

동

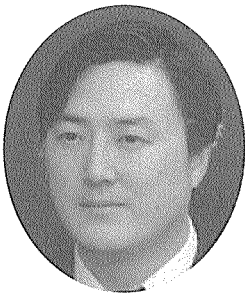
향

## 핵의학과 해부학적

### 영상의 만남 :

# PET/CT

## 합성영상



김 덕 윤

경희대학병원 핵의학과 조교수

## 1. 서론

영상 진단분야의 눈부신 발전은 현대 의학의 정확한 진단과 치료를 가능하게 하였다. 특히 초음파, CT (computed tomography), MRI (magnetic resonance imaging) 등은 인체 장기의 해부학적 변화를 정확하게 반영하여 병소의 위치와 형태를 관찰하는데 매우 우수한 검사 방법으로 널리 이용되고 있다. 이에 비하여 핵의학 영상은 생체내의 대사와 생화학적인 상태를 반영하는 기능적인 정보를 제공함으로써 해부학적 영상과 차별화된 역할을 담당한다. 그럼에도 불구하고 CT, MRI 등의 해부학적 영상과 핵의학 영상을 경쟁적인 관계로 평가하는 경향이 있고 어떤 검사가 더 우수한지에 대하여 논쟁이 지속되고 있다. 그러나 어떤 단일 검사도 복잡한 임상적 질문에 대하여 만족스런 답을 제시하기는 어렵다. 따라서 해부학적 영상과 기능적 정보를 제공하는 핵의학 영상은 상호 보완 관계에 있다고 보는 것이 더 정확하다. 서로 부족한 부분을 보완할 수 있는 장단점을 갖고 있는 것이다. CT, MRI 등은 해부학적으로 우수한 영상을 제공하지만 병소의 특성을 직접 평가할 수 없어서 대사변화만을 나타내는 조기 병소를 진단하기 어렵고 치료후 변화에 대한 평가에도 제한점이 많다. 이에 비하여 핵의학 영상은 병소의 기능적인 특성과 대사 변화를 정확하게 반영하지만 낮은 해상도와 일부 장기에만 섭취되는 영상의 특성으로 인하여 병소의 위치나 주위 장기와의 관계 등을 알기 어렵다.

과거에는 이러한 핵의학 영상의 단점을 지적하여 'nuclear medicine'을 'unclear medicine'이라 언급할 정도였으나 최근 핵의학 영

상분야의 획기적인 발전으로 ‘new clear medicine’이라는 수준까지 회복되었다. 특히 양전자단층촬영 (positron emission tomography, 이하 PET)은 영상의 질의 기존의 핵의학 영상에 비하여 매우 우수하고 해부학적 변화가 일어나기 전 단계인 대사 이상을 정확하게 찾아내므로 CT, MRI에 비하여 조기 진단이 가능하며 질환의 병기결정, 종양의 악성여부 판정, 치료후 효과 및 재발판정에 유용하게 이용되고 있다. 그럼에도 불구하고 해상도가 해부학적 영상과는 아직 비교하기 어려운 수준이며 핵의학 영상의 기본 원리상 앞으로 도 쉽게 극복할 수 없는 난제로 전망된다.

따라서 서로 보완적인 정보를 제공하는 CT, MRI와 PET와 SPECT (single photon emission computed tomography)에서 얻은 영상을 함께 놓고 육안으로 비교하는 방법이 오랫동안 사용되어왔고 더 정확하게 비교하기 위하여 두 영상을 하나로 합성하는 방법이 사용되기 시작하였으며, 최근에는 PET와 CT가 하나의 진단장비로 통합된 제품(이하 PET/CT)이 등장하기에 이르렀다. 특히 PET/CT는 기존의 영상합성과정에서 발생하는 오차를 줄여주어 검사의 정확도를 높일 뿐만 아니라 검사시간을 단축하여 보다 많은 환자를 검사할 수 있어 빠른 속도로 임상에 적용되고 있다. 여기서는 PET/CT의 개발 배경과 임상 이용에 대한 현황 및 전망에 대하여 알아보려고 한다.

## II. 영상합성 방법

가장 간단한 방법은 CT, MRI와 SPECT, PET 등을 육안으로 비교하는 것이다. 그러나 PET에서 나타난 병소나 관심영역을 CT나

MRI와 육안으로 비교하는 것은 쉽지 않다. 왜냐하면 두 영상간에는 해상도에 차이가 있고 서로 다른 조건에서 얻어진 PET 영상과 해부학적 영상을 직접 비교하는데는 무리가 많기 때문이다. 특히 병소의 크기가 2 cm 이하로 작거나 장관과 같이 움직이는 장기에서는 두 영상에서 동일한 부위를 찾아내기가 매우 어렵다.

이와 같은 단점을 극복하고 객관적인 자료를 얻기 위하여 핵의학 영상과 CT/MRI 등을 중첩시켜 하나의 영상으로 합성하는 방법이 개발되었다. 같은 위치에 해당하는 영상을 중첩시키기 위해서는 동일한 조건으로 영상을 변환시키는 알고리즘이 필요하다. 즉 같은 부위와 위치에 있는 영상을 얻기 위해서 영상 촬영 전에 기준점이 되는 인공적인 표지와 동일한 촬영조건을 설정한다. 이것은 전향적인 방법으로 영상을 얻기 전에 미리 합성을 고려하여 조건을 설정하였으므로 복잡한 알고리즘을 적용하지 않고도 우수한 영상을 얻을 수 있다. 그러나 실제로 일상적인 진료에서는 이와 같이 전향적 방법을 적용시키기 어렵다.

따라서 각각 얻어진 영상을 대상으로 같은 조건의 영상이 되도록 변형시켜 합성하는 방법이 주로 이용되고 있다. 그러나 이 방법은 이미 다른 조건으로 얻어진 영상을 통합하는 과정에서 오차가 발생할 위험성이 높다. 특히 복부나 골반내의 장기는 장의 움직임과 방광내 소변양에 의해 영향을 받고 CT와 PET 영상을 합성하는데 기준이 되는 표지가 적합하지 않기 때문에 합성영상을 정확하게 만들기가 어렵다. 따라서 장관과 같이 움직이는 장기에는 적용하기 어렵고 뇌영상과 흉부 영상 등 일부에만 국한되어 사용되고 있는 형편이

다. 또한 1.5 cm 이하의 림프절은 위치 선정에 있어 오차가 발생할 위험성이 크다. 이는 서로 다른 방법으로 얻어진 영상이기 때문에 촬영시 환자의 위치, 몸을 구부린 각도와 회전 정도의 미묘한 차이에 의해서도 오차가 발생하기 때문이다.

이와 같이 다른 방법에 의해 얻어진 영상을 합성하는 과정에서 발생하는 여러 가지 오차와 일부 장기에만 적용할 수 있는 제한점 외에도 합성과정의 번거로움과 오랜 시간을 소비해야 하는 등의 이유로 실제 임상 진료에는 이용도가 매우 낮다.

### III. PET/CT 합성기기의 개발

기존에 사용되어온 영상합성 방법의 문제점을 근본적으로 해결할 수 있는 방법이 최근 개발되었다. 원리는 매우 간단하여 PET와 CT를 통합한 진단기기를 이용하여 같은 시간과 장소에서 두가지 검사를 거의 동시에 시행하여 영상을 합성하는 것이다. 따라서 복잡한 통합 알고리즘이 없이도 합성 영상을 간편하게 얻을 수 있다. 다른 장비와 시간에 각각 얻은 영상에 비하여 위장관과 같이 움직이는 장치와 그 주변에 위치한 병소에 대한 위치 감별시 흔히 발생하는 오차를 줄일 수 있다. 또한 기존 방법으로는 PET와 CT는 절편의 두께가 서로 달라 부분체적효과 (partial volume effect)가 달리 나타나고 병소가 작으면 한쪽 영상에서는 아예 나타나지 않기도 하는데 비하여 PET/CT에서는 같은 절편 두께로 단면을 재구성하기 때문에 부분체적효과와 교정도 가능하고 같은 절편에서 병변이 나타나기 때문에 병소를 정확하게 찾을 수 있다.

PET/CT는 피츠버그 대학의 방사선과 교수 Townsend에 의해 처음 소개되었으며 BGO (Bismuth Germanium Oxide) 결정으로 구성된PET는 Siemens사(Iselin, NJ) Somatom AR를 사용하였고 여기에 다중검출기 나선식 (multi-slice helical) CT인 ECAT ART (CTI, Knoxville, TN)를 붙인 것이다. PET 회전부 앞에 CT 회전부를 붙여 하나의 แก트리로 만든 형태로 CT 튜브에서 나오는 열로 인해 PET의 크리스탈이 영향을 받지 않도록 두 회전부 사이에 60 cm의 간격을 두었다. CT 촬영시 발생하는 X-선 펄스는 PET 영상에 영향을 미칠 수 있으므로 CT와 PET를 순차적으로 촬영한다.

PET영상에서는 방사능의 분포를 정확하게 평가하고 영상의 왜곡과 변형을 막기 위하여 일반적으로 감쇠보정 (attenuation correction)이 필요하다. 이를 위해서는 투과영상을 얻어야 하며 방출 영상시 소요되는 시간과 유사한 정도의 시간이 소요된다. 감쇠보정을 위한 소프트웨어의 개발로 낮은 방사능 계수 효율과 잡음 (noise) 등의 문제점이 많이 향상되었으나 완전하지는 않다. Kinahan 등은 CT 영상 정보로도 PET에서와 같이 511 keV에 맞추어 조정된 감쇠지도를 만들 수 있음을 발표하였다. CT 촬영으로 투과영상을 얻으면 PET로 투과촬영시 쓰이는 선원보다 광량 (photon flux)가 10,000배 이상 많아 잡음이 거의 없는 우수한 영상을 얻을 수 있으며 무엇보다도 검사 시간을 단축할 수 있는 것이 큰 장점이다. 더욱이 최근에는 해부학적 정보를 이용한 분절 (segmented) 감쇠교정을 주로 사용하므로 오히려 유리하다. CT를 이용한 감쇠교정은 CT촬영시 숨을 참는데 비하여 PET 촬영시에는 자유롭게 호흡한 상태에서 평균 영상으로

평가하기 때문에 폐영상에서는 감쇠교정상의 오차가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 우선 감쇠교정을 위한 저선량 CT촬영을 먼저 시행하고 PET 방출영상을 얻은 후 진단용 CT를 촬영하기도 한다. 이 경우 진단용 CT를 가장 나중에 촬영하므로 투과영상에 방해가 될 수 있는 조영제를 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 PET 자체가 조영제의 필요성을 감소시켜주므로 이것을 장점으로 지적하는 것에 대하여 논란이 있다.

초기 PET/CT에서 소개된 촬영 방법은 환자에게 FDG (fluorodeoxyglucose)를 주사하고 60분 후 CT 촬영을 먼저 시작한다. 우선 정찰 (scout) 촬영을 하여 촬영할 길이를 정하고 각 분절 당 40초씩 영상을 얻는다. 숨을 깊게 들이쉬 후 40초간 숨을 참으며 영상을 얻는다. CT 촬영에는 약 5-10분 가량 소요되며, 이후 분절당 6-10분 동안 PET 방출 (emission) 촬영을 시행한다. 전체 방출 영상에는 40-60분 가량 소요되었으나 최근에는 더 좋은 성능의 PET와 CT를 장착한 기종들이 소개되면서 촬영시간이 현저하게 단축되는 추세이다.

PET/CT는 일반 PET에 비하여 투과영상에 소요되는 시간이 짧고, 최근에는 장착된 CT의 검출기 개수가 늘어나 전신 촬영을 1분 내에 마칠 수 있는 등 총 검사시간이 단축되었다.

따라서 보다 많은 환자를 검사할 수 있는 것이 PET/CT의 중요한 잇점이다. 향후에 PET에 LSO (lutetium orthosilicate), GSO (gadolinium oxyorthosilicate) 등 새로운 크리스탈이 장착되면 촬영시간이 12분대로 현저하게 감소할 것으로 예측되며 최근 이런 제품들이 이미 시판되고 있다. 또한 검사시간의 단축은 환자의 움직임에 의한 오차를 줄여서 검사의 정확

도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

PET/CT와 동일하게 SPECT와 CT가 통합된 진단기기(이하 SPECT/CT)도 소개되었다. 여러 종류의 종양특이항체나 아미노산 화합물 수용체 영상등은 정상 장기의 윤곽이 명확하지 않기 때문에 CT와 비교하여도 위치를 정확하게 찾을 수 없기 때문에 SPECT/CT가 크게 도움이 될 것으로 생각된다. 이는 방사면역신티그라피와 같이 특이 항체의 분포를 평가하거나, 정확한 위치 판정이 어려운 신경내분비 종양의 진단, 림프종에서의 Ga-67 영상과 흉부 CT의 합성 목적 등에 이용된다. Ga-SPECT/CT 합성영상은 림프종 환자의 40%에서 단독 영상에 비하여 추가적인 정보를 제공하는 것으로 알려졌다.

#### IV. PET/CT 합성영상의 임상적 이용

PET이 가장 많이 이용되는 임상 분야는 종양학이다. 따라서 PET/CT의 임상 적용도 현재까지는 악성종양의 진단과 전이여부 평가, 치료 효과 판정에 주로 이용되고 있다.

통합영상의 첫번째 목적은 두가지 검사의 장점을 이용하여 검사의 예민도와 특이도를 높이는데 있다. 예를 들어 CT에서는 정상 소견인데도 PET에서 이상 소견을 나타내면 형태학적 변화가 나타나기 전 단계에서 대사 변화가 먼저 발생하고 있음을 시사한다. 따라서 질환을 조기에 진단하고 병의 경과를 미리 예측할 수 있다. 이와는 반대로 CT에서 종괴가 관찰되는데 PET에서 이상 섭취가 관찰되지 않으면 의미있는 병소일 가능성이 낮다. 이와 같이 PET/CT에 의한 영상은 종양의 진단에 있어 예민도와 특이도를 모두 만족시킬 수 있다.

종양의 병기 결정에도 PET/CT 합성영상이 유용한 정보를 제공한다. 예를 들어 폐암의 경우 흉부 림프절 전이 정도가 치료 결과에 중대한 영향을 미치는데, CT상 림프절이 크게 관찰되더라도 양성 병소일 수 있으며 크기 1-1.5 cm의 경계선상에 있는 변화는 악성 여부를 평가하기가 어렵다. 또한 폐암의 흔한 형태인 비소세포암에서 종격동내의 림프절 전이를 CT에서 64%가량이나 놓치는 것으로 알려져 있는데 그 이유는 대부분이 크기가 정상 범위 이내이기 때문이다. 이 경우 PET에서의 FDG 섭취에 따른 대사성 정보가 악성 여부를 판정하는데 도움을 준다. 즉 PET은 림프절의 크기가 정상이더라도 악성 병소일 경우 양성으로 관찰되며 PET/CT는 의사들에게 친숙한 CT영상 위에 PET 병소를 정확하게 국소화할 수 있다.

항암 치료나 방사선 치료후 종양 조직은 괴사에 빠지거나 섬유화 변화를 나타내고, 혹은 악성 종양세포가 그대로 남아있게 된다. 또한 이런 변화들이 종양 조직내에 함께 관찰되기도 한다. 이런 병소의 감별에 PET 영상이 유용하게 이용되고 있으나 정확한 위치를 찾기는 쉽지 않다. 따라서 PET/CT를 사용하며 병소의 특성 규명과 함께 정확한 위치까지 찾아낼 수 있으므로 조직 생검의 위치 선정, 종양 여부 및 침범 범위에 대한 정확한 평가를 통하여 종양의 수술 가능성, 제거할 범위 및 방사선 치료의 범위 등을 결정할 수 있다.

PET/CT를 처음 개발한 피츠버그 대학병원에서 1998년 7월부터 2001년 2월까지 300여명의 종양환자에서 합성영상을 촬영한 결과 약 20-30%에서 진료 방향에 변화를 초래한 것으로 나타났다. 즉 다른 영상검사로는 찾지 못

했던 작은 병소를 새롭게 진단할 수 있었고 정확한 생검 위치를 선정하거나 병소의 악성 유무 판정에 중요한 정보를 제공하였다.

방사선 치료시에도 종양세포가 존재하는 부위에 대하여 정확하게 치료 계획을 수립해야 치료효과를 극대화할 수 있으므로 PET/CT 영상이 매우 효과적이며 DICOM 표준으로 출력되므로 쉽게 이용할 수 있다.

## V. 향후 전망

PET/CT 영상은 PET와 CT의 장점을 살려 우수한 해부학적 영상위에 병소의 특성과 대사를 반영하는 핵의학 영상의 정보를 제공함으로써 영상진단에 있어 또 하나의 획기적인 발전으로 기록될 것이다. PET와 CT가 하나로 통합된 PET/CT에서는 기존의 영상합성 과정에서 발생할 수 있는 오차를 줄여줌으로써 보다 정확하게 병소를 진단할 뿐만 아니라 검사 시간이 30분 전후로 단축되어 많은 환자를 검사할 수 있으므로 경제적인 측면에서도 이득이 있다. 또한 해부학적 영상에 익숙한 임상외과에게 핵의학에 친숙하게 접목시킬 수 있는 좋은 방법이며 임상적으로 질환의 조기 진단, 조직 검사의 위치선정, 수술, 방사선 치료를 위한 정보 제공, 치료후 경과 관찰 등에 유용하다. 아미노산 화합물 영상이나 분자핵의학 (molecular nuclear medicine) 영상과 같이 PET 영상만으로는 위치를 정확하게 파악할 수 없는 경우에 특히 도움이 될 것이다. 시간이 경과하면서 임상 자료가 축적되어 기존의 방법에 비하여 우수한 검사방법임이 증명된다면 PET/CT는 핵의학 영상의 기본 장비로 자리잡을 것이다.

현재 임상적 이용에 있어 가장 큰 걸림돌은 장비당 200~250만 달러나 하는 가격이다. 그러나 이 범위의 가격은 MRI, PET 상위 기종과 비교할 때 결코 비싼 편이라 할 수 없다. 특히 PET 자체가 투사 단층촬영 (transmission CT)의 기능을 갖고 있으므로 CT 튜브와 검출기 부분만 추가하면 되기 때문에 제작비를 줄일 수 있다. 문제는 어느 정도 성능의 CT와 PET을 조합하는 것이 임상적으로 적합한가 하는 것인데, 좋은 장비를 장착할수록 우수한 영상을 얻을 수 있겠지만 그와 비례하여 가격이 증가하는 것은 부담이 된다. 전반

적으로 진단기기의 가격은 점점 낮아지는 추세이므로 향후에는 더 쉽게 이용할 수 있는 장비가 될 것으로 전망된다. 기종에 따라서는 기존 PET에 추가로 CT를 장착하는 업그레이드 방법도 고려해 볼 수 있다.

업계에서는 올해 말까지 전세계 80-100여개의 기관에 설치될 것으로 추정하고 있다. 향후 빠른 속도로 보급률이 증가할 것으로 예상되며 현재에도 마케팅이 매우 활발하게 이루어지고 있다. 향후 경제적인 측면, 효용성에 대한 검토와 함께 PET/CT 합성영상에 대하여 보다 많은 임상연구가 필요하다. **KRIA**

## 참 고 문 헌

1. 강건욱. 중앙핵의학에서 PET/CT의 역할. 대한핵의학회지 2002; 36: 80-6
2. Beyer T, Townsend DW, Brun T, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology. J Nucl Med 2000; 41:1369-79
3. Hutton BF, Braun M, Thurfjell L, et al. Image registration: an essential tool for nuclear medicine. Eur J Nucl Med 2002; 29:559-77
4. Israel O, Keidar Z, Iosilevsky G, et al. The fusion of anatomic and physiologic imaging in the management of patients with cancer. Sem Nucl Med 2001; 31: 191-205
5. Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, et al. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. Med Phys. 1998; 25: 2046-53
6. Shreve PD. Adding structure to function. J Nucl Med 2000; 41:1380-2
7. Townsend DW, Cherry Sr. Combining anatomy and function: the path to true image fusion. Eur Radiol 2001; 11:1968-74