

## 핵의학 영상 물리 및 기기의 최신 동향

연세대학교 보건과학대학 방사선학과, 의과대학 영상의학과, 연세대학교 보건과학연구소  
김희중

### Current Status of Imaging Physics & Instrumentation In Nuclear Medicine

Hee-Joung Kim, Ph.D

Department of Radiological Science and Radiology, Yonsei University, Institute of Health Science,  
Yonsei University, Korea

Diagnostic and functional imaging device have been developed independently. The recognition that combining of these two devices can provide better diagnostic outcomes by fusing anatomical and functional images. The representative examples of combining devices would be PET/CT and SPECT/CT. Development and their applications of animal imaging and instrumentation have been very active, as new drug development with advanced imaging device has been increased. The development of advanced imaging device resulted in researching and developing for detector technology and imaging systems. It also contributed to develop a new software, reconstruction algorithm, correction methods for physical factors, image quantitation, computer simulation, kinetic modeling, dosimetry, and correction for motion artifacts. Recently, development of MRI and PET by combining them together was reported. True integration of MRI and PET has been making the progress and their results were reported.

The recent status of imaging and instrumentation in nuclear medicine is reported in this paper. (Nucl Med Mol Imaging 2008;42(2):83-87)

**Key Words:** PET/CT, SPECT/CT, MRI/PET, imaging physics

## 서론

1970년대 초 개발된 X-선 CT와 1980년대 개발된 MRI는 방사선학 분야의 대표적인 첨단영상 장비이다. 이들은 인체의 해부학적인 정보를 제공하는 데 매우 중요한 역할을 해왔으나 질병의 진행정도, 치료 후의 경과를 포함하는 인체의 기능정보를 제공하는 데는 한계가 있다. 이에 반해 1970년대에 개발된 핵의학 영상장비인 SPECT 또는 PET는 방사성 의약품을 이용하여 인체 내에서의 형태학적 변화 이전에 발생하는 생화학적 변화 또는 기능정보를 제공하는 첨단영상 장비이다. 그러나 SPECT와 PET는 기능적인 정보를 제공하는 반면 해상도가 낮고 방사성의약품이 분포된 부위가 주

로 영상화되기 때문에 해부학적인 정보를 위하여 CT와 MRI 영상을 활용하고자 하였다. 초기에는 PET/SPECT와 CT/MRI 데이터를 소프트웨어적으로 융합했으나 정확도와 임상적용의 불편함으로 SPECT/CT 또는 PET/CT<sup>1)</sup> 일체형 융합 첨단영상장비를 개발하게 되었다. SPECT/CT 또는 PET/CT 융합장비는 한번에 기능영상과 해부학적인 영상이 융합된 영상을 얻을 수 있고 이들의 설치 및 이용은 빠른 속도로 확산되었다. 이와 함께 소형 동물용 융합 영상장비도 매우 활발하게 활용되고 있다.<sup>2)</sup> 이어서 MRI와 PET이 결합된 융합장비가 개발되어 소형동물 영상은 물론 최근에는 인체의 뇌영상에도 적용하는 단계에 와 있다. 융합 영상시스템은 추가적인 많은 장점들이 있다. CT 영상을 이용 SPECT와 PET의 감쇄 보정,<sup>3)</sup> 산란보정<sup>4)</sup> 및 부분용적 보정<sup>5)</sup>에도 이용하였다. 물리적 특성에 대한 적합한 보정방법 개발 및 적용은 포도당표준섭취계수(SUV) 또는 치료계획을 위한 선량을 정확하게 계산하는데 매우 중요하다.

2001년에는 PET/CT, 2004년에는 SPECT/CT를 상업화한 후 급속한 기술 발전이 있었고 특히 종양 분야의 임상활용이 급격하게 증가하였다. 특히 지난 몇 년간 CT 분야는 MDCT의 눈부신 발전이 있었고, PET분야의 기술도 많은

• Received: 2008. 4. 13. • Accepted: 2008. 4. 18.

• Address for reprints: Hee-Joung Kim, Ph.D., Department of Radiological Science, Yonsei University, Wonju, Korea, 234 Maji Hungup Wonju 220-710, Korea  
Tel: 82-33-760-2475, Fax: 82-33-760-2815  
E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

※ 본 연구는 과학재단의 원자력 연구개발사업의 연구비 보조로 이루어졌음

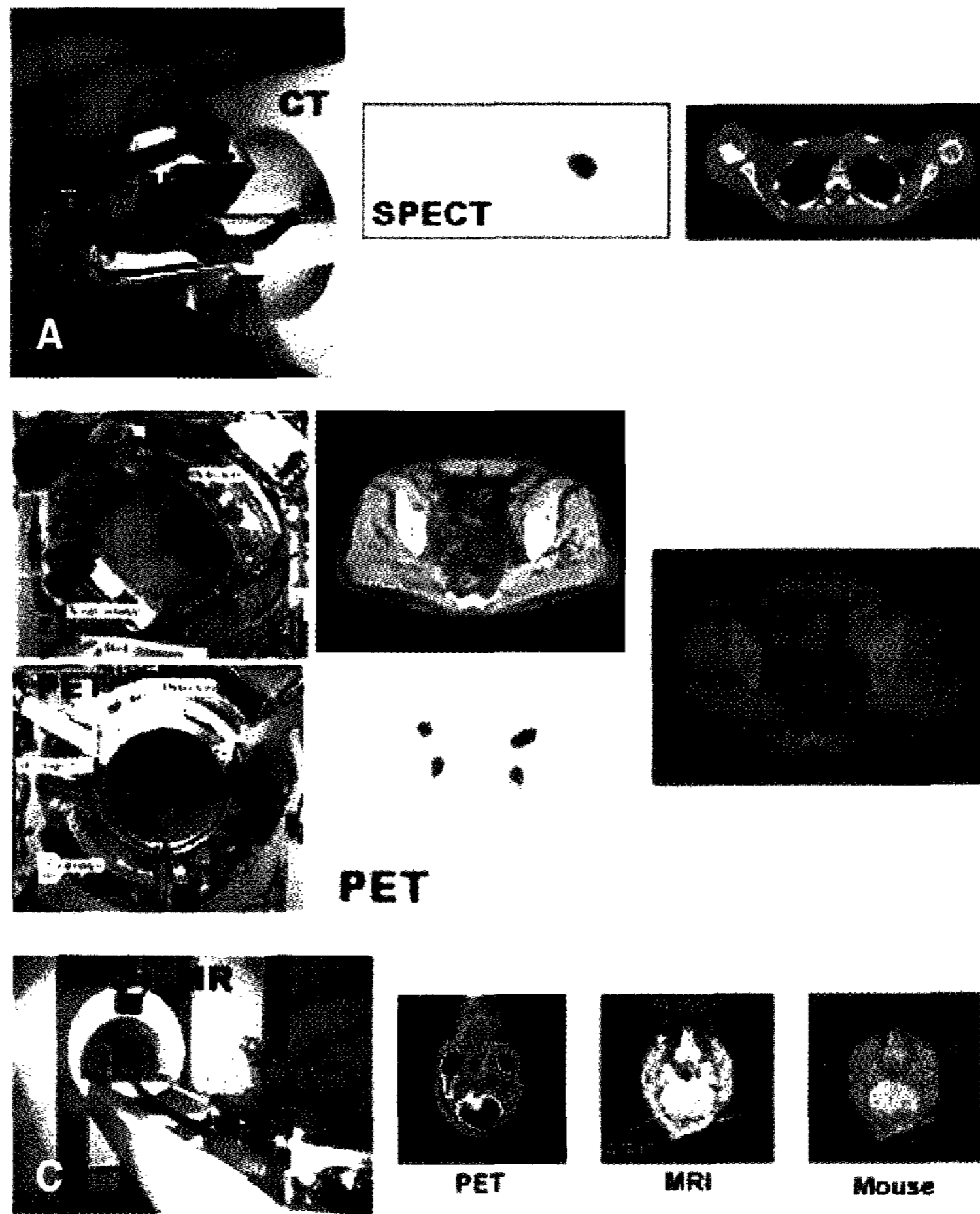


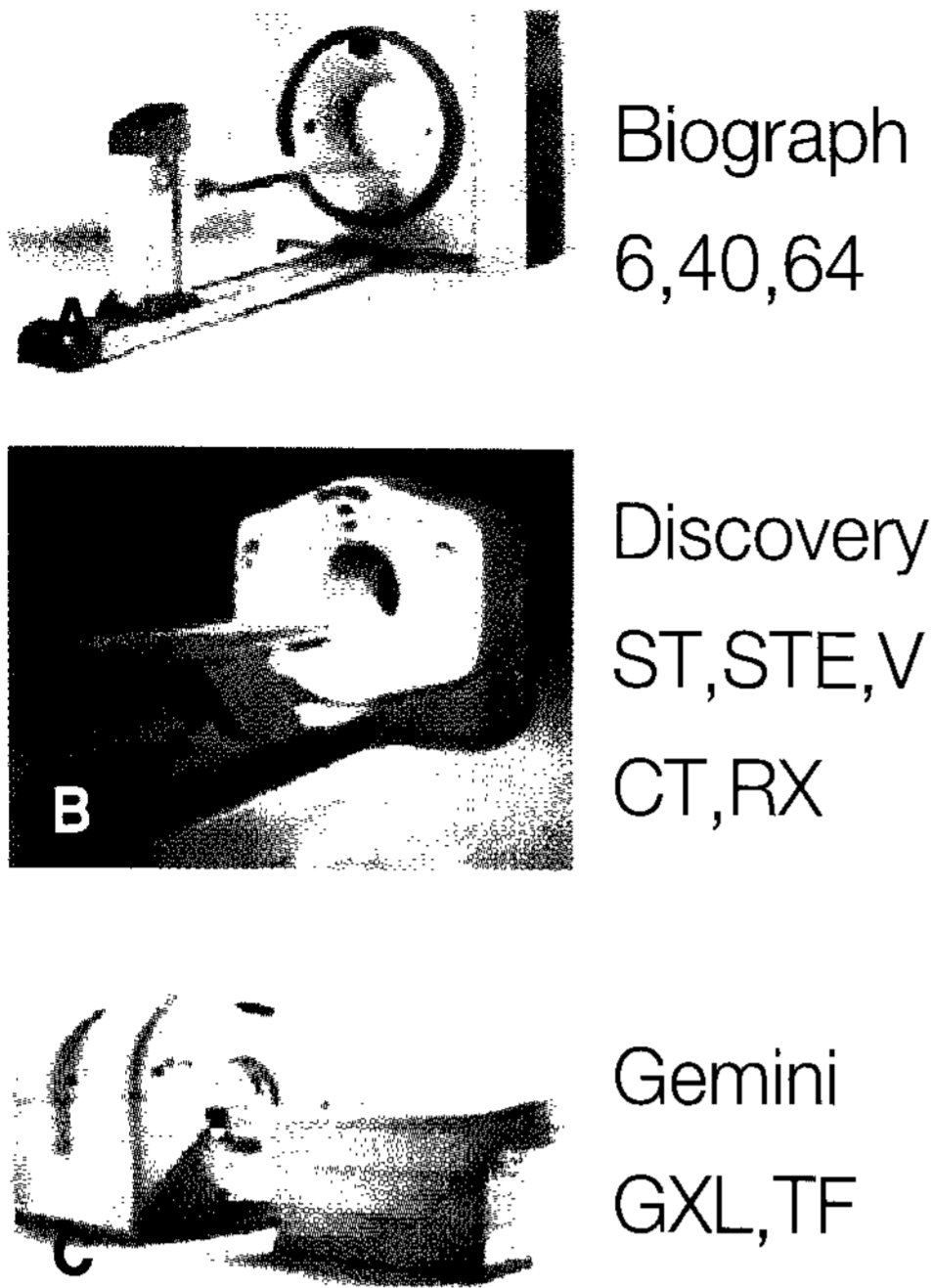
Figure 1. The first multimodality prototypes developed in the mid 1990s: (A) a SPECT/CT scanner, (B) a PET/CT scanner and (C) a MR/PET scanner.

발전이 있었다. 핵의학 영상기기 분야는 최첨단 융합영상 장치의 개발과 함께 하드웨어, 소프트웨어, 물리적 특성에 대한 보정기술, 영상 재구성 분야의 다양한 연구도 많은 진전이 있었다. 또한 영상기기의 설계 및 정량화 기법을 연구하기 위한 몬테카를로 시뮬레이션, 영상장비의 성능평가, 동력학 분석, 선량평가, 움직임 보정 및 융합영상의 정량화 및 분석 기법에 대한 연구도 활발히 진행되었다.

### 융합영상기기

초기 융합영상기기의 개발은 미국 Hasegawa 그룹에 의하여 소프트웨어를 이용한 영상 융합 대신 하드웨어 영상 융합을 위한 목적으로 시작되었다.<sup>6,7)</sup> 이 당시 융합 영상 시스템 개발 목적 중 하나는 동시에 방출 및 투과 단층영상이 가능한 검출기를 개발하는 것이었다<sup>7)</sup>. 그러나 해부학적 영상 및 기능영상을 하기 위한 단일 검출기 개발의 어려움으로 인하여 두 기종을 다른 방법으로 설계하여 최초의 SPECT/CT

시스템에 대한 연구결과를 발표하였다. 1996년 Hasegawa 그룹은 임상용 SPECT와 임상용 CT 기기를 결합하여 융합 SPECT/CT를 개발하였다(Fig. 1).<sup>8)</sup> 초기 융합영상기기인 SPECT/CT는 소수의 임상검사에 이용되었고 이는 주로 뇌종양 환자에서의 정량적 선량평가를 하는 목적이었다.<sup>9)</sup> 1990년대 초 미국 Townsend그룹은 독립적으로 융합 PET/CT 개발에 대한 제안을 하였다. 이 때 CT영상을 PET 영상의 감쇄보정에 이용할 수 있다는 제안이 있었다.<sup>10)</sup> 그 후 1998년에 최초의 PET/CT 시스템이 Pittsburgh 대학에 설치되어 임상평가를 하게 되었다.<sup>11)</sup> 최초의 PET/CT는 단일 검출기로 된 spiral CT (Somatom AR.SP: Siemens Medical Solutions, Forchheim, Germany)와 회전형 ECAT ART PET (CTI PET Systems, Knoxville, TN) 를 결합한 시스템이었다. 이 시스템은 앞에 CT 뒤에 PET를 결합한 시스템으로 전체가 한 시스템으로 회전하도록 구축되었다(Fig. 1B). PET감쇄 보정을 위하여 CT 에너지를 PET에너지로 보정한 후 감쇄 보정에 맞도록 개발한 알고리즘을 적용하였다.<sup>12)</sup>

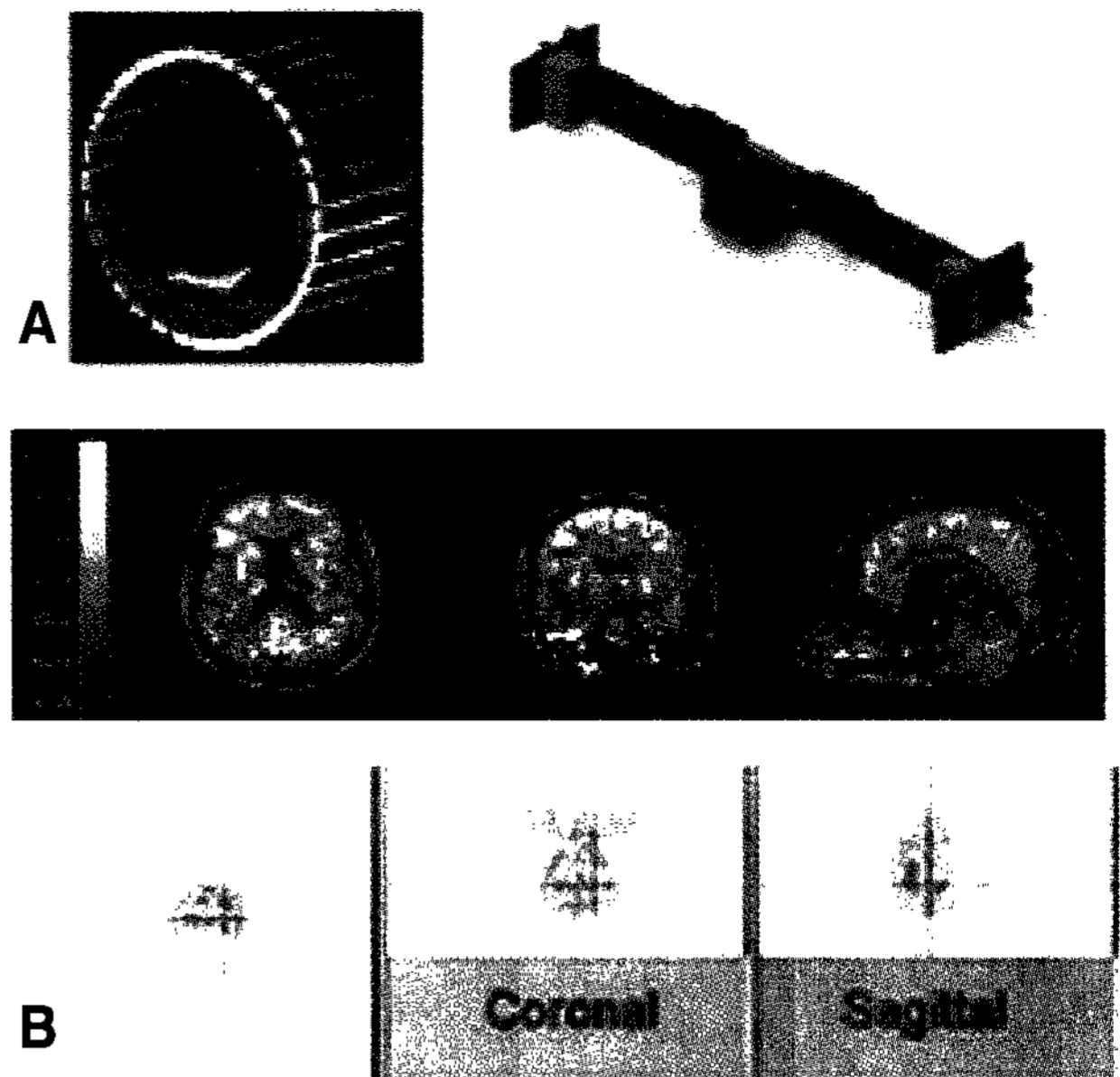


**Figure 2.** PET/CT scanner designs from three of the major vendors of medical imaging equipment: (A) the Siemens Biograph TruePoint, (B) the GE Healthcare Discovery range and (C) the Philips Gemini series. Note that the Gemini series (C) includes the Gemini TF, the first commercially-available PET/CT that has time-of-flight capability.

최초의 임상용 PET/CT는 기능적 영상에 해부학적 영상의 정확한 융합의 중요성을 검증하였고, 융합영상은 진단의 정확도를 향상시키는 것으로 나타났다. 또한 PET 감쇄 보정을 위하여 CT 영상을 이용함으로써 PET 검사시간을 획기적으로 단축할 수 있었다.

MRI/PET 시스템 개발 경우는 PMT를 이용하는 상업용 PET에 결합하여 MRI/PET를 개발하는 것으로 PET/CT에 비하여 기술적으로 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 왜냐하면 PMT는 MRI 자장에 매우 민감할 뿐만 아니라 MRI는 CT와는 영상원리가 다르고 더 복잡한 영상특성을 갖고 있다.

1990년대 중반 Hammer 그룹은 처음으로 MRI/PET 기기 문제들에 대해 연구결과를 발표한 그룹 중 하나였다.<sup>13-14)</sup> 1996년 최초로 NMR 스펙트럼과 함께 FDG를 이용한 쥐 심장영상 결과가 보고되었다.<sup>15)</sup> 비슷한 시기에 미국의 Shao와 Cherry 그룹은 전임상 동물용 소형 PET 검출기를 개발하였다(Fig. 1C).<sup>16)</sup> 이어서 동시에 동물영상을 획득할 수 있는 MRI/PET 융합영상기기를 구축하였다.<sup>17)</sup> SPECT/CT와 PET/CT 개발과는 달리 전임상 소형 동물용 MRI/PET 구축 후 10여년의 공백기가 있는 후 2006년에야 최초의 인체 뇌영상을 획득한 MRI/PET 시스템 구축이 발표되었다.<sup>18)</sup>



**Figure 3.** A design of an APD-based PET insert that operates within a clinical MR scanner to acquire MR and PET data simultaneously. (A) The design of the insert and (B) initial MR/PET images acquired with the system for the brain of a patient (top) and a dog (bottom).

## PET/CT와 MRI/PET의 발전

최초의 상업용 PET/CT는 2001년 발표한 Discovery LS (GE healthcare) 시스템이었다. 몇 달 후 비슷한 시기에 Biograph (Siemens Medical Solutions)와 Gemini (Philips Medical Systems)가 발표되었다. 현재는 GE Healthcare, Hitachi Medical, Philips Medical Systems, Toshiba Medical Corporation, 그리고 Siemens Medical Solution 5개사에서 PET/CT를 공급하고 있다. 이 중 3개사의 대표적인 최신 PET/CT 시스템은 Fig. 2와 같다.

MRI/PET은 2006년도까지는 주로 전임상 소형 동물용 시스템 개발이 주축을 이루었다. Wagenaar 등<sup>19)</sup>은 2006년 전 임상 MRI/PET연구 결과를 보고하였다. 동물용 MRI/PET과는 달리 임상용 MRI/PET개발에는 해결해야 할 많은 어려움이 있다. 그럼에도 불구하고 최근 뇌영상용 MRI/PET 개발에 대한 보고가 있었다.<sup>20)</sup> 최근 MRI/PET을 이용한 환자 및 동물영상을 획득하였다(Fig. 3).<sup>20)</sup> CT와는 달리 MRI영상은 감쇄 보정에 필요한 감쇄 지도 정보를 제공하지 않기 때문에 MRI를 이용한 감쇄 보정은 CT 경우와는 달리 매우 어렵다.

## 그 외의 영상기기

아직 설계 또는 연구단계이지만 PET/CT, SPECT/CT

외에 다른 융합영상장비들에 대한 연구도 지속적으로 발표되고 있다. 예를 들면 진단율을 높이기 위한 유방촬영기<sup>21)</sup>, 유방용 3D-CT와 SPECT<sup>22)</sup> 또는 PET<sup>23)</sup> 등이 있다. 최근 US와 유방촬영기<sup>24)</sup> 또는 PET/SPECT<sup>25)</sup>와의 융합영상기기 개발이 큰 관심을 끌고 있다.

## 영상 물리

의학 영상 물리 및 기기 관련하여 SPECT, PET, CT, MRI 및 융합영상기기의 많은 발전이 있었다. 융합영상기기인 SPECT/CT, PET/CT, MRI/PET 영상물리 및 기기의 발전은 영상기기의 검출기 및 이들 각자 또는 융합영상 시스템에 대한 요소기술의 지속적인 연구를 필요로 한다. SPECT와 PET의 영상 분야는 특성에 따른 다양한 섬광검출기의 개발은 물론 민감도, 해상도, 노이즈, 3D 특성에서부터 PET 경우 TOF (time-of-flight) 특성을 이용한 시스템 개발로 발전되고 있다.<sup>26)</sup> 또한 정량적 영상 평가에 영향을 미치는 물리적 인자, 검출기 응답곡선, 감쇄, 부분용적효과, 산란 등에 대한 많은 연구가 진행되었으며 이에 대한 많은 진전이 있었다. 특히 PET/CT와 SPECT/CT 융합영상 기기를 위하여 CT 영상을 이용한 감쇄보정에 대한 많은 연구가 있었다.<sup>8,27)</sup> CT는 연속에너지 스펙트럼으로 평균 70-100 keV 에너지 영역인데 반해 SPECT는 주로 140 keV, PET는 511 keV를 이용하기 때문에 이들 에너지에 대한 차이를 고려한 감쇄보정 기술개발이 필수적이었다. CT를 이용한 감쇄 보정의 또 다른 어려움은 CT와 SPECT 또는 PET와의 부정확한 정합이었다. 이는 감쇄보정 후 결과영상에 인공산물로 나타날 수 있어 정확한 정합 또는 정합과정에서 일어나는 움직임에 대한 보정을 필요로 하였다. 지난 5-6년 동안 움직임 보정에 대한 많은 연구가 진행되었다.<sup>28,29)</sup> 이와 함께 지난 10여년 동안 통계적 방법에 근거한 영상재구성 분야의 연구에도 많은 진전이 있었다. PET 재구성 방법으로 널리 이용된 3DRP(3D reprojection) 알고리즘은 노이즈가 적은 뇌영상에 적용되었다.<sup>30)</sup> 이어서 FORE (Fourier rebinning) 알고리즘<sup>31)</sup>, OSEM (ordered subset expectation-maximization) 알고리즘<sup>32)</sup>, AWOSEM (attenuation-based weighted OSEM) 등의 알고리즘<sup>33)</sup>이 개발되었다. 융합영상 기기인 SPECT/CT와 PET/CT는 동위원소와 결합된 방사성의약품에 의한 내부선량에 추가하여 CT촬영에 따른 외부선량을 받게 된다.<sup>34)</sup> SPECT와 PET 검사에 의한 내부선량 평가와 함께 CT 영상에 따른 정확한 선량 평가에 대한 연구가 진행되고 있으며,<sup>35)</sup> 영상의 화질은 유지하면서 선량을 최소화할 수 있는 선량의 최적화에 대한 지속적인 연구가 필요하다.<sup>36)</sup>

## 요 약

지난 몇 년 동안 핵의학 영상 물리 및 기기 관련 융합영상 기기 분야에 많은 발전이 있었다. 최근 몇 년 동안 국내 PET/CT 설치의 급속한 증가는 이들의 임상에서의 역할 및 그 중요성을 입증하고 있다. 그러나 PET/CT는 고가이고<sup>37)</sup>, 임상적으로 아직도 그 유용성이 입증되는 과정에 있으며<sup>38)</sup>, 특히 치료계획을 위한 장비로는, 미국의 경우 다소 많이 설치되었다<sup>39)</sup>는 평가가 공존하고 있다. 또한 저가로 해결할 수 있는 소프트웨어 융합도 가능하기 때문에 PET 대신 만드 PET/CT가 필요하다는 주장에는 위의 관점에서 그 한계가 있을 수 있다.<sup>37)</sup> 그럼에도 불구하고 PET/CT 설치의 계속 증가하고 있어 영상획득 또는 영상판독 모두 PET과 CT 분야의 훈련과 교육이 매우 중요하며 이에 대한 지침서가 발간되었다.<sup>40)</sup> PET/CT에 비하여 SPECT/CT는 발전속도가 다소 떨어지지만 이에 대한 지침서도 발간되었다.<sup>41)</sup> PET/CT와 SPECT/CT 모두 CT는 앞 부분에 PET과 SPECT는 뒷 부분에 설치된다. 이는 환자 영상을 얻을 때 동시에 얻는 것이 아니고 CT영상을 얻은 후 PET과 SPECT영상을 얻게 되는 단점이 있다. 이와는 달리 MRI/PET경우 뇌영상을 얻을 때 동시에 MRI와 PET영상을 얻을 수 있어 뇌영상 연구에 큰 도움이 될 것으로 예상하고 있다. 앞으로 기술이 발전함에 따라 전신용 MRI/PET과 유방영상을 위한 PET/US 융합영상장치의 개발 가능성이 매우 높다. 이와 함께 SPECT/CT, PET/CT 및 MRI/PET 기기의 발전도 계속될 것으로 판단된다. 핵의학 영상 물리 및 기기 분야는 최첨단 융합영상 장치의 개발과 함께 하드웨어, 소프트웨어, 물리적 특성에 대한 보정기술, 영상 재구성 분야의 다양한 연구도 많은 진전이 필요하다. 또한 영상기기의 설계 및 정량화 기법을 연구하기 위한 몬테카를로 시뮬레이션, 영상장비의 성능평가, 동력학 분석, 선량평가, 움직임 보정 및 융합영상의 정량화 및 분석 기법에 대한 연구도 더욱 활발히 진행될 것으로 예측된다.

## References

1. Townsend DW. Multimodality imaging of structure and function. *Phy Med Bio* 2008;53:R1-R39.
2. Woo SK, Kim Km, Cheon GJ. Small animal [18FDG]FDG PET imaging for tumor model study. *Nuc Med Mol Imaging* 2008;42: 1-7.
3. Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, Sashin D. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. *Med Phys* 1998;25: 2046-53.
4. Beyer T, Townsend DW, Brun T, Kinahan PE, Charron M, Roddy R, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology. *J Nucl*



- Med* 2000;41:1369-79.
5. Soret M, Bacharach SL, Buvat I. Partial-volume effect in PET tumor imaging. *J Nucl Med* 2007;48:932-45.
  6. Hasegawa BH, Gingold EL, Reilly SM, Liew SC, Cann CE. Description of a simultaneous emission-transmission CT system. *Proc SPIE* 1990:50-60.
  7. Hasegawa BH, Iwata K, Wong KH, Wu MC, Da Silva AJ, Tang HR, et al. Dual-modality imaging of function and physiology. *Acad Radiol* 2002;9:1305-21.
  8. Blankespoor SC, Xu X, Kaiki K, Brown JK, Tang HR, Cann CE, et al. Attenuation correction of SPECT using x-ray CT on an emission-transmission CT system: myocardial perfusion assessment. *IEEE Trans Nucl Sci* 1996;43:2263-74.
  9. Tang HR, Da Silva AJ, Matthay KK, Price DC, Huberty JP, Hawkins RA, et al. Neuroblastoma imaging using a combined CT scanner-scintillation camera and <sup>131I</sup>-MIBG. *J Nucl Med* 2001;42:237-47.
  10. Beyer T, Kinahan PE, Townsend DW, Sashin D. The use of x-ray CT for attenuation correction of PET data. *Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conf., 1994 IEEE Conference Record*. 1994;4:1573-7.
  11. Beyer T, Townsend DW, Brun T, Kinahan PE, Charron M, Roddy R, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology. *J Nucl Med* 2000;41:1369-79.
  12. Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, Sashin D. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. *Med Phys* 1998;25:2046-53.
  13. Hammer BE, Christensen NL, Heil BG. Use of a magnetic field to increase the spatial resolution of positron emission tomography. *Med Phys* 1994;21:1917-20.
  14. Christensen NL, Hammer BE, Heil BG, Fetterly K. Positron emission tomography within a magnetic field using photomultiplier tubes and lightguides. *Phys Med Biol* 1995;40:691-7.
  15. Buchanan M, Marsden PK, Mielke CH, Garlick PB. A system to obtain radiotracer uptake data simultaneously with NMR spectra in a high field magnet. *IEEE Trans Nucl Sci* 1996;43:2044-8.
  16. Shao Y, Cherry SR, Farahani K, Slaters R, Silverman RW, Meadors K, et al. Development of a PET detector system compatible with MRI/NMR systems. *IEEE Trans Nucl Sci* 1997;44:1167-71.
  17. Slaters R, Cherry S, Boutefnouchet A, Shao Y, Dahlborn M, Farahani K. Design of a small animal MR compatible PET scanner. *IEEE Trans Nucl Sci* 1999;46:565-70.
  18. Schlemmer H, Pichler PJ, Wienhard K, Schmand M, Nahmias C, Townsend D, et al. Simultaneous MR/PET for brain imaging: first patient scans. *J Nucl Med* 2007;48:45.
  19. Wagenaar DJ, Kapusta M, Li J, Patt BE. Rationale for the combination of nuclear medicine with magnetic resonance for pre-clinical imaging. *Technol Cancer Res Treat* 2006;5:343-50.
  20. Schlemmer H, Pichler PJ, Wienhard K, Schmand M, Nahmias C, Townsend D, et al. Simultaneous MR/PET for brain imaging: first patient scans. *J Nucl Med* 2007;48:45.
  21. Goode AR, Williams MB, Simoni PU, Galbis-Reig V, Majewski S, Weisenberger AG, et al. A system for dual modality breast imaging. *Nuclear Science Symp. IEEE Conf. Record* 1999;2:934-8.
  22. Crotty DJ, Madhav P, McKinley RL, Tornai MP. Investigating novel patient bed designs for use in a hybrid dual modality dedicated 3D breast imaging system. *Medical Imaging 2007: Physics of Medical Imaging (San Diego, CA, USA, 18-22 February 2007)* ed J Hsieh and M J Flynn (Bellingham, WA: SPIE).
  23. Tornai MP, Tai Y-C, McKinley RL, Janeczek M, Wu H. Initial design considerations of a dedicated hybrid mammothomograph for fully 3D x-ray CT and high resolution PET using object magnification. *J Nucl Med* 2005; 46(Suppl. 2):208-09.
  24. Sinha SP, Goodsitt MM, Roubidoux MA, Booi RC, LeCarpentier GL, Lashbrook CR, et al. Automated ultrasound scanning on a dual-modality breast imaging system: coverage and motion issues and solutions. *J Ultrasound Med* 2007;26:645-55.
  25. Lecoq P. TRIMODAL: PET/SPECT/US multiparametric evaluation on a breast imaging proposal, *EC FP7 programme: Health* 2007:1-77.
  26. Muehlethner G, Karp JS. Positron emission tomography. *Phys Med Biol* 2006;51:R117-37.
  27. Kinahan PE, Hasegawa BH, Beyer T. X-ray-based attenuation correction for positron emission tomography/computed tomography scanners. *Semin Nucl Med* 2003;33:166-79.
  28. Bacharach SL. PET/CT attenuation correction: breathing lessons. *J Nucl Med* 2007;48:677-9.
  29. Beyer T, Antoch G, Blodgett T, Freudenberg LF, Akhurst T, Mueller S. Dual-modality PET/CT imaging: the effect of respiratory motion on combined image quality in clinical oncology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:588-96.
  30. Kinahan PE, Rodgers JG. Analytic 3D image reconstruction using all detected events. *IEEE Trans Nucl Sci* 1989;36:964-8.
  31. Defrise M, Kinahan PE, Townsend DW, Michel C, Sibomana M, Newport DF. Exact and approximate rebinning algorithms for 3-D PET data. *IEEE Trans Med Imaging* 1997;16:145-58.
  32. Hudson H, Larkin R. Accelerated image reconstruction using ordered subsets of projection data. *IEEE Trans Med Imaging* 1994;13:601-9.
  33. Comtat C, Kinahan PE, Defrise M, Michel C, Townsend DW. Fast reconstruction of 3D PET data with accurate statistical modeling. *IEEE Trans Nucl Sci* 1998;45:1083-9.
  34. Brix G, Lechel U, Glatting G, Ziegler SI, Munzing W, Muller S, et al. Radiation exposure of patients undergoing whole-body dual-modality <sup>18F</sup>-FDG PET/CT examinations. *J Nucl Med* 2005; 46:608-13.
  35. Nam SR, Kim HJ, Cho H-M, Jung J-Y, Lee C-L, Lim HS, et al. The evaluation for attenuation map using low dose in PET/CT System", *Korean Journal of Medical Physics* 2007;18:134-8.
  36. Nam SR, Kim H-J, Jung J-Y, Cho H-M, Lee C-L. Quantitative Imaging with Low-Dose CT in the PET/CT System, *IEEE MIC, Conference Record* 2007:3436-9.
  37. Alavi A, Mavi A, Basu S, Fischman A. Is PET-CT the only option? *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007;34:819-21.
  38. Zaidi H. The quest for the ideal anato-molecular imaging fusion tool. *Biomed Imaging Interv J* 2006;2:49.
  39. Xing L. The value of PET/CT is being over-sold as a clinical tool in radiation oncology. For the proposition. *Med Phys* 2005;32:1457-8.
  40. Coleman RE, Delbeke D, Guiberteau MJ, Conti PS, Royal HD, Weinreb JC, et al. Concurrent PET/CT with an integrated imaging system: intersociety dialogue from the joint working group of the American College of Radiology, the Society of Nuclear Medicine, and the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance. *J Nucl Med* 2005;46:1225-39.
  41. Delbeke D, Coleman RE, Guiberteau MJ, Brown ML, Royal HD, Siegal BA, et al. Procedure guideline for SPECT/CT imaging 1.0. *J Nucl Med* 2006;47:1227-34.