

Original Article

## 심근관류 SPECT에서 움직임 보정 방법들의 비교

서울 아산병원 핵의학과  
박장원 · 남기표 · 이동훈 · 김성환

### The Comparison of Motion Correction Methods in Myocardial Perfusion SPECT

Jang-Won Park, Ki-Pyo Nam, Hoon-Dong Lee and Sung-Hwan Kim  
*Department of Nuclear Medicine, AsanMedicalCenter, Seoul, Korea*

**Purpose** Patient motion during myocardial perfusion SPECT can produce images that show visual artifacts and perfusion defects. These artifacts and defects remain a significant source of unsatisfactory myocardial perfusion SPECT. Motion correction has been developed as a way to correct and detect the patient motion for reducing artifacts and defects, and each motion correction uses different algorithm. We corrected simulated motion patterns with several motion correction methods and compared those images.

**Materials and Methods** Phantom study was performed. The anthropomorphic torso phantom was made with equal counts from patient's body and simulated defect was added in myocardium phantom for to observe the change in defect. Vertical motion was intentionally generated by moving phantom downward in a returning pattern and in a non-returning pattern throughout the acquisition. In addition, Lateral motion was generated by moving phantom upward in a returning pattern and in a non-returning pattern. The simulated motion patterns were detected and corrected similarly to no-motion pattern image and QPS score, after Motion Detection and Correction Method (MDC), stasis, Hopkins method were applied.

**Results** In phantom study, Changes of perfusion defect were shown in the anterior wall by the simulated phantom motions, and inferior wall's defect was found in some situations. The changes derived from motion were corrected by motion correction methods, but Hopkins and Stasis method showed visual artifact, and this visual artifact did not affect to perfusion score.

**Conclusion** It was confirmed that motion correction method is possible to reduce the motion artifact and artifactual perfusion defect, through the apply on the phantom tests. Motion Detection and Correction Method (MDC) performed better than other method with polar map image and perfusion score result.

**Key Words** Thallium-201, Motion correction, Myocardial perfusion SPECT

## 서 론

세계적으로 높은 사망률을 보이는 심장질환은 매년 증가 추세에 이르고 있으며 우리나라 또한 서양화된 식생활로의 변화, 비만, 당뇨, 고혈압 등과 같은 위험에 장년층의 심장질환 비율이 크게 증가하고 있다. 이는 갑작스러운 사망으로

이어질 수 있기에 진단을 적절한 예방 및 치료가 이루어져야 한다. 이러한 질병 진단의 일환으로, 심근관류 SPECT는 관상동맥 질환 진단 뿐 아니라 치료효과 판정과 경과관찰, 환자의 예후 및 위험도 평가에 사용되어왔다.<sup>1)</sup> 이에 따라 높은 진단의 정확성을 위해 영상의 질을 향상시키는 여러 인자가 개발되었지만, 수검자의 움직임은 데이터를 배열하는 과정에서 위치 정보가 왜곡되어 영상 재구성 시 인공적 관류 결손과 움직임 인공 산물을 발생시켜 정확한 진단에 영향을 주게 된다.<sup>2-4)</sup>

따라서 본 논문은 GE 장비의 움직임 보정방법인 Hopkins, Stasis, Motion Detection and Correction Method (MDC)를

• Received: September 29, 2014. Accepted: October 21, 2014.  
• Corresponding author: **Jang Won Park**  
Department of Nuclear Medicine, AsanMedicalCenter,  
388-1 Pung nap 2-dong Song pa gu, seoul 138-736, Korea  
Tel: +82-2-3010-4609 Fax: +82-2-3010-5429  
E-mail: counterasd@naver.com

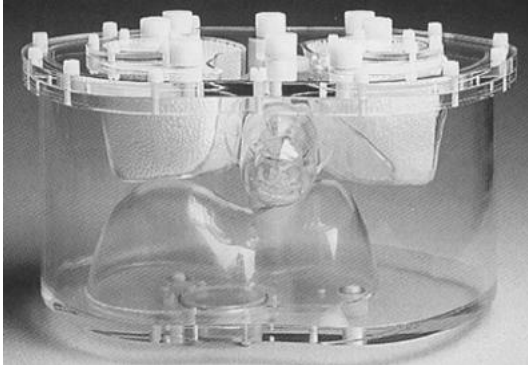


Fig. 1. Anthropomorphic torso phantom.

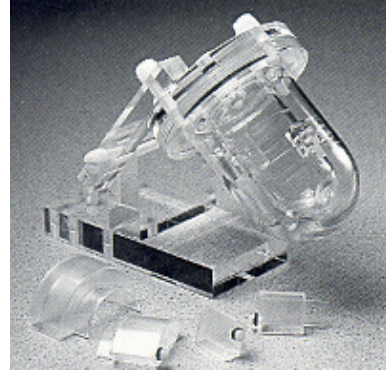


Fig. 2. Cardiac insert phantom.

Table 1. Anthropomorphic torso phantom

1) Lateral outside dimension : 38 cm
2) Lateral inside dimension : 36 cm
3) Anterior-posterior outside dimension : 26 cm
4) Anterior-posterior inside dimension : 24 cm
5) Wall thickness : 9.5 mm
6) Liver volume : 1.2 liters
7) Background : 10.3 liters

Table 2. simulated phantom motions

	Axis	Pixel	Number
Vertical non-returning pattern (VNRP)	Y	3	1
Vertical returning pattern (VRP)	Y	3	Repeat
Lateral non-returning pattern (LNRP)	X	3	1
Lateral returning pattern (LRP)	X	3	Repeat

정상군과 비교하여 수검자의 움직임에 따른 인공 산물을 최소화 할 수 있는 방법을 모색하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 팬텀 실험

Anthropomorphic Torso Phantom을 이용 하여 각 부위별 계수가 인체의 Tl-201 분포와 유사하도록 팬텀에 증류수를 채운 후 심근 74 kBq/mL, 연부조직 1.1 kBq/mL, 폐 2.6 kBq/mL, 간 9.6 kBq/mL의 Tl-201을 주입하였다(Fig. 1, Table 1). 움직임의 종류와 움직임 보정방법에 따라 결손을 확대 또는 축소하는지 비교하기 위하여, 심근 anterior wall에 임의로 결손을 만들었다(Fig. 2). 움직임의 종류는 4가지로 설정하였고, 영상획득 중에 2 cm (3 Pixel) 간격으로 상하 (Vertical)로 1회 이동하는 Vertical non-returning pattern (VNRP)과 반복적으로 움직이는 Vertical returning pattern (VRP), 좌에서 우 방향으로 1회 이동하는 Lateral non-returning pattern (LNRP)과 반복적으로 움직이는 Lateral returning pattern (LRP)으로 구분하여 실험 하였다(Table 2).

## 영상획득 및 재구성

심장 전용 감마 카메라인 Ventri (General Electric healthcare, USA)에 Low Energy General Purpose (LEGP) collimator를 장착하였다(Fig. 3). 방사성 동위원소는 Tl-201를 사용하였고, frame 당 50초씩 6도 간격으로 180도 회전시켜 30영상을 획득하였다. Matrix size는 64×64, non-gated myocardial SPECT 프로토콜로 이중 에너지 창을 이용 하였다(70 keV±15%, 167 keV±10%). 영상 재구성으로는 Xeleris ver 3.0562 프로그램을 이용하였다. 모든 영상에 동일한 SPECT 옵션으로 OSEM (2 iterations, 10 subsets), Butterworth filter (order 10; cutoff frequency; 0.32 cycle per pixel)를 적용하고 산란선 보정, 감쇠 보정은 적용하지 않았다.

## 비교분석

움직임 보정방법 적용 전후의 변화를 확인하기 위하여 움직임이 없는 상태를 정상군(No-motion pattern)으로 설정하고, 4가지 패턴 VNRP, VRP, LNRP, LRP으로 움직임을 정한 뒤 영상을 획득하였다. 획득된 영상에 Hopkins, Stasis, MDC방법을 적용하여 정상군과 비교를 Polar map 이미지, QPS의 20-segments model의 분절의 scale 변화와 정량분석



Fig. 3. Ventri (General Electric Healthcare, USA).

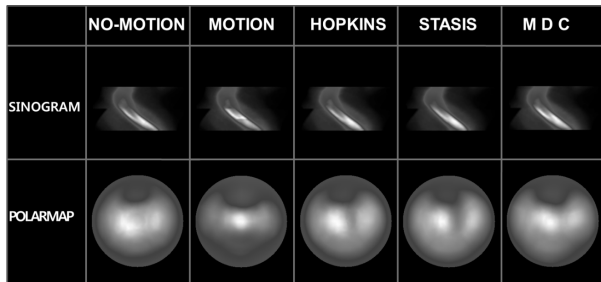


Fig. 4. Comparison images when applied motion correction method in vertical non-returning pattern. Anterior and inferior wall defects were overestimate in motion. The motion image was corrected by motion correction methods, but Hopkins and Stasis method showed visual artifact.

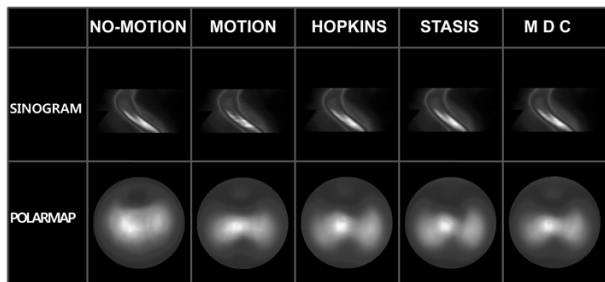


Fig. 5. Comparison images when applied motion correction method in vertical returning pattern. Anterior and inferior wall defects were overestimate in motion and applied method.

Score를 통해 시행하였다.<sup>5)</sup>

## 결 과

움직임이 없는 기준영상과 VNR 영상상을 비교한 결과, Anterior wall 결손의 크기와 범위가 증가하였을 뿐만 아니라 inferior wall의 결손이 확인됐다. 정량분석 score

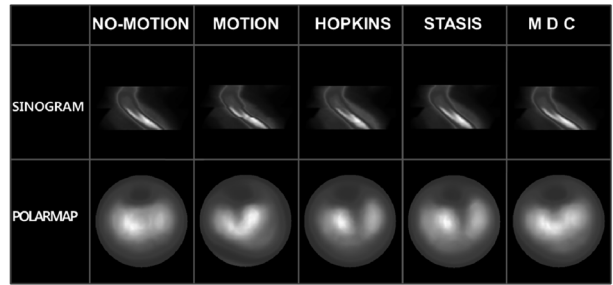


Fig. 6. Comparison images when applied motion correction method in lateral non-returning pattern. Anterior wall defect was overestimated and visual artifact was shown in motion and Hopkins, Stasis method.

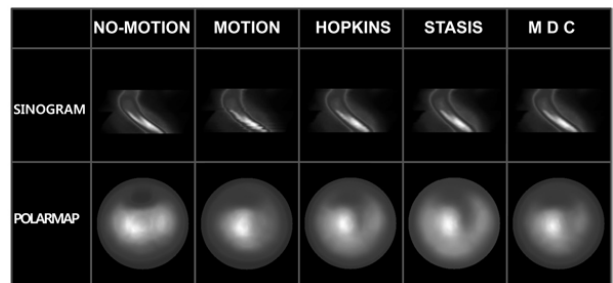


Fig. 7. Comparison images when applied motion correction method in lateral returning pattern. Anterior wall defect was underestimated and visual artifact was shown.

또한 12에서 23으로 증가하였다. MDC방법을 적용하였을 때, 기준영상과 가장 유사한 모습으로 보정되었고, Hopkins와 Stasis방법 적용 시, Apical에 Visual 인공물이 생겼지만 분절 스코어상 큰 차이는 없었다. 세가지 움직임 보정 방법에서 정량분석 Score  $12 \pm 2$ 로, 오차가 분절 별 1을 넘지 않는 범위로 개선되었다(Fig. 4).

VRP에서는 Anterior wall의 결손의 범위와 크기가 증가하고 Inferior wall의 결손이 확인되었다. 세가지 움직임 보정방법에서 Polar map영상은 완만한 개선을 보이지 못하고, 분절 별 Score도 정상군보다 2이상 값의 오차를 보이며 정량분석 Score는 방법 적용 전후  $25 \pm 3$ 로 정상군보다 높게 나타났다(Fig. 5).

LNR에서는 Anterior wall의 결손범위의 과대평가, Inferior wall의 결손 및 Apical wall의 움직임 인공물이 발생하고 정량분석 Score는 24로 증가하였다. Hopkins와 Stasis 방법 적용 영상에서 Anterior wall의 결손이 과대 평가되며 Apical wall에 Visual 인공물이 관찰되었으나 분절 스코어상 큰 차이는 없었고, 정량분석 Score도  $12 \pm 2$ 로 개선되었다(Fig. 6).

LRP의 Polar map 영상에서는 Anterior wall의 결손이

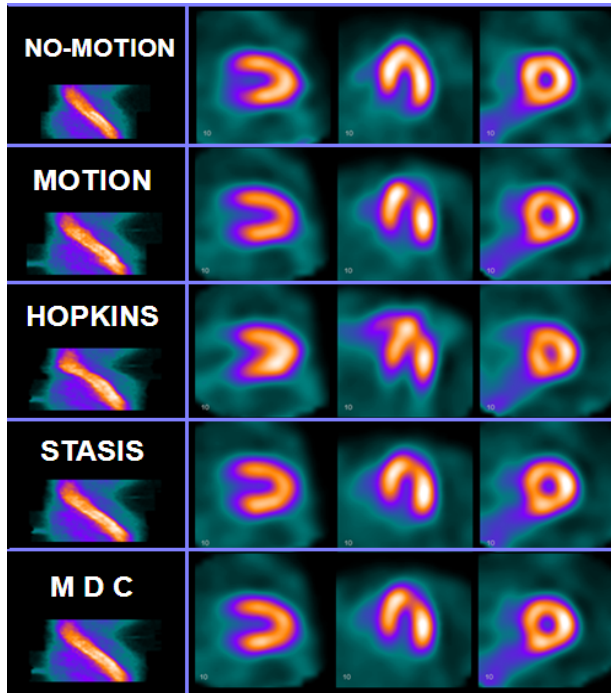


Fig. 8. Patient example, perfusion defect was observed in motion image. Applied hopkins method shown visual artifact, and defects are observed in MDC method.

과소평가 되었으나, 정량분석 Score 14로 증가를 보였다. 움직임 보정방법 적용 후 Polar map 영상 모두에서 과소평가되고, Apical wall에 Visual 인공물이 관찰, 정량 분석 score는  $12 \pm 2$ 로 개선되었다(Fig. 7).

## 고 찰

SPECT 검사의 경우 한 Frame 당 일정시간 Count를 수집하여 기록저장 되는데 연속되는 Frame에서 심장의 위치가 변하게 된다면 Cine영상과 왜곡된 Sinogram으로 확인 가능하다.<sup>6,7)</sup> 움직임 보정은 이동된 심장의 위치를 같은 선상으로 조절하는 기술이며 실험에 사용된 알고리즘은 다음과 같다. Hopkins 방법은 각 프레임마다 심장의 중심에 축을 잡고 축을 연속으로 배열하는 방식이며, Stasis 방법은 축(vertical) 방향에서 Linogram을 축(lateral) 방향에서 sinogram을 이용하여 최적화된 심장의 위치를 찾는다, MDC방법은 모션이 제거될 때까지 반복적인 감산 매트릭(subtraction metric)이 적용되는 알고리즘이다.<sup>8,9)</sup> 움직임 보정방법을 팬텀 실험에 적용한 결과 VNRP, LNRP, LRP의 실험에서 방법 간 차이는 있지만 정상군과 유사하게 개선됨을 확인 할 수 있고 방법 중 MDC방법이 Visual

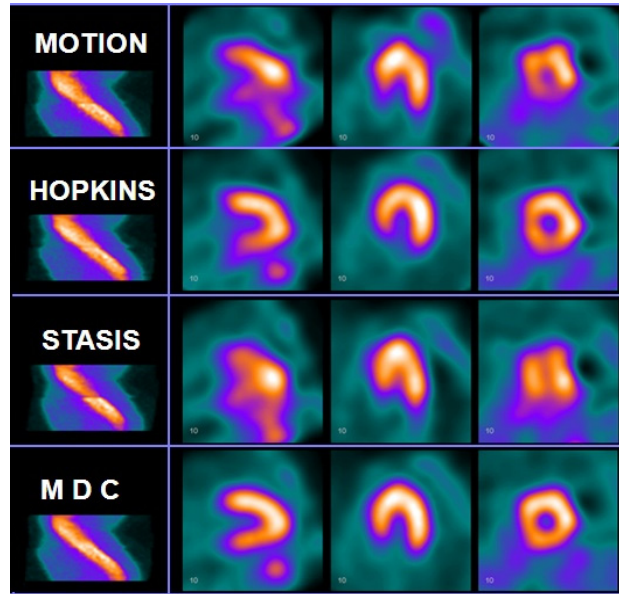


Fig. 9. Patient example, discontinuous sinogram showed blurring image. Stasis method failed to correct motion.

artifact 발생이 가장 적고, 분절 별 Score 가장 유사하였다. 반면, VNP 실험에서 Anterior wall의 결손 외에 Inferior wall의 결손이 크게 나타나고, 움직임 보정방법 적용 후에도 큰 개선을 보이지 못하였다. 이는, VNP의 영상획득 과정 중 Anterior wall에 위치한 결손이 2 cm (3 pixel) 상하 이동하는 과정에서 Anterior와 Inferior wall의 중복된 상태로 모든 frame에 저장되어 심장의 위치변화를 방법이 찾지 못하여 보정이 이루어지지 않았다. 환자 데이터에 방법을 적용한 결과 팬텀 실험과 다른 상황을 볼 수 있었다. 첫 번째 환자 데이터 영상에서는 정상군에 없는 관류결손 인공물이 움직인 상태의 영상에서 관찰된다. Hopkins 방법을 적용 후에서 Sinogram이 왜곡되고 Visual 인공물이 발생하고, MDC 방법은 관류결손 인공물이 사라지지 않고 지속 되었으며, Stasis 방법은 정상군에 유사하게 보정 하였다 (Fig. 8). 두 번째 이미지에서 움직임으로 인한 단절된 Sinogram과 선명하지 않은 단면영상을 볼 수 있다. Hopkins과 MDC 방법에서 서로간의 차이는 있지만 보정됨을 확인 가능하고, Stasis 방법은 단절된 Sinogram이 흐린 단면 영상으로 재구성 되었다(Fig. 9). 환자 데이터 적용 내용으로 비교 시 사람마다 다른 동위원소의 집적비율과 복합적이고 불규칙적인 환자의 움직임은 다양한 형태의 영상 왜곡으로 발생되며 움직임 보정방법간 다른 보정 영상을 볼 수 있었다. 본 논문은 팬텀 실험으로 진행되어 임상에서 환자의 개인별 다양성을 충분히 반영 할 수 없어 환자 데이터를

이용한 객관적인 비교와 연구 진행이 필요하다고 사료된다.

## 결 론

팬텀 실험을 통한 단순한 움직임의 유형에서 MDC방법이 다른 방법들과 비교하여 결손의 오차와 Visual 인공물이 적음을 볼 수 있었다. 환자 데이터에 움직임 보정 방법을 적용 했을 때, 사람마다 다른 동위원소의 집적비율과 복합적이고 불규칙적인 움직임 차이로 다양한 형태의 영상 왜곡이 발생하며, 움직임 보정방법들의 보정 차이를 볼 수 있었다. 실무사용자의 유동적인 움직임 보정방법 선택을 통해 보정이 이루어진 Cine 영상과 Sinogram을 찾는 것이 정확한 임상진단에 도움이 되리라 사료된다.

## 요 약

심근 관류 SPECT 검사 중 환자의 움직임은 관류 결손과 인공물을 발생시켜 정확한 진단에 영향을 줄 수 있는 인자이다. 움직임으로 왜곡된 데이터를 보정하는 방법으로 움직임 보정방법이 개발되었고 각 방법마다 사용된 알고리즘이 다르기에 상황에 비교하고자 한다. 실험에 사용된 장비는 GE Ventri Gamma Camera와 Anthropomorphic Torso Phantom을 이용하였다. 팬텀을 환자 조건과 동일하게 하기 위하여 심근에 74 kBq/mL, 연부조직 1.1 kBq/mL, 폐 2.6 kBq/mL, 간 9.6 kBq/mL의 Tl-201을 주입하여 제작하고, 움직이는 상황에서 결손의 변화 관찰 목적으로 심근의 Anterior wall에 임의로 결손을 삽입하였다. 움직이지 않는 정상근과 일정간격(2 cm, 3 pixel) 상하 1회 이동, 상하 반복 이동, 좌우 1회 이동, 좌우 반복 이동한 데이터에 나누어 영상 획득하고 MDC, Hopkins, Stasis 방법을 적용하여 Polar map과 정량분석 Score로 비교 하였다. 환자과 동일한 조건으로 회전각 6°, 50sec/frame으로 영상 획득하고, OSEM (2 iterations, 10 subsets), Butterworth filter (order 10; cutoff frequency; 0.32 cycle per pixel)를 적용, scatter correction,

감쇠보정은 적용하지 않았다. 팬텀 실험에서 세 가지 방법들에서 MDC 방법이 Visual 인공물 없이 잘 보정 하였으나, 환자의 데이터에 이를 적용 하였을 때, 환자마다 움직임 보정방법 적용 결과들이 일정하지 않았다. 이는, 환자의 움직임이 일정하지 않고, 장기내의 동위원소의 비율도 다르기에 발생한다고 생각되며 추가적인 연구와 상황에 맞는 움직임 보정방법의 유동적인 사용이 필요하다고 사료된다.

## REFERENCES

1. 정준기, 심장핵의학의 현황과 전망. *Nucl Med Mol Imaging*, Vol. 43, No. 3, Jun 2009.
2. 고창순. 핵의학. 제 3판. 고려의학. 2008 p.59-64.
3. O'Connor MK1, Kanal KM, Gebhard MW, Rossman PJ. Comparison of four motion correction techniques in SPECT imaging of the heart: a cardiac phantom study. *J Nucl Med*. 1998 Dec;39(12):2027-34.
4. Friedman J, Berman DS, Van Train K, et al. Patient motion in thallium-201 myocardial SPECT imaging: an easily identified frequent source of artifactual defect. *Clin Nucl Med*. 1988;13:321-324.
5. Matsumoto N1, Berman DS, Kavanagh PB, Gerlach J, Hayes SW, Lewin HC, Friedman JD, Germano G. Quantitative assessment of motion artifacts and validation of a new motion-correction program for myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*. 2001 May;42(5):687-94.
6. Geckle WJ, Frank TL, Links JM, Becker LC. Correction for patient and organ movement in SPECT: application to exercise thallium-201 cardiac imaging. *J Nucl Med* 1988;29:441-450.
7. Cooper JA, Neumann PH, McCandless BK. Detection of patient movement during myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 1993;34:1341-1348.
8. Eisner RL, Noever T, Nowak DJ, et al. Use of cross-correlation function to detect patient motion during SPECT imaging. *J Nucl Med* 28: 97-101.
9. Wallis JW. Use of the selective linogram in cardiac tomography quality control. *J Nucl Cardiol* 2: 303-308.