

Original Article

# 반도체 심근 전용 감마카메라를 이용한 Rest $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI/Stress $^{201}\text{Tl}$ 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔에 관한 임상적 고찰

연세의료원 세브란스병원, 핵의학과

반영각 · 김동희 · 최용훈 · 강천구 · 김재삼

## Clinical Study of Simultaneous Acquisition Rest $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI/Stress $^{201}\text{Tl}$ Dual-Isotope Myocardial Perfusion Imaging with a Solid-State Dedicated Cardiac Gamma Camera

Young-Kag Bahn, Dong-Heui Kim, Yong-Hoon Choi, Chun-Koo Kang and Jae-Sam Kim

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

<b>Purpose</b>	The purpose of this study is to investigate the simultaneous dual isotope (SDI) myocardial perfusion scan that can be performed in a short time using a semiconductor gamma camera.
<b>Materials and Methods</b>	Of the 86 patients who underwent Rest/Stress $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI 1-day myocardial perfusion scan and Rest $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI/Stress $^{201}\text{Tl}$ simultaneous dual isotope myocardial perfusion scan using a heart-only gamma camera, the test results were the same, 36 patients who did not show any change in the clinical outcome. Quantitative values were statistically analyzed using a QPS program to confirm the correlation between the images of the two examinations.
<b>Results</b>	Rest/Stress $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI simultaneous dual myocardial perfusion scans and $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI/Stress $^{201}\text{Tl}$ double-isotope myocardial perfusion scans were analyzed for Summed score. The $R^2$ value of the Rest summed score (RSS) was 0.91 and the $R^2$ value of the stress summed score (SSS) was 0.71.
<b>Conclusion</b>	The $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI/Stress $^{201}\text{Tl}$ simultaneous dual isotope scan confirmed its correlation with the previous day's test. The $^{99m}\text{Tc}$ -sestaMIBI/Stress $^{201}\text{Tl}$ simultaneous dual isotope scan can be completed in approximately 30minutes. It may be clinically useful for patients who need short examination time such as emergency patients or elderly patients.
<b>Key Words</b>	CZT Myocardial SPECT, Simultaneous Dual Isotope, SDI

## 서 론

심근 관류 스캔은 관상동맥질환의 비침습적 진단에 매우 유용하다.  $^{201}\text{Tl}$ 은 1970년대에 심근 관류 스캔에 사용되기 시작

했다.  $^{99m}\text{Tc}$  표지 방사성의약품의 발전으로  $^{201}\text{Tl}$ 을 많이 대체하기 시작했다. 감마카메라의 발전과 더불어, PET의 혁신적인 발전으로 새로운 방사성의약품의 개발됐다.<sup>1)</sup> 최근 핵의학 검사에서 CZT (cadmium-zinc-telluride) 반도체 검출기를 사용한 핵의학 영상장비가 이슈가 되고 있다.<sup>2-4)</sup> 기존 NaI(Tl) 검출기를 사용하는 감마카메라에 비해 감도가 높고, 저 선량 검사가 가능하다는 장점을 가지고 있다.<sup>4,8,9)</sup> 현재 상용화 되어있는 장비는 심장전용 SPECT, 유방전용 감마카메라, 범용 SPECT/CT (single photon emission computed tomography/

• Received: October 01, 2018 Accepted: October 11, 2018  
• Corresponding author: **Young Kag Bahn**  
• Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System 50-1 yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-752, Korea  
Tel: 82-2-2228-8359, Fax: +82-2-312-0578  
E-mail: Bahnkyk@yuhs.ac

computed tomography)가 CZT 반도체 타입 검출기로 개발되고 출시되고 있다. 최근 CZT 타입의 반도체 감마카메라의 개발로 낮은 피폭선량, 높은 방사선 감도, 낮은 피폭선량으로 핵의학 검사를 진행할 수 있다. 게다가 처음 심근 관류 스캔에 적용되면서 심근관류 스캔의 영상 발전에 큰 도움이 됐다. 반도체 타입의 감마카메라는 에너지 분해능이 뛰어나고, 영상재구성 기술의 발전으로 이중 동위원소 동시 검사가 가능하게 됐다.<sup>11, 12</sup> 그래서 반도체 심근 전용 감마카메라를 이용하여 한번 스캔에 Rest/Stress 검사가 가능한 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔이 시행되고 있다. 그래서 본 연구는 기존의 검사 방법인 Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔 (1-day protocol)과 Rest <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔(simultaneous dual isotope; SDI protocol)을 임상적으로 비교, 연구 해보고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 장비 및 대상

장비는 Dynamic spectrum사의 D-SPECT 심장 전용 SPECT 장비를 사용하여 실험을 진행했다. D-SPECT 장비는 CZT 반도체 검출기를 사용했다(Table 1). 관상동맥질환이 없고, Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔과 Rest <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔을 각각 동일하게 검사한 86명의 환자를 대상으로 진행했다. 환자의 평균 연령은 71.69세이고, 남자 31명, 여자 15명을 대상으로 진행했다. 기간은 2016년 1월부터 2017년 12월까지 2년 동안 진행했다.

Table 1. D-SPECT specifications

Specifications	
Detector type	Pixelated (16 × 64)
Detector material	CdZnTe
Number of detectors	9
Field of view	15.74 cm × 3.94 cm
Collimator	Built-in Tungsten array
Energy resolution	<8% ( <sup>99m</sup> Tc)
System uniformity	Integral: <4%
Differential	<3%
System Planar Sensitivity	500 [cnts/mCi/min]
Tungsten + Lead shielding	170 keV

### 2. 영상획득방법

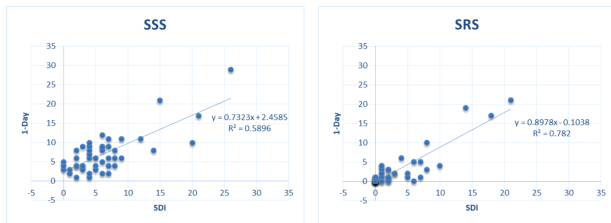
D-SPECT 장비는 CZT 검출기 9개가 세로로 나열되어 있고, 텅스텐 조준기와 일체형이다. 각 검출기가 미리 설정한 심장 관심영역에 맞게 0.4°-7° 회전한다. 그래서 120개의 프로젝션을 생성하여 영상을 구성한다. Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔과 Rest <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔을 진행했다. Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔방법은 3시간에서 5시간의 시간을 두고 Rest, Stress 검사를 하루 동안 진행했다. 첫 번째 REST 검사는 <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI (296 MBq)를 환자에게 정맥주사 후 5분간 스캔을 진행했다. 3-5시간이 지난 후 Stress 검사를 진행한다. 아데노신을 환자에게 6분간 정맥주사로 주입하면서 4분정도 부하가 최고일 때 <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI (888 MBq)를 정맥주사로 주입한다. 그 후 2분간 16채널 심전도와 동기화하여 스캔을 진행한다. 8분 동안 영상을 획득했다. 영상 재구성 방법은 iterative 3D 방법을 사용했고, 심장 영상 전용 재구성법으로 사용하였다. 재구성 조건은 iteration: 4, subset: 32이고, iteration filter는 kernel (0.125) 방법과 normalizing SD post filter를 사용했다. Rest <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔방법은 Rest와 Stress를 동시에 진행한다. <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI (195 MBq)를 환자에게 정맥주사 후 15분 후에 아데노신 약물부하를 6분간 진행한다. 4분째 부하가 최고일 때, <sup>201</sup>Tl (55.5 MBq)을 환자 정맥에 주입한다. 부하가 모두 끝난 후 8분간 1회 스캔 한다. 영상재구성 방법은 Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔방법과 동일하게 iterative 방법을 사용했고, iteration 4, subset: 32 이고, iteration filter는 kernel (0.125) 방법과 normalizing SD post filter를 사용했다.

### 3. 분석방법

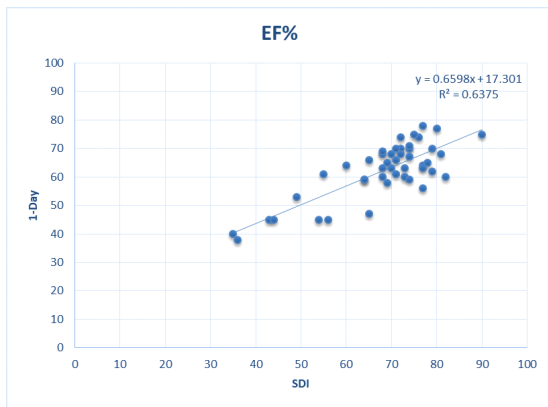
두 검사의 영상의 상관성을 확인하기 위해 QPS 프로그램을 이용하여 정량적 값을 통계적으로 비교 분석 했다. 각 환자의 global summed stress score (SSS)와 global summed rest score (SRS)를 사용했다. 그리고 심박출율(ejection-fraction; EF%)을 사용했다. 각 정량 값의 통계분석은 상관도와 블랜드-아트만 분석으로 확인했다.

## 결 과

Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔과 <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔을 summed score에서 통계적 분석법인 상관도 분석과 집단간의 상관성을 분석하는 블랜드-아트만 분석을 진행했다. 상관도 분석에서는 rest summed score (RSS)의 상관도 R<sup>2</sup> 값은 0.782 ( $p < 0.001$ )로 나왔고, stress summed score (SSS)의 상관도 R<sup>2</sup> 값은 0.589 ( $p < 0.001$ )로 나왔다(Fig. 1). 심박출율의 상관도는 0.637 ( $p < 0.001$ )로 나왔다(Fig. 2).

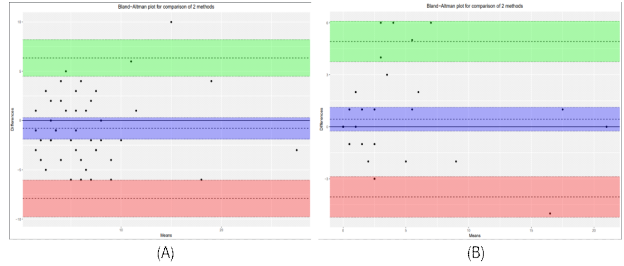


**Fig. 1.** This graph shows the correlation between Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI myocardial perfusion scan and <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl simultaneous dual isotope myocardial perfusion scan in rest summed score (RSS) and stress summed score (SSS). The correlation R<sup>2</sup> value of rest summed score was 0.782 ( $p < 0.001$ ) and the correlation R<sup>2</sup> value of stress summed score was 0.589 ( $p < 0.001$ ).

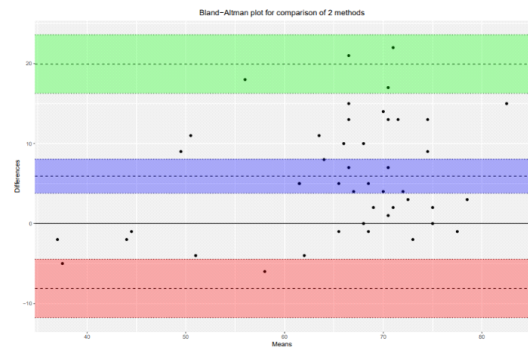


**Fig. 2.** This graph shows the correlation between Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI myocardial perfusion scan and <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl simultaneous dual myocardial perfusion scan at the ejection fraction score. The correlation R<sup>2</sup> value of the ejection fraction score was 0.637 ( $p < 0.001$ ).

블랜드-아트만 분석에서는 RSS와, SSS의 95% 신뢰구간 안에 대부분 위치하는 것으로 나왔다(Fig. 3). 심박출율의 상관도도 95% 신뢰구간 안에 대부분 위치하는 것으로 나왔다(Fig. 4).



**Fig. 3.** The value between the green dotted line and the red dotted line is 95% confidence interval. The rest summed score of (A) and the stress summed score of (B) are distributed in most confidence intervals.



**Fig. 4.** The value between the green dotted line and the red dotted line is 95% confidence interval. Ejection fraction score is distributed in most confidence intervals.

## 고 찰

본 연구는 심근 전용 감마카메라가 개발되면서 단시간에 검사가 가능한 이중 동위원소 심근 관류 동시스캔에 대해 연구를 진행했다. 기존의 당일 Rest/Stress 심근 관류검사가 6-8시간 진행하면서 임상에서 환자에게 큰 불편함 중에 하나였다. 하지만 이중동위원소 심근 관류 동시스캔 프로토콜이 개발되면서 장시간 검사에서 1시간 내외로 검사시간이 획기적으로 감소했다. 2016년도의 Ayano Makita et. al.의 연구에서는 각 관상동맥에서의 변화를 <sup>99m</sup>Tc-tetrofosmin을 이용하여 관상동맥 조영술과 비교해 연구했다.<sup>12)</sup> 이 연구에서도 이중 동위원소 심근 관류 동시스캔의 장점 언급했다. 본 연구는 기존 검사와 비교함으로써 임상에서 받아들이는 영상에서의 변화를 알아봤고, 관련성을 제시했다. 한계점으로는 팬텀실험을 통해 영상의 영향이 없는 상태에서 실험을 진행하지 못했다. 하지만, 임상에서 환자들에게 짧은 검사시간으로 만족도가 높고 기존 검사방법과 크게 차이가 나지 않았다. 추후 더 많은 연구를 진행해 정확한 검사를 위해 노력할 것이다.

## 결 론

<sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 동시 검사는 기존의 당일 심근관류 검사와 높은 상관성을 확인했다. <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 동시 검사는 검사 소요시간이 단시간에 완료 가능하다. 그러므로 응급환자나 고령의 환자 및 당일시행 검사 등 짧은 검사시간이 필요한 환자에게 시행한다면 임상적으로 도움이 될 것으로 사료된다.

## 요 약

본 연구는 반도체 심근 전용 감마카메라를 이용하여 단시간에 검사가 가능한 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔에 대해 임상적으로 연구 해보고자 한다. 심장 전용 감마카메라를 사용하여 Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔과 Rest <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔을 같이 검사한 86명의 환자 중 검사 결과가 동일하고 임상적으로 심장질환의 변화가 없는 환자 36명을 대상으로 분석 했다. 두 검사의 영상의 상관성을 확인하기 위해 QPS 프로그램을 이용하여 정량적 값을 통계적으로 분석 했다. Rest/Stress <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI 당일 심근관류 스캔과 <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 심근 관류 동시 스캔을 summed score에서 상관도를 분석했다. RSS의 R<sup>2</sup> 값은 0.91로 나왔고, SSS의 R<sup>2</sup> 값은 0.71로 나왔다. <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 동시 검사는 기존 당일 검사와 상관성을 확인했다. <sup>99m</sup>Tc-sestaMIBI/Stress <sup>201</sup>Tl 이중 동위원소 동시 검사는 검사시간이 약 30분만에 완료 가능하다. 응급환자나 고령의 환자 등 짧은 검사시간이 필요한 환자에게 임상적으로 도움이 될 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. Laetitia I, Sylvain P, Philippe R. F, et al. Compared Performance of High-Sensitivity Cameras Dedicated to Myocardial Perfusion SPECT: A Comprehensive Analysis of Phantom and Human Images. *J Nucl Med* 2012; 53:1897-1903
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Rajaram R, Bhattacharya M, Ding X, et al. Tomographic performance characteristics of the IQSPECT system. *IEEE Nucl Sci Symp Conf Rec*. 2011; 2451-2456.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Simona B, Krzysztof K, Sharon H, et al. Simultaneous dual-radionuclide myocardial perfusion imaging with a solid-state dedicated cardiac camera. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. Published online: 11 April 2010.
12. Ayano Makita, Naoya Matsumoto, Yasuyuki Suzuki, et. al. Clinical Feasibility of Simultaneous Acquisition Rest <sup>99m</sup>Tc/Stress <sup>201</sup>Tl Dual-Isotope Myocardial Perfusion Single-Photon Emission Computed Tomography With Semiconductor Camera. *Circulation Journal*. Published online: 18 January 2016.