

**Original Article**    **Discovery NM 530c(D530c)에서 촬영한 심근관류 SPECT 환자의 움직임 감소활동을 위한 연구**

서울아산병원 핵의학과  
이동훈 · 최우준 · 정우영

**Motion Reduction Activities in Patients undergoing Myocardial Perfusion SPECT with the Discovery NM 530c(D530c)**

Dong Hun Lee, Woo Jun Choi and Woo Young Jung  
*Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea*

**Purpose**    The D530c have cadmium zinc telluride(CZT) detectors that are arranged focus on the heart. This structural characteristic allows for quicker imaging without rotation, but this is sensitive to patient movement and can affect the test results. The aim of this study is to optimize the image quality by reducing patient movement during the examination.

**Materials and Methods**    We analyzed the patients' movements, and performed various activities such as provided patient education about correct breathing techniques and avoiding patient movements, and created breathing correction tools to minimize patient movement during exam. The 70 patients who underwent myocardial perfusion SPECT with D530c in November 2016 were categorized as the group before the corrective steps. Another 70 patients who underwent the procedure with D530c from February 14, 2017 to February 21, 2017 were categorized as the improvement group. Images acquired during stress and at rest were compared and analyzed by measuring the durations of heart movements over certain distances (4 mm, 8 mm, 12 mm, or more) noted on the x-, y-, and z-axes.

**Results**    After the activities, the durations of heart movements decreased in the images acquired both under stress and at rest. In particular, there were no large motions greater than 12 mm recorded in the stress images after the improvement. There was a significant difference ( $p < 0.005$ ) in the 4-mm and 8-mm fluctuations on the X-axis and the 8-mm fluctuations on the Z axis in the stress images, but there was no significant difference ( $p > 0.005$ ) in the other stress and rest intervals.

**Conclusion**    The decrease in the time of motion occurrence due to the 4 mm fluctuation distance that can occur through breathing can be understood as a result of the breathing being corrected through training and motion prevention tools. It is expected that the image quality will be improved by reducing the occurrence time according to the variation distance of 8 mm or 12 mm, which is expected as the actual movement of the patient other than the breathing.

**Key Words**    D530c, motion, image quality

· Received: September 29, 2017    Accepted: October 20, 2017  
· Corresponding Author: **Hoon-Hee Park**  
· Address for correspondence : Department of Radiological Technology, Shingu College,

377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, 462-743, Korea  
Tel: +82-31-740-1638, Fax: +82-31-740-1589  
E-mail: hzpark@shingu.ac.kr

## 서 론

심장검사 전용장비 D530c는 적은 양의 방사성의약품을 사용하여 짧은 시간에 검사가 가능한 최신의 장비이다. D530c 장비에서 사용되는 Cadmium Zinc Telluride(CZT) 디텍터는 NaI(Tl) 섬광검출기에 비해 변환효율이 크게 향상되어 민감도와 해상도가 기존 감마카메라에 비해 높은 것으로 알려져 있다<sup>1,2,3)</sup>. 이는 환자의 촬영시간과 방사선 피폭량을 줄일 수 있음을 의미하며, 본원에서 사용 중인 프로토콜 기준으로 기존 감마카메라에 대비 대략 1/3 정도의 스캔시간으로 심근관류 SPECT의 촬영이 가능하다. 하지만 D530c는 CZT 검출기 19개가 심장을 중심으로 회전 없이 촬영되는 구조적 특성으로 인해 기존 감마카메라에 비해 환자의 움직임에 민감하며, 이는 영상의 해상도를 떨어뜨려 검사결과에 일부 영향을 미칠 수 있다<sup>4)</sup>. 특히 기존 감마카메라와 달리 Liste mode로 영상을 획득하여 사이노그램을 확인 할 수 없기 때문에<sup>5)</sup> 이로 인해 일부 환자의 영상에서 움직임으로 인해 발생된 artifact를 병변으로 오인할 수 있어 정확한 진단에 어려움이 발생할 수 있다. 또한 정확한 판독을 위해서 motion correction 등의 추가적인 파일생성이 요구되며, 이는 업무 효율성을 떨어뜨리고 판독이 지연될 수 있다. 이를 위해 장비 제조사에서 제공한 움직임을 보정할 수 있는 새로운 방식의 움직임 보정 방법이 사용되고 있으나 큰 효과는 없었으며, 실제 보정 효과가 미비하다는 문헌들도 발표되었다. 이에 본 연구에서는 D530c에서 심근관류 SPECT 촬영 중 발생하는 환자의 움직임 감소활동을 통해 영상 품질의 최적화를 목적으로 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 연구 대상

개선 활동 전 2016년 11월에 D530c에서 심근관류 SPECT 검사를 시행한 70명의 성인 환자(남성 44명, 여성 26명, 평균 연령 62.5±11.6세)를 대상으로 하였다(Table 1). 개선 후 2017년 2월 14일부터 2017년 2월 21일까지 동일한 검사를 시행한 환자 70명(남성 45명, 여성 25명, 평균 연령 63.2±10.2세)과 비교 분석하였다(Table 2).

Table 1. Information of the group before the corrective steps

Total No.	Male	Female	Age(years)
			Mean±SD
70	44	26	62.5±11.6

Table 2. Information of the improvement group

Total No.	Male	Female	Age(years)
			Mean±SD
70	45	25	63.2±10.2

### 2. 장비 및 도구

심근관류 SPECT 검사는 D530c(General Electric Healthcare, Israel)를 사용하였으며, 아테노신 약물부하 후 6분간 stress 촬영을 하였고, 3시간 뒤에 6분간 rest 촬영을 하여 영상을 획득하였다(Fig. 1). 팬텀 실험을 위해 cardiac phantom을 이용하였고, 실제 stress와 rest 촬영 시 측정되는 count rate와 동일한 비율로 <sup>201</sup>Tl 44 kBq/ml와 <sup>201</sup>Tl 20 kBq/ml를 각각 주입하여 팬텀 영상을 획득하였다(Fig. 2).



Fig. 1. D530c was used for acquisition.



Fig2. Cardiac phantom was used experiments.

### 3. 영상분석

Xeleris Ver. 3.0(General Electric Healthcare, USA) 프로그램을 사용하였다. 제조사에서 제공한 프로그램(Motion Detection and Correction)을 이용하여 stress와 rest 촬영이 끝난 후 검사 시작 전 위치에서 X, Y, Z 축으로 이동된 심장의 변동거리(4 mm, 8 mm, 12 mm 이상)별 총 발생시간을 측정하여 각 군 간의 평균과 표준편차를 비교 분석하였다(Fig. 3,4). 각각의 축 방향으로 변동된 거리별로 총 발생시간을 기술통계와 독립표본 T 검정으로 비교 분석하였다. *p*값은 0.05미만일 경우에 통계적 유의성을 인정하였으며, SPSS Ver. 12를 이용하여 통계분석 하였다.

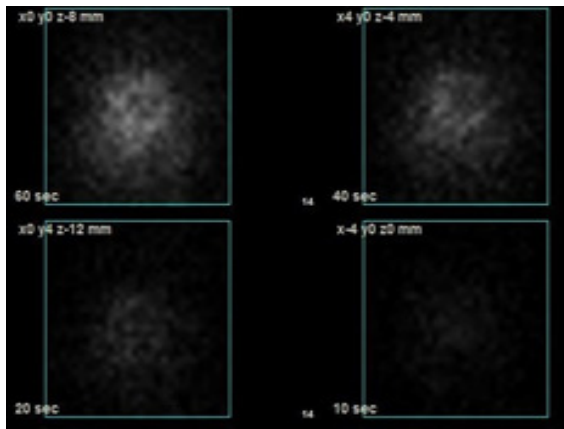


Fig. 3. Position bins were created.

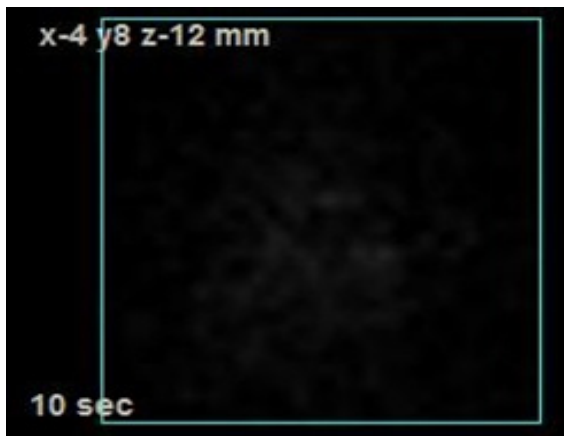


Fig. 4. The duration of heart movements over certain distances noted on the x-, y-, and z- axes.

### 4. 움직임의 발생 원인 분석

- 1) 재채기 및 기침
- 2) 검사 자세의 불편함
- 3) 수면 중 발생하는 무의식적인 움직임
- 4) 약물부하 후 환자의 움직임(심호흡) 등

심근관류 SPECT 촬영 중 위와 같은 다양한 원인으로 환자의 움직임이 발생하였으며, 이는 심장의 움직임을 유발하여 일부 영상에 motion artifact를 발생할 수 있다.

### 5. 움직임 감소 활동

#### 1) 환자의 호흡 교육 및 사전 연습을 통한 움직임 감소

개선 전에는 아테노신 약물 부하가 끝난 후 약 5분 정도 검사실 앞 의자에 대기하면서 심호흡을 설명 하였으나, 검사 중에도 심호흡이 지속되어 복부 및 가슴의 팽창을 통해 심장의 움직임이 발생할 수 있었다. 이를 개선하여 약물 부하가 끝난 후에도 침대에 누워서 검사 시작 전 까지 호흡의 안정을 위해 심호흡을 시행하였고, 검사 중에는 환자가 얇은 호흡을 할 수 있도록 간호사가 교육 및 사전 연습(simulation)을 시행하였다(Fig. 5).

#### 2) 환자교육을 통한 움직임 감소 유도

검사를 시행하기 전에 artifact가 발생된 영상자료를 보여주며 검사중 움직이지 않아야 한다는 점을 강조하였고, 얇은 호흡의 중요성에 대하여 교육하였다. 이를 통해 환자가 움직임이나 깊은 호흡에 의해서 문제점이 발생할 수 있다는 사실을 자각하여 검사 중 움직임을 최소화 할 수 있도록 유도하였다(Fig. 6).



Fig. 5. Provided patient education about correct breathing techniques.



Fig. 6. We developed respiratory education materials.

### 3) 호흡보정 도구 활용을 통한 움직임 감소

복부를 압박대로 고정하던 방식을 개선하여, 중앙학과에서 환자 움직임 고정 기구로 사용하는 조직등가물질인 RT-MEV-Cradle 활용하여 복부를 압박 할 수 있는 형태로 도구를 제작하였다. 이를 이용하여 환자의 복부에 일정한 압박을 실시함으로 검사 중 얇은 호흡을 할 수 있도록 유도하여 횡격막에 의한 심장의 움직임을 최소화 하였다(Fig. 7,8).



Fig. 7. Created breathing correction tool.



Fig. 8. Breathing correction tool was worn.

## 결 과

개선 전·후 촬영된 영상에서 심장의 움직임 발생 시간을 측정하고 비교 분석하였다. 평균적으로 환자 1인 당 심장의 움직임 발생 시간을 비교하였을 때, stress와 rest 영상에서 모두 감소되었다. 특히 개선 후 stress 영상에서는 호흡 이외에 환자의 움직임에 의해 발생된다고 판단되는 12 mm 이상의 큰 움직임이 0회(발생시간 0초)로 기록되었다.

### 1. X축 방향

환자 1인 당 심장의 움직임 발생 시간을 비교하였을 때, stress와 rest 영상에서 모두 움직임 발생 시간이 감소되었다. Stress 영상에서 축 4mm, 8mm 변동거리의 움직임은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다. Rest 영상에서 stress에 비해 모든 변동거리에서 움직임 발생시간이 증가되었다(Table 3).

Table 3. Comparison of the durations of heart movements over certain distances on the X-axis

N=70	distance	Group	Mean±SD(sec)	t	p
Stress	4mm	Before	159.9±62.5	3.20	0.002
		After	129.4±19.2		
	8mm	Before	8.7±15.0	3.27	0.002
		After	2.4±5.8		
	12mm이상	Before	0.3±1.6	1.42	0.16
		After	0.0±0.0		
Rest	4mm	Before	168.1±50.2	1.28	0.20
		After	157.1±42.3		
	8mm	Before	20.3±28.9	0.57	0.56
		After	17.3±33.0		
	12mm이상	Before	0.6±2.3	0.83	0.40
		After	0.3±1.4		

### 2. Y축 방향

평균적으로 환자 1인 당 심장의 움직임 발생 시간 역시 stress와 rest 영상에서 모두 감소되었으며, stress와 rest의 모든 구간에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다. X축과 동일하게 모든 변동거리에서 stress에 비해 rest에서 움직임 발생시간이 증가 되었다(Table 4).



**Table 4.** Comparison of the durations of heart movements over certain distances on the Y-axis

N=70	distance	Group	Mean±SD	t	p
Strees	4mm	Before	154.1±54.3	0.16	0.87
		After	152.6±60.8		
	8mm	Before	16.7±31.7	1.22	0.23
		After	9.9±35.0		
	12mm이상	Before	0.4±2.7	1.35	0.18
		After	0.0±0.0		
Rest	4mm	Before	178.9±41.4	1.26	0.21
		After	169.5±45.7		
	8mm	Before	25.7±35.4	0.23	0.81
		After	24.4±29.7		
	12mm이상	Before	1.7±5.6	0.83	0.72
		After	1.4±3.9		

**3. Z축 방향**

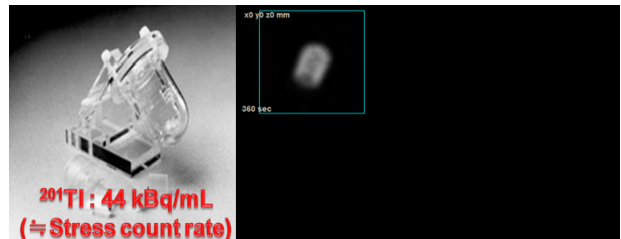
환자 1인당 심장의 움직임 발생 시간 역시, stress와 rest 모든 변동거리 별에서 감소되었으며, Stress 촬영 시 Z축 8 mm 변동거리의 움직임 발생시간은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이전 결과와 동일하게 rest 영상에서 stress에 비해 모든 변동거리에서 발생시간이 증가되었다 (Table 5).

**Table 5.** Comparison of the durations of heart movements over certain distances on the Z-axis

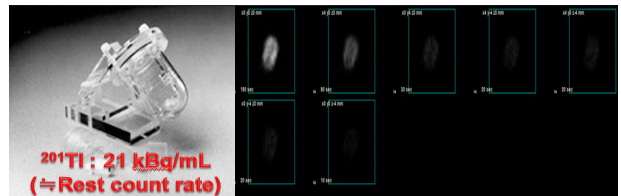
N=70	distance	Group	Mean±SD	t	p
Strees	4 mm	Before	148.0±82.7	1.56	0.12
		After	127.0±76.0		
	8 mm	Before	7.6±18.0	2.16	0.033
		After	2.6±7.2		
	12 mm이상	Before	1.0±8.4	1.00	0.32
		After	0.0±0.0		
Rest	4 mm	Before	172.6±66.8	1.57	0.12
		After	154.2±72.1		
	8 mm	Before	22.8±39.1	1.43	0.15
		After	13.7±36.3		
	12 mm이상	Before	1.6±6.1	0.80	0.43
		After	0.9±4.4		

**4. 팬텀 실험**

앞에 결과에서 stress 영상에 비해 rest 영상에서 환자의 움직임이 증가하는 추세를 보였다. 환자의 움직임 외에 rest 촬영 시 count의 감소에 의한 움직임 발생시간을 확인하기 위하여 팬텀 실험을 하였다. 실제 환자의 stress 촬영 시에 측정되는 count rate와 같은 비율로 용량을 팬텀에 주입하여 촬영을 한 결과에서는 6분 동안 각 축 별로 움직임 발생시간이 전혀 없었다. 두 번째 실험에는 rest 촬영 시에 측정되는 count rate와 같은 비율로 용량을 주입 후 촬영을 한 결과에서 모든 축 방향으로 일부 움직임이 발생하는 수치를 확인할 수 있었다(Fig. 9,10).



**Fig. 9.** The dose that was injected the same count rate as that stress scan.



**Fig. 10.** The dose that was injected the same count rate as that rest scan.

**고 찰**

D530c는 국내 최초로 설치된 유일한 장비로서 본 연구에 대한 다양한 경험이나 정보교환에 있어 제한이 있었다. 환자의 움직임으로 발생한 artifact에 관하여 동일한 장비가 설치되어 있는 해외병원의 상황을 확인한 결과, 몇몇 병원에서 본원과 같은 문제점을 인식하고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 검사 중 호흡으로 인한 복부의 환자의 움직임을 감소하기 위하여 수건이나 시트 등으로 복부를 압박하는 방법과 움직임이 발생 시 재촬영을 하는 방법 외에는 D530c가 설치되어 있는 세계 어느 병원에서도 환자의 움직임을 감소하기 위한 활동은 확인할 수 없었다. 개선 활동 전·후의 심장의 움직임이 감소된 시간을 수치로 비교 분석하였으나, 감소 시간의 정도에 따른 영상품질의 향상을 직접적으로 측정 할 수는 없었다. 본 연구

는 파킨슨 환자나 신경외과 환자와 같이 교육이 불가능한 경우나 환자의 당일 컨디션에 따라 큰 효과를 기대할 수 없었으나, 성별, 체중, 연령 외의 환자의 추가적인 정보를 통해 더욱 다양한 환자의 움직임 발생 상황을 파악할 수 있을 것으로 예상된다. 팬텀 실험을 통해 rest 촬영 시에는 환자의 움직임 외에 count의 감소로 인한 심장의 움직임이 추가로 발생하는 사실을 확인할 수 있었으며, 이에 관하여 스캔시간, 용량 등의 변화에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 결 론

움직임 감소활동을 통해 변동거리에 따른 심장의 움직임 발생 시간의 감소를 통계적으로 확인할 수 있었다. 개선 활동 전·후 활동 모든 결과에서 stress에 비해 rest 촬영에서 모든 축과 변동거리 별 환자의 움직임 발생시간이 증가된 것을 확인할 수 있었다. 이는 rest 촬영 시 낮은 count로 인해 실제 환자의 움직임에 비해 발생시간이 증가된 결과일 수도 있지만, stress 촬영 시 rest 촬영과는 다르게 안정적인 호흡과 심장박동 차이에 의해 발생된 결과일 가능성도 고려할 필요가 있다. 호흡에 의해서도 발생 가능한 4 mm 변동거리에 따른 움직임 발생 시간의 감소는 교육 및 사전연습과 움직임 방지 도구를 통해 검사 중 환자의 호흡이 보정된 결과로 파악되며, 호흡 이외의 환자의 실제 움직임으로 예상되는 8 mm, 12 mm 이상의 변동거리에 따른 발생시간 감소를 통해 영상품질의 향상을 가져올 것으로 사료된다.

## 요 약

D530c는 cadmium zinc telluride (CZT) detector가 심장을 중심으로 배열되어 회전 없이 짧은 시간에 검사가 가능하며 높은 해상도의 영상획득이 가능하다. 하지만 이러한 구조적 특성으로 인해 환자의 움직임에 민감하며, 검사 결과에도 일부 영향 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 D530c에서 검사 중 발생하는 환자의 움직임 감소 활동을 통해 영상 품질의 최적화를 목적으로 한다. 환자의 다양한 움직임 원인을 분석하여 호흡보정 도구 제작, 환자의 호흡 및 움직임에 관한 주의 사항 교육 등의 개선활동을 시행하였다. 개선 전 대상으로 2016년 11월에 D530c에서 심근관류 SPECT를 시행한 환자 70명을 선정하였고, 개선 후 2017년 2월 14일부터 2017년 2월 21일까지 시행한 환자 70명을 대상으로 하였다. 검사 시작 전 위치에서 X, Y, Z 축으로 이동된 심장의 변동거리(4 mm, 8 mm, 12 mm 이상)별 움직임 발생시간을 측정하여 개선 전·후

Stress와 Rest 영상을 각각 비교 분석하였다. 개선활동 후 심장의 움직임 발생시간이 stress와 rest 영상에서 모두 감소되었으며, 특히 stress 영상에서 12 mm 이상의 큰 움직임 발생횟수가 0회(발생시간 0초)로 기록되었다. 심장의 위치가 X축으로 4 mm, 8 mm 변동된 발생시간과 Z축으로 8 mm 변동된 발생시간은 통계적으로 유의한 차이가 있었지만( $p < 0.005$ ), 그 외 stress와 rest의 모든 구간의 발생시간은 유의한 차이가 없었다( $p > 0.005$ ). 호흡에 의해서도 발생 가능한 4 mm 변동거리에 따른 움직임 발생시간의 감소는 교육 및 움직임 방지 도구를 통해 검사 중 환자의 호흡이 보정된 결과로 파악되며, 호흡 이외의 환자의 실제 움직임으로 발생되었을 것으로 예상되는 8 mm, 12 mm 이상의 변동거리에 따른 움직임 발생시간 감소를 통해 영상 품질의 향상을 가져올 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. Laetitia Imbert, Sylvain Poussier, Philippe R. Franken, Bernard Songy, Antoine Verger, Olivier Morel, 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. Yasuyuki Takahashi, Masao Miyagawa, Yoshiko Nishiyama, Hayato Ishimura, Teruhito Mochizuki. Performance of a semiconductor SPECT system: comparison with a conventional Anger-type SPECT instrument. *Ann Nucl Med* 2013;27:11-16
3. Chi-Lun Ko, MD, Yen-Wen Wu, MD, PhD, Mei-Fang Cheng, MD, Ruoh-Fang Yen, MD, PhD, Wen-Chau Wu, PhD, and Kai-Yuan Tzen, MD. Data-driven respiratory motion tracking and compensation in CZT cameras: A comprehensive analysis of phantom and human images. *J Nucl Cardiol* 2014;2:308-318
4. Doumit Daou, MD, PhD, Re my Sabbah, MD, Carlos Coaguila, MD, and Hatem Boulahdour, MD, PhD. Feasibility of data-driven cardiac respiratory motion correction of myocardial perfusion CZT SPECT: A pilot study. *J Nucl Cardiol* 2016;24:1-11
5. Yoshiko Nishiyama, MD; Masao Miyagawa, MD, PhD; Naoto Kawaguchi, MD; Masashi Nakamura, MD; Tomoyuki Kido, MD, PhD; Akira Kurata, et al. Combined Supine and Prone Myocardial Perfusion Single-Photon Emission Computed Tomography With a Cadmium Zinc Telluride Camera for Detection of Coronary Artery Disease. *Circulation Journal* 2014;5:1169-1175