

Original Article

# 범용 신틸레이터 감마카메라와 심근전용 반도체 감마카메라의 성능 비교 연구

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

반영각 · 황동훈 · 김정열 · 강천구 · 김재삼

## Compared Performance of Semiconductor SPECT in Myocardial Perfusion SPECT: Phantom study

Young Kag Bahn, Dong Hoon Hwang, Jung Yul Kim, Chun Koo Kang and Jae Sam Kim

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

**Purpose** Recently, Cadmium-zinc-telluride (CZT) semiconductor myocardial SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) has been used myocardial scintigraphy. In this study, the performance of Semiconductor SPECT and conventional SPECT systems was compared by a comprehensive analysis of phantom SPECT images.

**Materials and Methods** Methods: We evaluated the DSPECT CZT SEPCT (Spectrum-dynamic) and INFINA conventional (GE). Physical performance was compared on reconstructed SPECT images from a phantom.

**Results** For count sensitivity on cardiac phantom images ( $\text{counts} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ), DSPECT had a sensitivity of conventional SPECT. This classification was similar to that of myocardial counts normalized to injected activities from phantom images (respective mean values,  $\text{counts} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ : 195.83 and 52.83). For central spatial resolution: DSPECT, 9.47mm; conventional SPECT, 16.90mm. For contrast-to-noise ratio on the phantom: DSPECT, 4.2; conventional SPECT, 3.6.

**Conclusion** The performance of CZT cameras is dramatically higher than that of conventional SPECT. However, CZT cameras differ in that spatial resolution and contrast-to-noise ratio are better with conventional SPECT, whereas count sensitivity is markedly higher with the DSPECT.

**Key Words** CZT semiconductor myocardial SPECT, conventional SPECT, Myocardial Nuclearmedicine

## 서 론

최근 핵의학 검사에서 CZT (cadmium-zinc-telluride) 반도체 디텍터를 사용한 핵의학 영상장비가 이슈가 되고 있다<sup>1,4)</sup>. 기존 NaI(Tl) 디텍터를 사용하는 감마카메라에 비해 감도가 높고, 저선량 검사가 가능하다는 장점을 가지고 있다<sup>5,7,8)</sup>. 현

재 상용화 되어있는 장비는 심장전용 SPECT, 유방전용 감마 카메라, 범용 SPECT/CT 가 CZT 반도체 타입 디텍터로 개발 되고 출시 되고 있다. 현재 심근 관류검사에서 NaI(Tl) 듀얼 디 텍터를 사용한 SPECT와 CZT 반도체 디텍터 타입 심장 전용 SPECT가 임상에서 사용되고 있다<sup>6,9)</sup>. 본 연구는 NaI(Tl) 범용 SPECT와 CZT 반도체 타입 심장 전용 SPECT를 사용하여 심 근 관류 검사에서 팬텀 영상을 비교하여 성능 평가를 해보고 자 하였다.

• Received: September 26, 2016 Accepted: October 5, 2016

• Corresponding author : **Young Kag Bahn**

Address for correspondence : Department of Nuclear Medicine,  
Severance Hospital, Yonsei University Health System 50-1  
Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-752

Tel : +82-2-2228-6059, Fax : +82-2-312-0578

E-mail : Bahnyk@yuhs.ac

**Table 1.** SPECT camera acquisition

	DSPECT	INFINIA
Parameter		
Recording		
Collimator	Wide-angle parallel hole	LEHR or parallel hole
Energy window	140 keV±6%	140 keV±10%
Number of projections	120 (X9 blocks)	16 (X2 heads)
Detector angle between consecutive projections	0.4°-7°	3°
Reconstruction		
Method	Iterative 3D	FBP
	iteration: 4	Pre-filter: Butterworth Critical frequency : 0.4
	Subset: 32	Power : 10
Iteration filter	Kernel (0.125)	Ramp filter: Quantitative
	Normalizing filter	
Pixel size(mm)	4.92	6.6

## 실험재료 및 방법

### 장비 및 실험재료

장비는 Dynamic spectrum사의 D-SPECT 심장 전용 SPECT 장비와 GE사의 INFINIA 범용 감마카메라 장비를 사용하여 실험을 진행했다. D-SPECT 장비는 CZT 반도체 디텍터를 사용했고, INFINIA 장비는 NaI (TI) 신틸레이터 디텍터를 사용했다. 팬텀은 3-line 팬텀과 Jaszczak 팬텀을 사용하였다. 3-line 팬텀은 반치폭(Full Width at Half Maximum; FWHM)을 측정하여 공간분해능을 측정했다. 해상도 평가는 내경이 4mm 인 3라인 팬텀을 사용하여  $^{99m}\text{TcO}_4^-$  ml 당 2MBq 를 라인에 삽입했다. Jaszczak 팬텀을 사용하여 대조도대 잡음비(Contrast to Noise Ratio; CNR)와 계수 민감도(Counts Sensitivity)를 측정했다.

### 영상획득방법

영상의 획득과 재구성은 임상에서 쓰이고 있는 일반적인 심장 검사법에서 최적의 방법을 사용했다.

INFINIA장비는 3 라인 팬텀과 Jaszczak 팬텀 모두 심장 검사방법인 L-모드로 3도 회전하여 16 프로젝션을 생성하여 영상을 구성한다. 35분 동안 영상을 획득했다. 기존 NaI(Tl) 신틸레이터와 저에너지 콜리메이터를 사용하였고, 영상의 재구성은 여과역투사 (FBP; Filtered Back Projection) 방법을 사용했

다. Pre-filter는 Butterworth법을 사용했고, Critical frequency 0.4, Power 10, Ramp filter는 Quantitative를 사용했다. 픽셀 사이즈는 6.6 mm 였다.

DSPECT 장비는 CZT 디텍터 9개가 세로로 나열되어 있고, 텅스텐 조준기와 일체형이다. 각 디텍터가 미리 설정한 심장 관심영역에 맞게 0.4도-7도 회전한다. 그래서 120개의 프로젝션을 생성하여 영상을 구성한다. 8분 동안 영상을 획득했다. 영상재구성 방법은 Iterative 3D 방법을 사용했고, 심장 영상 전용 재구성법으로 사용된다. Iterative 3D 재구성법에서 iteration 4, Subset: 32 이고, Iteration filter 는 Kernel (0.125) 방법과 Normalizing filter 를 사용했다. 픽셀 사이즈는 4.92 mm 였다 (Table 1).

### 영상분석방법

해상력 평가는 팬텀의 중간부분 단면의 원형의 중앙부위 (Central), 종축부위(Tangential), 횡축부위(Radial)를 FWHM 을 사용하여 해상력을 측정 평가했다(Fig. 1).

계수민감도도 Jaszczak 팬텀을 사용하여 장비 QC 권고 계수인 200만 카운트를 획득하였습니다. 계수 민감도는 MBq당 계수율을 측정했다.

대조도대 잡음비는 Jaszczak 팬텀을 사용하여 12.7 mm 의 냉소 부위에서 1cm 의 크기로 관심영역을 설정하고, 주위 열소 부위의 1cm 의 크기로 6개 관심영역의 평균을 측정하여 분석했다(Fig. 2).

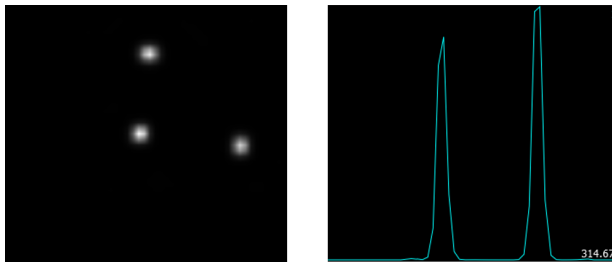


Fig. 1. Example, on median short-axis slice, of determination of maximal slope of 4 mm diameter SPECT phantom axial image, representing sharpness index. Distance is expressed in centimeters, and voxel intensity is expressed in percentage of maximal myocardial voxel value.

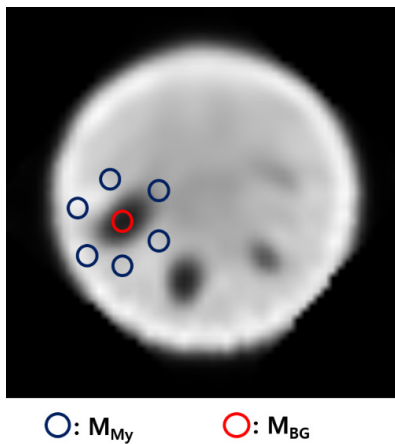


Fig. 2. 1 cm diameter circular region of interest placed inside hot and background regions in reconstruction Jaszczak phantom SPECT axial images.

## 결 과

CZT 반도체 타입 심장전용 감마카메라와 범용 감마카메라의 심장 검사시 영상평가는 해상력평가, 대조도대 잡음비, Bq 당 계수율을 팬텀 실험을 통해 평가했다. 해상력 평가는 반치 폭을 사용 했고, 중심부는 심장 전용 감마카메라가 9.47, 범용 감마카메라는 15.76 이었다. 횡축 방향은 11.32, 16.90 이었다. 종축 방향은 9.45, 16.47 이었다(Fig. 3). 반도체 타입 심장전용 감마카메라가 범용 감마카메라보다 중심부에서는 60%, 횡축 방향은 66.9%, 종축방향은 57.37% 높게 나왔다. 대조도대 잡음비는 CZT 반도체 타입 심장전용 감마카메라가 9.94 였고, 범용 감마카메라가 6.98 였다. MBq 당 계수율은 CZT 반도체 타입 심장전용 감마카메라가 195.83 였고, 범용 감마카메라가 52.83 였다. CZT 반도체 타입 심장전용 감마카메라가 범용 감마카메라 보다 대조도대 잡음비는 42.40%, 374.43% 더 높게 나왔다.

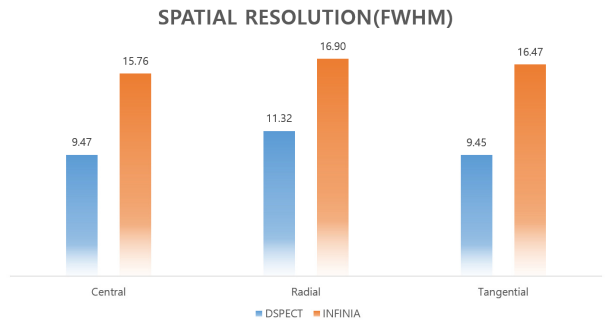


Fig. 3. Comparison of the 2 cameras. Spatial resolution was determined for phantom SPECT images using sharpness index for myocardial contours.

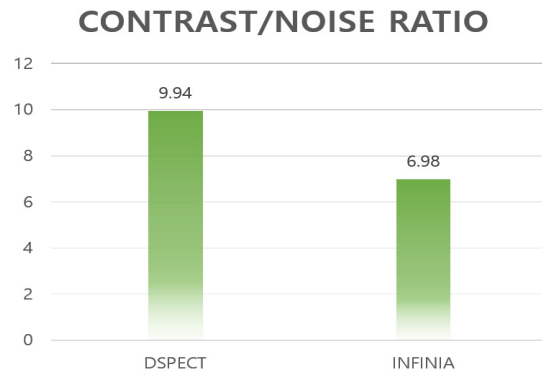


Fig. 4. Comparison of the 2 cameras. Contrast-to-noise ratio was determined for phantom SPECT images.

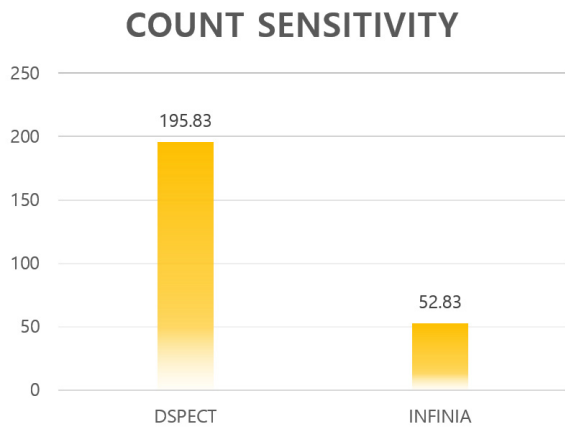


Fig. 5. Comparison of the 2 cameras. Count sensitivity was determined for phantom SPECT images by normalizing counts to recording time and injected activity.

## 고 찰

최근 CZT 반도체 타입의 감마카메라가 개발 되면서 많은

여러 논문들이 전세계적으로 발표 되고 있다. 본 논문은 우리나라에서 처음으로 기존 NaI(Tl) 범용감마카메라와 비교한 최초의 논문이다. 본 논문의 참고문헌인 Laetitia Imbert 의 논문을 참고 했지만, 직접 팬텀을 사용해 비교했다. 결과도 물론 같았다. 실험 방법상의 문제로 본문에서 언급되지 못했지만 임상환자의 영상분석을 시행했다. 같은 환자로 심장 검사결과가 변화가 없는 환자를 대상으로 진행했다. 28명의 환자로 영상분석을 했다. 임상 환자에서는 심근관류 영상에서 Short axis 영상의 중심 영상을 기준으로 Resolution은 평균 50% 향상, CNR은 약 50% 향상 되었다. Paired t-test 결과 p값이 0.05 이하 이므로 유의하게 통계적으로 유의했다. 하지만, 환자에게 투여된 선량, 검사 시간, 검사 자세 등 여러 조건이 일치하지 않아 오류 가능성이 높아 본문에는 포함하지 않았다. 이렇듯 단순 영상만을 비교 시에도 D-SPECT에서 IFINIA 장비보다 선량을 20% 감소 했음에도 불구하고, 해상력과 대조도대 잡음비 모두 50% 높게 측정되었다. 반도체 타입의 감마카메라는 핵의학 영상에서 선량 감소와 영상 질 향상이라는 두 가지를 모두 잡을 수 있을 것으로 예측된다. 그리고 심장 전용 감마카메라뿐 아니라, 현재 유방 전용감마카메라, 범용 감마카메라로 개발되고 있다. 핵의학 영상 발전에 큰 영향을 줄 것으로 생각 된다.

## 결 론

CZT 심장 전용 감마카메라와 범용 감마카메라의 팬텀 영상을 이용한 성능 평가에서 해상도, 대조도대 잡음비, MBq 당 계수율 모두 반도체 타입 CZT 심장전용 감마카메라가 높게 평가 되었다. 심근 관류 검사 시 반도체 타입 CZT 감마카메라를 이용하여, 검사를 진행 한다면, 높은 해상력과 낮은 피폭선량, 짧은 시간에 검사가 가능하여 심장 핵의학 발전에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 반도체 타입 범용 카메라가 개발되어 전체 핵의학 검사에 이용된다면 핵의학 발전에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

## 요 약

최근 Cadmium-zinc-telluride (CZT) 반도체를 이용한 심장 전용 감마카메라가 심장 핵의학 검사에 사용되고 있다. 본 연구는 기존 NaI(Tl) 신틸레이터를 사용한 감마카메라와 성능을 비교해 보고자 한다. CZT반도체를 사용한 심장전용 감마카메라(DSPECT, Spectrum-dynamic)와 범용 신틸레이터 SPECT 감마카메라(Infinia, GE)를 사용하여 연구를 진행했

다. 방사성 동위원소는  $^{99m}\text{TcO}^4$  를 사용하고, 일반 임상 심장 핵의학 검사에 사용된 조건을 실험 조건으로 설정 했다. NEMA 2001, 3 line phantom을 사용하여 반치폭(full width at half maximum, FWHM)을 측정하여 공간분해능(Spatial resolution)을 비교했다. 심장 팬텀을 사용하여 대조도대잡음비(Contrast to noise, CNR)를 비교하여 영상을 평가했다. 그리고 팬텀의 시간 당 MBq당 계수를 측정하여 민감도도 평가 했다. NaI (Tl) 신틸레이터를 사용한 범용SPECT 감마카메라와 CZT 반도체를 사용한 심장 전용 감마카메라의 영상평가에서 감도는  $52.83 \text{ count} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ 과  $195.83 \text{ count} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$  로 나왔고, 공간분해능은 16.90 mm과 9.47 mm로 나왔다. 그리고 대조도대 잡음비는 3.6 과 4.2 로 나왔다. 기존 카메라를 이용한 심장 핵의학 영상과 비교하여 CZT를 사용한 심장 전용 감마카메라는 감도 및 공간분해능, 대조도대잡음비가 기존 감마카메라와 비교하여 월등하여 임상에서 환자의 피폭선량 저감과 검사 시간 단축, 높은 분해능의 영상으로 환자 만족도에 큰 영향을 줄 것으로 사료 된다.

**Key words:** CZT 반도체 감마카메라, 범용 신틸레이터 감마카메라, 심장 핵의학

## 참고문헌

- Schillaci O, Danieli R. Dedicated cardiac cameras: a new option for nuclear myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:1706-1709.
- Mouden M, Timmer JR, Ottervanger JP, et al. Impact of a new ultrafast CZT SPECT camera for myocardial perfusion imaging: fewer equivocal results and lower radiation dose. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012;39:1048-1055.
- Duvall WL, Croft LB, Ginsberg ES, et al. Reduced isotope dose and imaging time with a high-efficiency CZT SPECT camera. *J Nucl Cardiol*. 2011;18:847- 857.
- Songy B, Guernou M, Lussato D, et al. Low-dose thallium-201 protocol with a cadmium-zinc-telluride cardiac camera. *Nucl Med Commun*. 2012;33:464- 469.
- Rajaram R, Bhattacharya M, Ding X, et al. Tomographic performance characteristics of the IQSPECT system. *IEEE Nucl Sci Symp Conf Rec*. 2011; 2451-2456.
- Erlandsson K, Kacperski K, Van Gramberg D, Hutton BF. Performance evaluation of D-SPECT: a novel SPECT system for nuclear cardiology. *Phys Med Biol*. 2009;

- 54:2635-2649.
7. Bocher M, Blevis IM, Tsukerman L, Shrem Y, Kovalski G, Volokh L. A fast cardiac gamma camera with dynamic SPECT capabilities: design, system validation and future potential. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37: 1887-1902.
  8. Buechel RR, Pazhenkottil AP, Herzog BA, et al. Real-time breath-hold triggering of myocardial perfusion imaging with a novel cadmium-zinc-telluride detector gamma camera. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37: 1903-1908.
  9. Pazhenkottil AP, Buechel RR, Herzog BA, et al. Ultrafast assessment of left ventricular dyssynchrony from nuclear myocardial perfusion imaging on a new high-speed gamma camera. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:2086-2092.
  10. Buechel RR, Herzog BA, Husmann L, et al. Ultrafast nuclear myocardial perfusion imaging on a new gamma camera with semiconductor detector technique: first clinical validation. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:773-778.
  11. Esteves FP, Raggi P, Folks RD, et al. Novel solid-state detector dedicated cardiac camera for fast myocardial perfusion imaging: multicenter comparison with standard dual detector cameras. *J Nucl Cardiol*. 2009;16:927-934.
  12. Songy B, Lussato D, Guernou M, et al. Comparison of myocardial perfusion imaging using thallium-201 between a new cadmium-zinc-telluride cardiac camera and a conventional SPECT camera. *Clin Nucl Med*. 2011;36:776-780.
  13. Vija AH, Zeintl J, Chapman JT, Hawman EG, Hornegger J. Development of rapid SPECT acquisition protocol for myocardial perfusion imaging. *IEEE Nucl Sci Symp Conf Rec*. 2006;3:1811-1816.
  14. Vija H, Hawman EG, Engdahl JC. Analysis of a SPECT OSEM reconstruction method with 3D beam modeling and optional attenuation correction: phantom studies. *IEEE Nucl Sci Symp Conf Rec*. 2003;4:2662-2666.
  15. Römer W, Reichel N, Vija HA, et al. Isotropic reconstruction of SPECT data using OSEM3D: correlation with CT. *Acad Radiol*. 2006;13:496-502.
  16. Shea SM, Kroeker RM, Deshpande V, et al. Coronary artery imaging: 3D segmented k-space data acquisition with multiple breath-holds and real-time slab following. *J Magn Reson Imaging*. 2001;13:301-307.
  17. Larson AC, Kellman P, Arai A, et al. Preliminary investigation of respiratory self-gating for free-breathing segmented cine MRI. *Magn Reson Med*. 2005;53: 159-168.
  18. Leung AO, Paterson I, Thompson RB. Free-breathing cine MRI. *Magn Reson Med*. 2008;60:709-717.
  19. Poussier S, Maskali F, Tran N, et al. ECG-triggered 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging of the rat heart is dramatically enhanced by acipimox. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:1745-1750.
  20. Marie PY, Djaballah W, Franken PR, et al. OSEM reconstruction, associated with temporal Fourier and depth-dependant resolution recovery filtering, enhances results from sestamibi and 201Tl 16-interval gated SPECT. *J Nucl Med*. 2005;46:1789-1795.
  21. Carù B, Colombo E, Santoro F, Laporta A, Maslowsky F. Regional flow responses to exercise. *Chest*. 1992;101(suppl):223S-225S.
  22. Ayalew A, Marie PY, Menu P, et al. A comparison of the overall first-pass kinetics of thallium-201 and technetium-99m MIBI in normoxic and low-flow ischaemic myocardium. *Eur J Nucl Med*. 2000;27:1632-1640.
  23. Ayalew A, Marie PY, Menu P, et al. 201Tl and 99mTc-MIBI retention in an isolated heart model of low-flow ischemia and stunning: evidence of negligible impact of myocyte metabolism on tracer kinetics. *J Nucl Med*. 2002;43:566-574.
  24. Groves EM, Bireley W, Dill K, Carroll TJ, Carr JC. Quantitative analysis of ECG-gated high-resolution contrast-enhanced MR angiography of the thoracic aorta. *AJR*. 2007;188:522-528.
  25. Nkoulou R, Pazhenkottil AP, Kuest SM, et al. Semiconductor detectors allow low-dose-low-dose 1-day SPECT myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med*. 2011;52:1204-1209.