경우에도 기존의 영상방법으로는 괴사후에 나타나는 섬유화 및 조직의 재생이 재발암을 해부학적 영상으로는 감별할 수 없으나 FDG PET에서는 재발암에서 포도당 대사의 증가가 있기 때문에 감별이 용이하다. 특징적으로 뇌종양의 악성정도는 FDG의 집적과 정비례 한다. 즉 악성도가 높은 종양에서는 FDG의 축적이 증가되어 있는 반면 악성도가 낮은 종양에서는 FDG의 축적이 감소되어 있다. 또 FDG의 집적이 높으면 예후가 나쁘다고 보고되어 있다.

### 2) 유방암

FDG 스캔은 유방암의 진단 특히 림프절의 전이여부를 찾아내는데 유용할 뿐 아니라 치료후 반응을 조기에 예측하는데 사용된다. 즉 CT와 같은 해부학적인 병변의 변화전에 화학요법 후에 FDG 섭취가 감소되면 치료효과가 있음을 조기에 나타내어 주

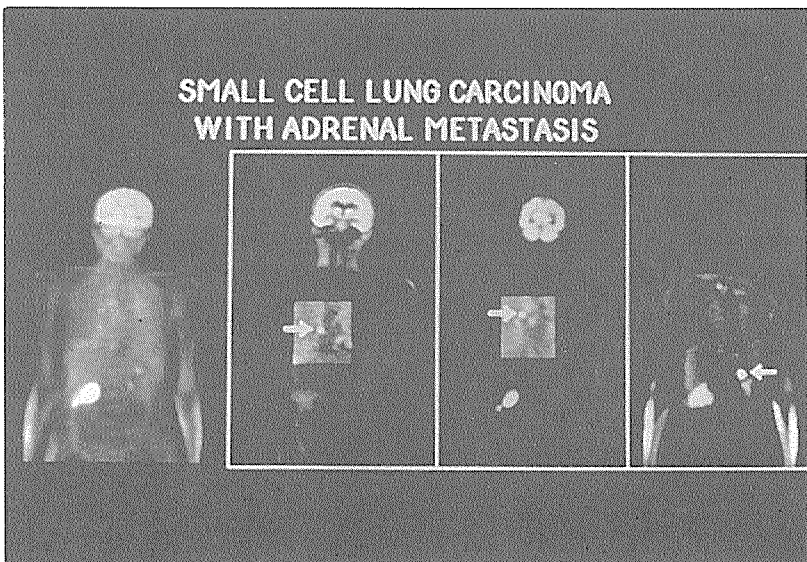


그림 3. 부신에 전이가 있는 폐암환자의 <sup>18</sup>F FDG PET 소견. 전신 PET의 영상에서 폐와 왼쪽 부신의 종양에서 FDG 섭취가 증가되어 있다 (화살표)

는 증거가 된다. Estrogen 수용체의 존재를 PET으로 영상화 하는 것도 호르몬요법 전의 비침습적인 검사로 유용하게 사용될 수가 있다.

### 3) 폐암

FDG PET 스캔은 원발성 폐암과 전이성 폐암의 진단 뿐만 아니라 양성 종양과 악성 종양의 감별에도 사용된다. 즉 악성종양에서 FDG 섭취가 양성인 종양보다 의미있게 증가되어 있다. 그러나 종양의 분화 정도와 FDG 섭취는 관계가 없는 것으로 밝혀져 있고 C-11 methionine의 경우에는 평편세포암 보다는 기관지 선암에서 섭취가 더 증가되어 있다. 화학요법의 효과 판정에 있어서 FDG 섭취 변화가 CT에 의한 종양 용적의 변화보다 먼저 나타나며 방사선 치료후의 경과관찰에서도 재발을 다른 해부학적인 영상보다 먼저 예민하게 찾아낼 수 있다.

### 4) 기타암

두경부암, 림프암, 육종, 흑색종, 대장암, 간암 등에서도 FDG의 섭취가 정상조직보다 증가되어 있는 것이 보고되어 있고 양성종양과의 감별도 가능한 것으로 보고되어 있다. 양성종양에서도 일부에서는 FDG의 섭

취가 나타날 수 있으나 악성종양에 비해서 그 정도가 약하고 또한 시간 경과에 따라 FDG의 배설이 나타나므로 정량적인 PET 영상을 통해서 악성종양과 감별이 용이하다.

## 결 언

앞서 기술한 바와 같이 PET는 생화학적 인 영상을 얻어 각종 질병에서 유용하게 쓰이고 있을 뿐만 아니라 정상 및 질병상태에서의 대사변화를 정량적으로 분석할 수 있어 기초의학 연구에서도 활발히 이용되고 있다. 단지 스캐너와 싸이크로트론을 포함하여 400만불을 호가하는 비싼가격 때문에 의학계에 아직은 널리 사용되지 못하고 있다. 그러나 현재 전세계적으로 약 200여개의 PET 센터가 운영되고 있고 우리나라에서도 금년에 2개의 병원에서 PET를 도입하기로 예정되어 있어 바야흐로 PET 영상시대가 도래하게 되었다. 이러한 PET의 도입 이용은 임상의학은 물론이고 기초의학분야에 새로운 영역을 열어주는 획기적인 사실로 각종 질병의 연구 및 진료분야에 넓고 깊게 응용되어 세계적인 의학수준에 발을 맞추고 우리나라의 독창적인 의학을 발전시키는데 크게 기여하리라 기대된다.

