

# 관류결손의 정도가 게이트 심근관류 SPECT에서 구한 좌심실 용적 및 구혈률의 측정에 미치는 영향

경북대학교 의과대학 내과학교실,<sup>1</sup> 핵의학교실<sup>2</sup>

이장훈<sup>1</sup> · 채성철<sup>1</sup> · 류현민<sup>1</sup> · 배명환<sup>1</sup> · 이순학<sup>1</sup> · 양동현<sup>1</sup>  
안병철<sup>2</sup> · 박헌식<sup>1</sup> · 조용근<sup>1</sup> · 이재태<sup>2</sup> · 전재은<sup>1</sup> · 박의현<sup>1</sup>

## Influences of Perfusion Defect on the Measurement of Left Ventricular Ejection Fraction and Volumes in Gated Myocardial Perfusion SPECT

Jang Hoon Lee, MD<sup>1</sup>, Shung Chull Chae, MD<sup>1</sup>, Hyeon Min Ryu, MD<sup>1</sup>, Myung Whan Bae, MD<sup>1</sup>,  
Soon Hak Lee, MD<sup>1</sup>, Dong Heon Yang, MD<sup>1</sup>, Byeong-Cheol Ahn, MD<sup>2</sup>, Hun Sik Park, MD<sup>1</sup>,  
Yong Keun Cho, MD<sup>1</sup>, Jaetae Lee, MD<sup>2</sup>, Jae Eun Jun, MD<sup>1</sup> and Wee Hyun Park, MD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Internal Medicine and <sup>2</sup>Nuclear Medicine, Kyungpook National University Hospital,  
Kyungpook National University Medical School, Daegu, Korea

### ABSTRACT

**Background and Objectives :** The left ventricular ejection fraction (LVEF) and volume (LVV) are important variables in patients with coronary artery disease. Quantitative gated myocardial SPECT (QGS) permits the simultaneous assessment of perfusion, LVEF and LVV. However, the presence of a perfusion defect may influence the LVEF and LVV measured by QGS. **Subjects and Methods :** 67 subjects (M/F=47/20; mean age: 60.2 ± 12.4 years) underwent both QGS with Tc-99m MIBI and 2-D echocardiography (Echo) at less than 7 days apart. The LVEF and LVV were measured by Echo, using the modified Simpson's method, and by QGS, using the automatic software, AutoQUANT™. The QGS rest images were used to compare with the Echo. **Results :** The correlations between the QGS and Echo for LVEF, LVEDV and LVESV were good in all 67 subjects (r=0.781, 0.754 and 0.906, respectively, p<0.0001). In patients with no perfusion defect (n=34), the correlations between the QGS and Echo for LVEF, LVEDV and LVESV were good (r=0.689, 0.593 and 0.586, p<0.0001). In patients with a perfusion defect (n=33), the LVEF between the QGS and Echo was well correlated (r=0.777, p<0.0001), but the LVEF was higher by 7.1 ± 8.7% from the Echo results. The LVEDV and LVESV by both QGS and Echo were also well correlated (r=0.804 and 0.929, respectively, p<0.0001), but the LVEDV and LVESV were higher from QGS by 17.9 ± 34 and 16.9 ± 25 mL, respectively. A Bland-Altman analysis showed the agreement between the QGS and Echo in patients without perfusion defect was better than for those with a perfusion defect. **Conclusion :** The perfusion defect from QGS might affect the measurements of the LVEF and LVV; therefore, the QGS and Echo values are not interchangeable. (Korean Circulation J 2006;36:308-317)

**KEY WORDS :** Echocardiography ; Tomography, emission-computed, single-photon ; Left ventricular function.

논문접수일 : 2005년 10월 24일

수정논문접수일 : 2006년 1월 11일

심사완료일 : 2006년 2월 8일

교신저자 : 채성철, 700-721 대구광역시 중구 삼덕 2가 50번지 경북대학교 의과대학 내과학교실

전화 : (053) 420-5527 · 전송 : (053) 426-2046 · E-mail : scchae@knu.ac.kr

## 서 론

좌심실 용적과 구혈률은 심장 판막질환의 치료, 경과 관찰 및 예후 판정,<sup>1)</sup> 관상동맥 질환<sup>2)</sup>과 심부전 환자의 경과 관찰에 매우 중요한 정보를 제공하는 지표이고, 특히 심근경색 후 일련의 좌심실 용적 및 좌심실 구혈률의 측정은 좌심실의 재형성(remodeling)<sup>3)</sup>에 관한 중요한 정보를 제공하고 치료효과를 예측할 수 있다. 허혈성 심장병에서 심근의 관류 저하 정도가 증가할수록 심장사건은 증가하는 것으로 알려져 있으며<sup>4)</sup> 안정시 좌심실 구혈률은 관상동맥 질환 환자의 예후 예측 인자라고 알려져 있다.<sup>5)</sup>

좌심실의 용적과 구혈률을 측정하기 위해 이용되어 온 방법으로는 좌심실 조영술, 심초음파, 3차원 자기공명영상 있으며, 핵의학적 측정 방법으로 일회 통과 스캔, 게이트 심장 혈액풀 스캔을 이용한 방법, 방사성 동위원소 혈관 촬영술, 게이트 심근관류 SPECT 등이 있다.

심초음파 검사는 좌심실 용적과 구혈률 측정에 널리 사용되어 오는 방법으로 환자에게 고통을 주지 않는 비침습적 검사이며, 방사능의 피폭이 없는 간편한 검사이다. 그러나 심초음파 검사는 심초음파 해상도가 낮은 경우, 시술자의 경험 및 숙련도, 측정 자체의 오차 등에 따라 정확도에 제약이 있고<sup>6)</sup> 재현성이 떨어진다<sup>7)</sup>고 알려져 있다.

게이트 심근관류 SPECT는 심근관류 상태에 대한 정보와 동시에 좌심실 기능에 대한 정보를 획득할 수 있게 해준다.<sup>8)</sup> Germano 등<sup>9)</sup>에 의한 3차원 영상을 이용한 소프트웨어의 개발로 영상을 자동으로 분석하여 좌심실 용적 및 구혈률을 측정할 수 있게 되어 영상 획득 시간이 짧아졌으며 작업자에 의한 주관적 영향을 배제할 수 있고, 측정된 검사 결과는 재현성이 우수하여 심초음파를 비롯한 다른 심장검사법으로 측정된 결과들과 상관성이 좋은 것으로 알려져 있다.<sup>10-13)</sup>

본 연구에서는 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결손이 있는 경우 좌심실의 내막면을 정확히 설정하기 어렵기 때문에 좌심실의 용적 및 구혈률을 구하는데 오차가 생길 가능성이 있다는 가정을 가지고 이러한 관류결손의 유무 또는 관류결손의 정도가 좌심실 용적 및 좌심실 구혈률에 미치는 영향을 좌심실내막을 비교적 용이하게 구별할 수 있는 심초음파 검사로 구한 성적들과 비교 분석하였다. 게이트 심근관류 SPECT와 심초음파로 구한 좌심실 용적 및 구혈률이 높은 상관성을 가진다는 많은 보고들이 있으나,<sup>14)15)</sup> 상관성이 높은 것이 반드시 일치율(agreement)이 높다는 것을 의미하는 것은 아니다.<sup>16)</sup> 또한 이전 연구에서 환자군은 관류결손의 유무와 정도에 상관없이 두 값이 비교되었으며, 제한된 환자들에서 비교 분석이 시행되었다. 본 연구에서는 관류결손의 유무와 크기가 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 용적 및 구혈률 측정에 미치는 영향을 알아보기 위하여 심초음파로 구한 좌심실 용적 및 구혈률과의 상관성 및 일치율 분석을 시행하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

흉통을 주소로 경북대학교병원 외래 및 응급실을 방문하여 운동부하 또는 약물부하 게이트 심근관류 SPECT 검사와 심초음파 검사를 모두 시행한 67명의 환자를 대상으로 하였다. 두 검사는 최대 7일 이내의 간격을 두고 시행되었으며, 두 검사 사이에 심장사건의 발생이 있었던 경우는 대상에서 제외하였다.

### 방 법

#### 게이트 심근관류 SPECT

게이트 심근관류 SPECT는 1일 검사법 및 2일 검사법으로 영상을 얻었으며, 분석에 사용된 자료는 안정시 영상에서 얻은 자료를 이용하였다.<sup>17)</sup> 1일 검사법은 안정시-부하시 순서로 영상을 얻었으며, 안정시 영상은 안정시에 370 MBq (10 mCi)의 Tc-99m MIBI를 정맥으로 주사하고, 부하시 영상은 1,100 MBq (30 mCi)의 Tc-99m MIBI를 정맥으로 주사 후 저에너지 고해상도 평형 조준기를 장착한 이중헤드 감마카메라(Vertex Plus, ADAC, USA)를 이용하여 구하였다. 2일 검사법은 안정시와 부하시 각각 740 MBq (20 mCi)의 Tc-99m MIBI를 정맥으로 주사 후 1일 검사법과 동일한 방법으로 영상을 구하였다. 영상 자료의 획득은 20% 에너지 창을 140 keV를 중심으로 설정한 후, 직각으로 된 두개의 검출기를 사용하여 우전사위 45°부터 좌후사위 45°까지 3°씩 180° 회전시키면서 64×64 행렬로 각 25초씩 총 64개를 투사영상을 얻어 컴퓨터에 수록하였다. 게이트 심근관류 SPECT는 심전도의 R-R 간격 사이에 8 프레임으로 시행하였으며, 심전도에서 R-R 간격이 50% 이내인 경우만 영상처리 자료로 이용하였다. 영상의 재구성은 Butterworth 여과기를 사용하여 여과 후 역투사 방법을 이용하였으며, 6.56 mm 두께로 심장의 단축단면상, 수평 장축단면상, 수직 장축단면상을 얻었다.<sup>18)</sup> 관류결손의 크기(% extent), 정도(summed stress score), 가역성(summed difference score) 및 좌심실 구혈률은 Germano 등<sup>9)</sup>에 의해 개발된 AutoQUANT™ 소프트웨어를 이용한 자동화 방법으로 구하였으며, 안정시 영상에서 1% 이상의 관류결손을 보이는 경우 관류결손이 있는 것으로 판단 하였다.

#### 심초음파 검사

모든 환자에서 심초음파 영상은 GE사의 VIVID7을 이용하여 얻었으며, 숙련된 두 검사자에 의해 시행되었고, 검사자간의 변이성(variability)은  $2.6 \pm 2.1\%$ 였다. 좌심실 용적은 이면성 심초음파 검사를 이용하는 것을 원칙으로 하여 심첨 4방도(apical 4 chamber view)와 심첨 2방도(apical 2 chamber view)에서 구해서 평균값을 대표값으로 하였다. 심

첨도(apical view)의 경우에 가능한 한 심내강이 가장 크게 보이도록 영상을 기록함으로써 foreshortening으로 인한 저평가를 피하고, 심첨 4방도는 초음파가 좌심실 측벽의 중간 부위를 지나는 단면을 보이면서 우심실이 가장 넓게 보이는 위치를 취하였다.<sup>19)</sup> 좌심실 구혈률은 modified Simpson 방법을 이용하였다. 해상도가 가장 좋은 대표적인 심장주기를 선택하여 저장 후 continuous loop로 심첨 2방도 및 심첨 4방도를 재생하여 좌심실 변연을 정하였으며, 좌심실 이완기 말 심내막 변연은 심전도에서 QRS파의 시작점에서 측정하였고, 좌심실 수축기말 심내막 변연은 심전도에서 T파의 근처에서 심내강이 가장 좁아지는 시점에서 측정 후 얻어진 자료를 Simpson's 알고리즘에 적용시켜 좌심실 구혈률을 측정하였다.

#### 통계처리

통계적 처리는 SPSS 프로그램(11.5 version)을 사용하였

으며 Pearson 상관계수를 이용한 직선회귀 분석법, paired sample t-test를 이용하였으며, p값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 것으로 판정 하였다. 심초음파와 게이트 심근 관류 SPECT로 얻어진 자료의 일치율을 알아보기 위해 Bland-Altman 도표를 이용하여 분석하였다.

## 결 과

#### 대상환자의 임상적 특성(Table 1)

대상환자 67명의 평균 연령은  $60.2 \pm 12.4$ 세, 남자가 47명(70.1%), 여자가 20명(29.9%)이었으며, 심근경색이 19명(28.4%), 협심증이 31명(46.3%), 비전형 흉통이 17명(25.4%)이었다. 동반된 위험인자로써 고혈압을 33명(49.3%), 당뇨병을 12명(17.9%), 흡연을 27명(40.3%), 고지혈증을 36명(53.7%)이 가지고 있었으며 28명(41.8%)의 환자가 관상동맥 조영술을 시행 받았다. 61명(91.0%)의 환자가 1일 검사법을 6명(9.0%)의 환자가 2일 검사법을 시행하였고, 37명(55.2%)의 환자에게 아테노신 부하 검사를 시행하였고 30명(44.8%)의 환자에게 운동 부하 검사를 시행하였다.

#### 관류결손 유무에 따른 좌심실 구혈률(Table 2-4)(Fig. 1-3)

##### 전체 환자에서 좌심실 용적 및 구혈률 비교

전체 67명의 환자에서 심초음파로 구한 좌심실 용적 및 구혈률과 안정시 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 용적 및 구혈률을 비교 분석 하였다.

전체 67명의 환자에서 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 구혈률은 심초음파로 구한 좌심실 구혈률과 유의한 상관성이 있었다( $r=0.781$ ,  $p<0.0001$ ). 그러나, 49명의 환자에서 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 구혈률이 심초음파로 구한 좌심실 구혈률보다 낮게 측정 되었으며, 두 값 사이에는 유의한 차이가 있었다( $55.3 \pm 12\%$  대  $59.7 \pm 10.4\%$ ,  $p<0.0001$ ). 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 확장기 말 용적과 심초음파로 구한 좌심실 확장기말 용적 사이에는 유의한 상관성이 있었으나( $r=0.754$ ,  $p<0.0001$ ), 게이트 심

**Table 1.** Clinical characteristics of the subjects

Number of subjects	67
Sex	
Male	47 (70.1%)
Female	20 (29.9%)
Age (years)	$60.2 \pm 12.4$
Clinical diagnosis	
Myocardial infarction	19 (28.4%)
Angina pectoris	31 (46.3%)
Atypical chest pain	17 (25.4%)
Risk factors	
Hypertension	33 (49.3%)
Diabetes	12 (17.9%)
Smoking	27 (40.3%)
Hypercholesterolemia	36 (53.7%)
Stress protocol	
One day	61 (91.0%)
Two day	6 ( 9.0%)
Adenosine	37 (55.2%)
Exercise	30 (44.8%)

**Table 2.** Comparison of left ventricular parameters (EF, EDV, ESV) between gated myocardial SPECT and two-dimensional echocardiography in the patients without or with perfusion defect

		Gated myocardial SPECT	2D-Echo	p*	Correlation
Total (n=67)	EF (%)	$55.3 \pm 12.0$	$59.7 \pm 10.4$	$<0.001$	$r=0.781^{\dagger}$
	EDV (mL)	$98.4 \pm 43.7$	$90.1 \pm 27.9$	$<0.001$	$r=0.754^{\dagger}$
	ESV (mL)	$47.2 \pm 39.3$	$37.7 \pm 24.1$	0.029	$r=0.906^{\dagger}$
Patients without perfusion defect (n=34)	EF (%)	$61.2 \pm 6.6$	$62.9 \pm 6.4$	0.061	$r=0.689^{\dagger}$
	EDV(mL)	$84.7 \pm 24.1$	$85.5 \pm 20.8$	0.839	$r=0.593^{\dagger}$
	ESV (mL)	$34.2 \pm 13.2$	$31.7 \pm 10.0$	0.210	$r=0.586^{\dagger}$
Patients with perfusion defect (n=33)	EF (%)	$49.3 \pm 13.3$	$56.4 \pm 12.7$	$<0.001$	$r=0.777^{\dagger}$
	EDV (mL)	$113.0 \pm 54.6$	$95.0 \pm 33.6$	0.007	$r=0.804^{\dagger}$
	ESV (mL)	$61.2 \pm 51.9$	$44.2 \pm 32.1$	0.001	$r=0.929^{\dagger}$

\*: p for the difference between two studies,  $\dagger$ :  $p<0.0001$ . Echo: echocardiography, EF: ejection fraction, EDV: end diastolic volume, ESV: end systolic volume, SPECT: single photon emission computed tomography

**Table 3.** Agreement of left ventricular parameters (EF, EDV, ESV) between gated myocardial SPECT and two-dimensional echocardiography in the patients without or with perfusion defect

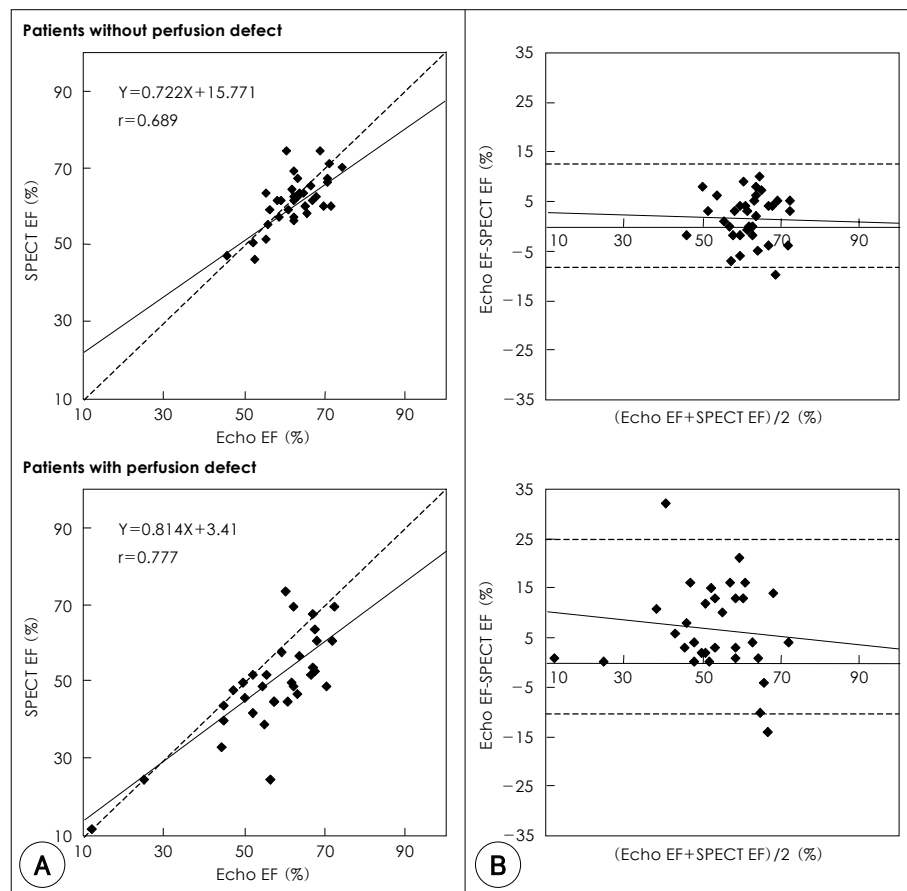
		Total (n=67)	Patients without perfusion defect (n=34)	Patients with perfusion defect (n=33)
EF	Echo EF-SPECT EF (%)	4.3 ± 7.6	1.7 ± 5.2	7.1 ± 8.7
	Limits of agreement (%)	-10.8 to 19.5	-8.7 to 12.1	-10.3 to 24.5
	Average limits of agreement (%)	15.2	10.4	17.4
EDV	Echo EDV-SPECT EDV (mL)	-8.2 ± 30.0	0.6 ± 20.2	-17.9 ± 34.0
	Limits of agreement (mL)	-68.2 to 51.8	-39.8 to 41.1	-86.0 to 50.1
	Average limits of agreement (mL)	60.0	40.4	68.1
ESV	Echo ESV-SPECT ESV (mL)	-9.3 ± 20.1	-2.4 ± 10.8	-16.9 ± 25.0
	Limits of agreement (mL)	-49.6 to 31.0	-23.9 to 19.2	-66.9 to 33.0
	Average limits of agreement (mL)	40.3	21.6	50.0

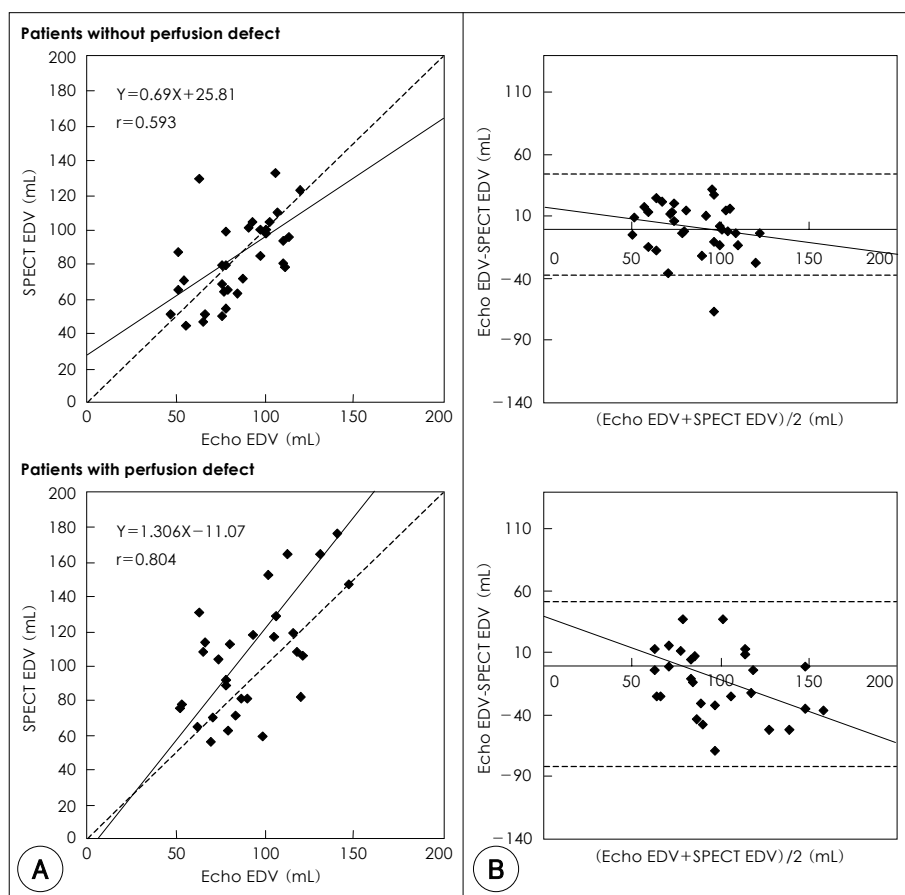
Echo: echocardiography, EF: ejection fraction, EDV: end diastolic volume, ESV: end systolic volume, SPECT: single photon emission computed tomography

**Table 4.** Differences of left ventricular parameters (EF, EDV, ESV) between gated myocardial SPECT and two-dimensional echocardiography according to perfusion defect

Perfusion defect (%)	(Gated myocardial SPECT EF-2D Echo EF)/average EF	(Gated myocardial SPECT EDV-2D Echo EDV)/average EDV	(Gated myocardial SPECT ESV-2D Echo ESV)/average ESV
1-9% (n=17)	-0.13 ± 0.22	0.01 ± 0.29	0.10 ± 0.41
10-19% (n=8)	-0.14 ± 0.13	0.22 ± 0.23	0.41 ± 0.26
>20% (n=8)	-0.15 ± 0.13	0.36 ± 0.13	0.51 ± 0.19
	p=0.95	p=0.01	p=0.02

Echo: echocardiography, EF: ejection fraction, EDV: end diastolic volume, ESV: end systolic volume, SPECT: single photon emission computed tomography

**Fig. 1.** A: correlations of LVEF values measured by two-dimensional echocardiography (Echo EF) and gated myocardial perfusion SPECT (SPECT EF). B: Bland-Altman analysis for agreement between Echo EF and SPECT EF. EF: ejection fraction, LVEF: left ventricular ejection fraction, SPECT: single photon emission computed tomography.



**Fig. 2.** A: correlations of LVEDV values measured by two-dimensional echocardiography (Echo EDV) and gated myocardial perfusion SPECT (SPECT EDV). B: Bland-Altman analysis for agreement between Echo EDV and SPECT EDV. EDV: end diastolic volume, LVEDV: left ventricular end diastolic volume.

근관류 SPECT로 구한 좌심실 확장기말 용적이 심초음파로 구한 좌심실 확장기말 용적보다 높게 측정되어 두 값 사이에는 유의한 차이가 있었다( $98.4 \pm 43.7$  mL 대  $90.1 \pm 27.9$  mL,  $p=0.029$ ). 좌심실 수축기말 용적은 두 검사 간에 높은 상관성이 있었으나 ( $r=0.906$ ,  $p<0.0001$ ), 두 값 사이에는 유의한 차이가 있었다( $37.7 \pm 24.1$  mL 대  $47.2 \pm 39.3$  mL,  $p<0.0001$ ).

Bland-Altman 도표에서 두 검사간 좌심실 구혈률 차이의 평균값은  $4.34 \pm 7.6\%$ , 차이의 표준편차의 2배는 15.2%로 전체 환자의 94%가 포함되었다. 좌심실 확장기말 용적 차이의 평균값은  $8.23 \pm 30$  mL, 차이의 표준편차의 2배는 60 mL로 전체 환자의 96.8%가 포함되었고, 좌심실 수축기말 용적 차이의 평균값은  $9.3 \pm 20.1$  mL, 차이의 표준편차의 2배는 40.28 mL로 전체 환자의 98.4%가 포함되었다.

#### 관류결손이 없는 환자에서 좌심실 용적 및 구혈률 비교

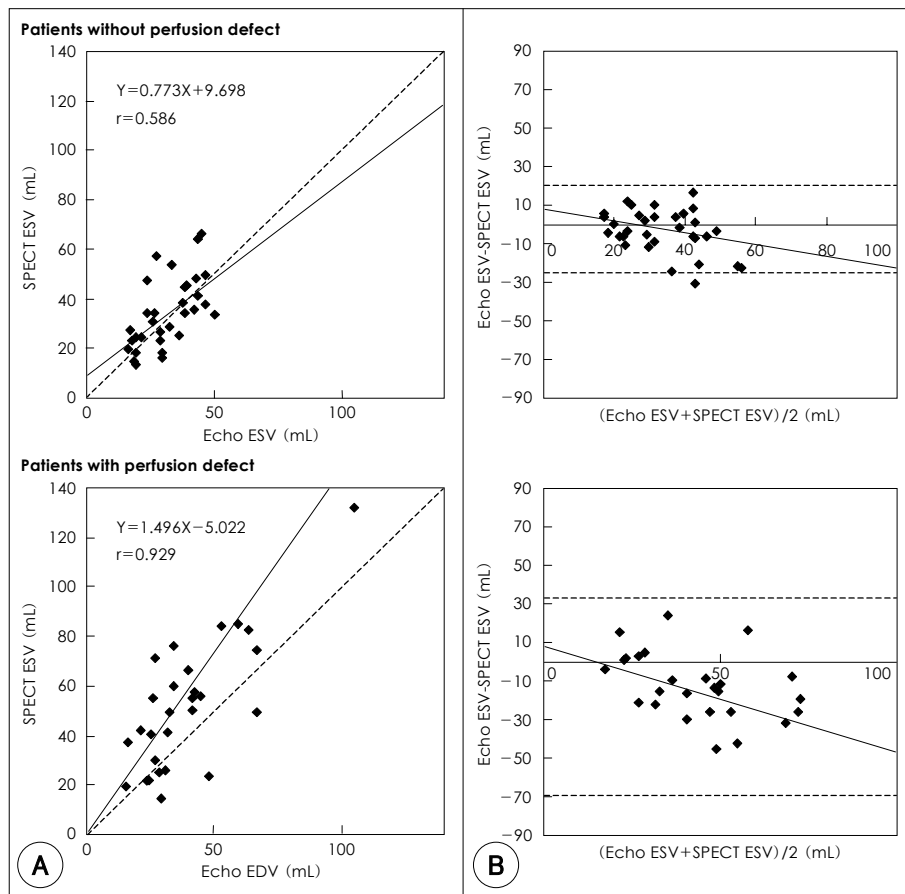
안정시 게이트 심근관류 SPECT에서 관류 결손이 없는 환자는 34명이었다. 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 구혈률은 심초음파로 구한 좌심실 구혈률과 유의한 상관성이 있었으며( $r=0.689$ ,  $p<0.0001$ ), 두 검사의 좌심실 구혈률 평

균값에는 유의한 차이가 없었다( $62.9 \pm 6.4\%$  대  $61.2 \pm 6.7\%$ ,  $p=0.064$ ). 좌심실 확장기말 용적은 두 검사간 좌심실 확장기말 용적에 유의한 상관성이 있었으며( $r=0.593$ ,  $p<0.0001$ ), 두 값 사이에 유의한 차이는 없었다( $84.7 \pm 24.1$  mL 대  $85.5 \pm 20.8$  mL,  $p=0.839$ ). 좌심실 수축기말 용적은 두 검사 간에 유의한 상관성이 있었으며( $r=0.586$ ,  $p<0.0001$ ), 두 값 사이에 유의한 차이는 없었다( $34.2 \pm 13.2$  mL 대  $31.7 \pm 10$  mL,  $p=0.21$ ).

Bland-Altman 도표에서 두 검사간 좌심실 구혈률 차이의 평균값은  $1.7 \pm 5.2\%$ , 차이의 표준편차의 2배는 10.4%로 34명 중 97.1%가 포함되었다. 좌심실 확장기말 용적 차이의 평균값은  $0.63 \pm 20.2$  mL, 차이의 표준편차의 2배는 40.44 mL로 전체 환자의 96.9%가 포함되었고, 좌심실 수축기말 용적 차이의 평균값은  $2.36 \pm 10.7$  mL, 차이의 표준편차의 2배는 21.58 mL로 전체 환자의 93.9%가 포함되었다.

#### 관류결손이 있는 환자에서 좌심실 용적 및 구혈률 비교

안정시 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결손이 있는 환자는 33명이었으며, 관류결손의 크기 범위는 최소 1%에서 최대 36%로 평균 10.75%였다. 게이트 심근관류 SPECT로



**Fig. 3.** A: correlations of LVESV values measured by two-dimensional echocardiography (Echo ESV) and gated myocardial perfusion SPECT (SPECT ESV). B: Bland-Altman analysis for agreement between Echo ESV and SPECT ESV. ESV: end systolic volume, LVESV: left ventricular end systolic volume.

구한 좌심실 구혈률은 심초음파로 구한 좌심실 구혈률과 유의한 상관성이 있었으나( $r=0.777$ ,  $p<0.0001$ ), 두 검사의 좌심실 구혈률 평균값에는 유의한 차이가 있었다( $49.3\pm13.3\%$  대  $56.4(12.7\%$ ,  $p<0.0001$ ). 두 검사간 좌심실 확장기말 용적은 유의한 상관성이 있었으나( $r=0.804$ ,  $p<0.0001$ ), 두 값 사이에는 유의한 차이가 있었다( $113\pm54.6$  mL 대  $95\pm33.6$  mL,  $p=0.007$ ). 두 검사간 좌심실 수축기말 용적 유의한 상관성이 있었으나( $r=0.929$ ,  $p<0.0001$ ), 두 값 사이에는 유의한 차이를 보였다( $61.2\pm51.9$  mL 대  $44.2\pm32.1$  mL,  $p=0.001$ ).

관류결손이 있는 환자를 관류결손의 정도에 따라 1~9%, 10~19%, 20% 이상의 세 그룹으로 층화하여 관류결손의 정도가 좌심실 구혈률 및 좌심실 용적에 미치는 영향에 대해 알아 보았다(Table 4). 좌심실 구혈률의 경우 관류결손의 정도가 증가함에 따라 게이트 심근관류 SPECT와 심초음파로 구한 좌심실 구혈률의 차이가 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p=0.95$ ). 좌심실 확장기말 용적 및 수축기말 용적의 경우 관류결손의 정도가 증가함에 따라 두 검사 간의 차이가 증가하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다(각각  $p=0.01$ ,  $p=0.02$ ).

Bland-Altman 도표에서 두 검사간 좌심실 구혈률 차이의 평균값은  $7.1\pm8.7\%$ , 차이의 표준편차의 2배는 17.4%로 33명 중 93.9%가 포함되었다. 좌심실 확장기말 용적 차이의 평균값은  $17.97\pm34$  mL, 차이의 표준편차의 2배는 68.06 mL로 전체 환자의 96.6%가 포함되었고, 좌심실 수축기말 용적 차이의 평균값은  $16.93\pm49.9$  mL, 차이의 표준편차의 2배는 49.96 mL로 전체 환자의 96.6%가 포함되었다.

## 고 찰

안정시 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결손 유무에 따른 좌심실 용적 및 구혈률의 차이를 심초음파와 비교 분석하였을 때 전체 환자에서 게이트 심근관류 SPECT와 심초음파는 좌심실 용적 및 구혈률 측정에서 높은 상관성을 보였으나, 게이트 심근관류 SPECT에서 구한 좌심실 구혈률이 심초음파에 비해 평균 4.3% 낮게 측정되어 평균값에는 유의한 차이를 보였으며, 좌심실 용적 측정에 있어서는 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적이 심초음파에 비해 각각 8.3 mL, 9.4 mL 높게 측정되어 평균값에도 유의한 차이를 보였다. 관류결손이 없는 환자에서는

두 검사에서 좌심실 용적 및 구혈률에 높은 상관성 및 일치율을 보였고 평균값에도 유의한 차이가 없었으나, 관류결손이 있는 환자에서는 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 구혈률이 심초음파에 비해 평균 7.1% 낮게 측정되어 평균값에서 유의한 차이를 보였고, 좌심실 용적 측정에서 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적이 심초음파에 비해 각각 평균 17.9 mL, 16.9 mL 높게 측정되어 유의한 차이를 보였다. Bland-Altman 도표에서 두 검사간의 좌심실 용적 및 구혈률의 일치율도 관류결손이 있는 환자가 관류결손이 없는 환자에 비해 낮았다.

이렇게 차이를 보인 이유로는 게이트 심근관류 SPECT 정량 알고리즘의 제한점을 들 수 있다. 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결손이 있는 경우에는 좌심실의 내막을 구별하기 어렵기 때문에 비교적 좌심실 내막을 잘 구별할 수 있는 심초음파에 비해 좌심실의 용적 및 구혈률을 구하는데 오차가 생겼을 가능성이 있다. 본 연구에서는 Germano 등<sup>9)</sup>에 의해 개발된 Cedars-Sinai QGS 소프트웨어인 AutoQUANT<sup>TM</sup>에서 이용하는 알고리즘인 Gaussian fit법으로 좌심실 용적 및 구혈률을 측정 하였다. Gaussian fit 알고리즘은 3차원 영상을 이용하여 게이트 단축상의 용량을 정하고 좌심근을 분할하여(segmentation) 좌심근의 무게중심 부위를 자동으로 정한 후 방사선을 그려 방사선의 계수 분포를 정한 후 비대칭 Gaussian 곡선을 이용하여 계수 분포에 fitting을 시행하고, Gaussian 분포의 최대값 위치를 좌심근 중심면(midmyocardial surface)으로 정하고 Gaussian 분포의 표준편차를 이용하여 심내막과 심외막 표면을 정한 후 좌심실 용적 및 구혈률을 구하는 방법이다.

게이트 심근관류 SPECT로 얻은 좌심실 용적과 구혈률은 광범위한 관류결손이 있는 경우에 정확성이 낮아 지는 것으로 알려져 있다. Germano 등<sup>9)</sup>은 관류결손이 있어 육안적 판독에서 심근의 방사능 섭취가 명확히 보이지 않더라도 외삽(extrapolation)에 의해 심내막 및 심외막면은 정확하게 정해질수 있다고 보고하였다. 그러나 Manrique 등<sup>20)</sup>은 안정시 관류결손의 크기가 20% 이상이고 좌심실 기능 저하가 있었던 심근경색 환자를 대상으로 한 연구에서 심근경색으로 고정 관류결손이 있는 부위에 심근의 두께가 얇아지게 되고 이로 인해 역운동(dyskinesia) 및 부분 체적 효과가 생겨 좌심실 확장기말 용적이 과잉평가되어 방사선 동위원소 혈관촬영술에 비해 게이트 심근관류 SPECT에서 좌심실 구혈률이 평균 5% 정도 과소평가된다고 보고 하였다. 또한 King 등<sup>21)</sup>은 자동화된 정량화 프로그램으로 좌심실 구혈률을 측정할 경우 정상적인 심근 방사능 계수값을 가진 경우 좌심실 구혈률을 3~7% 과잉평가하지만, 심근 방사능 섭취 계수값이 50% 이상 감소하는 관류결손이 있을 경우 좌심실 구혈률이 9% 이상 과소평가된다고 보고 하였다. 특히, 심장 심첨-측벽(apico-lateral wall)에 관류결손이 있을 경우 수평 장축 영상에서는 거의 보이지 않고 수직 장축 영상에서는 심

첨부 방사능 섭취 계수가 매우 낮게 측정되므로 자동화된 정량화 프로그램으로 심내막을 인지하기 어려워 실제 심근에 대한 영상을 얻기 어려워 진다고 알려져 있다.<sup>22)</sup> 따라서 관류결손이 커지게 되는 경우 정량결과에 영향을 미칠 수 있으며,<sup>23)</sup> 본 연구에서 사용된 AutoQUANT<sup>TM</sup> 프로그램과 같은 자동화된 정량화 프로그램을 사용하는 경우 심내막의 경계를 추적하는 알고리즘에 제한점이 있어 좌심실 용적 및 구혈률의 정확한 측정에 영향이 있을 수 있다.<sup>21)</sup> 본 연구에서도 안정시 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결손이 있는 경우에 심초음파에 비해 좌심실 구혈률은 평균 7.1% 정도 차이를 보였으며, 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적은 각각 평균 17.9 mL, 16.9 mL 정도 차이를 보였다.

본 연구에서 관류결손이 있는 33명의 환자 중 5명의 환자에서는 오히려 게이트 심근관류 SPECT에서 심초음파보다 좌심실 구혈률이 과잉평가되었다. 이들 중 3명의 경우 다른 환자들에 비해 좌심실 수축기말 용적이 25 mL 미만으로 작았다. 일반적으로 게이트 심근관류 SPECT로 얻은 좌심실 용적과 구혈률은 좌심실의 용적이 매우 작은 경우 심근의 방사능이 심실쪽으로 변질 수 있어 시스템 흔들림(blur)이 생기고 심근의 경계가 왜곡되어 좌심실의 용적이 과소평가되고 좌심실 구혈률이 과잉평가될 수 있는 것으로 알려져 있다. 특히 이러한 현상은 좌심실 용적이 작은 여자에게 흔하며 좌심실 수축기말 용적이 20 mL<sup>24)</sup> 미만일 때 현저한 것으로 알려져 있다.

또한 심박 주기를 나누는 프레임 수에 따라서도 좌심실 용적이나 구혈률에 차이가 날 수 있다. Germano 등<sup>9)</sup>은 8 프레임 게이트 심근관류 SPECT는 16 프레임에 비해 좌심실 구혈률을 평균 3.71% 과소평가한다고 보고 하였다. Kondo 등<sup>25)</sup>은 8 프레임 게이트 심근관류 SPECT와 좌심실 조영술 및 자기공명영상에서 측정한 좌심실 용적 및 구혈률을 메타분석(meta-analysis)을 통해 비교한 연구에서 8 프레임 게이트 심근관류 SPECT가 좌심실 조영술에 비해 좌심실 구혈률을 평균 7.6%, 자기공명영상에 비해 6.3% 과소평가한다고 보고하였다. 그리고 좌심실 확장기말 용적은 좌심실 조영술에 비해 32 mL, 자기공명영상에 비해 13 mL 차이가 난다고 보고하였다. 본 연구에서는 전체 환자에서 심전도 게이트는 8 프레임으로 시행하였고, 심초음파와 비교시 게이트 심근관류 SPECT가 좌심실 구혈률에서 평균 4.3%, 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적에서 각각 평균 8.3 mL, 9.4 mL 차이를 보였다.

다른 원인으로는 게이트 심근관류 SPECT와 이면성 심초음파의 좌심실 용적 및 구혈률을 측정하는 알고리즘의 자체의 차이를 생각해 볼수 있다. Nichols 등<sup>13)</sup>은 게이트 심근관류 SPECT에서 3가지 다른 알고리즘(threshold 알고리즘, Gaussian fit 알고리즘, Cardiac toolbox 알고리즘)을 이용하여 좌심실 용적 및 구혈률을 구하고 이를 modified Simpson 방법을 이용한 심초음파와 측정값을 비교하였다. 이

연구에서 좌심실 구혈률은 게이트 심근관류 SPECT의 알고리즘에 상관없이 3가지 알고리즘 모두에서 심초음파와 높은 상관성 및 일치율을 보였다. 그러나, 좌심실 용적 측정에서는 3가지 알고리즘 모두 높은 상관성은 보였으나 modified Simpson 알고리즘과 유사한 threshold 알고리즘을 이용한 경우에는 심초음파와 높은 일치율을 보인데 비해 Gaussian fit 알고리즘의 경우 심초음파에 비해 좌심실 용적을 과잉평가한다고 보고하여서 본 연구에 부합하는 결과를 보였다. Lum 등<sup>27)</sup>도 Gaussian fit 알고리즘의 QGS, 4D-MSPECT 그리고 Cardiac toolbox 알고리즘의 ECT 등 3가지 다른 알고리즘의 자동화된 정량화 프로그램으로 좌심실 구혈률 및 확장기말 용적을 비교한 연구에서 관류결손이 있는 환자에서 3가지 알고리즘 모두 높은 상관성을 보였으나 측정치는 Gaussian fit 알고리즘의 QGS가 4D-MSPECT에 비해 좌심실 구혈률은 평균 4.2%, 좌심실 확장기말 용적은 평균 16.6 mL 과소평가하였고, ECT에 비해서는 좌심실 구혈률을 평균 4.9%, 좌심실 확장기말 용적은 평균 10.3 mL 과소평가한다고 보고하여서 사용된 분석 소프트웨어에 따라 정량적 지표는 상이한 값을 보였다.

그 외에도 게이트 심근관류 SPECT로 좌심실 용적 및 구혈률 측정시 부정맥으로 심전도 이상이 있는 경우 정확한 게이팅이 어려워 게이트법 적용시 정량적 지표의 정확성이 낮아 질수 있고,<sup>28)</sup> 심실내 동맥류가 있는 경우에도 정확한 좌심실 기능을 나타내지 못하는 것으로 알려져 있다. 또한 재구성시 이용된 필터의 종류, 좌심근의 방사능 계수 정도에 따라서도 좌심실 용적이나 구혈률에 차이가 날수 있다.

본 연구에서는 좌심실 용적과 구혈률 측정의 표준 검사(gold standard)로 알려진 방사선 동위원소 혈관 촬영술을 시행하지 않았다. 그리고, 심초음파로 좌심실 용적 및 구혈률을 구하는 방법으로 modified Simpson 방법을 이용하였다. Folland 등<sup>29)</sup>은 심초음파로 좌심실 용적 및 구혈률을 구하는 방법 중 modified Simpson 방법이 방사선 동위원소 혈관 촬영술로 구한 좌심실 용적 및 구혈률과 가장 상관관계가 높다고 보고 하였다. Wahr 등<sup>30)</sup>도 modified Simpson 방법이 심초음파로 좌심실 용적 및 구혈률을 측정하는 다른 방법에 비해 재현성이 우수하고 검사자간 차이도 가장 작다고 보고 하여서 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 용적 및 구혈률을 modified Simpson 방법을 이용한 심초음파의 성적과 비교하는 것은 타당성을 인정받을 수 있다고 생각 된다. 다만, 본 연구에서 방사선 동위원소 혈관 촬영술과 같은 표준검사를 시행하지 않았기 때문에 두 검사 기법을 비교시 어느 검사 기법이 정확도가 높고 우수하다고 말하기에는 제한점이 있다고 생각 된다.

결론적으로, 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 용적 및 구혈률은 심초음파로 구한 좌심실 용적 및 구혈률과 좋은 상관성을 보였으나 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결

손이 있는 경우 두 검사의 측정치에는 유의한 차이를 보였으며, 관류결손이 없는 환자에 비해 좌심실 용적 및 구혈률 모두에서 일치율도 낮았다. 따라서 관류결손이 있는 관상동맥 질환 환자에서 좌심실 기능지표로 치료 반응 및 예후, 임상적 경과를 확인할 경우 동일한 검사기법으로 추적검사를 시행해야 하며 다른 검사기법을 시행한 경우 측정치를 그대로 받아들이기 위해서는 환자의 임상적 변수 및 검사기법의 특성을 고려한 해석이 필요한 것으로 생각 된다.

## 요 약

### 배경 및 목적 :

좌심실 용적 및 구혈률은 관상동맥 질환환자의 치료, 예후 예측 및 경과 관찰에 매우 중요한 기능지표이다. 현재 게이트 심근관류 SPECT를 이용하여 심근관류 이상을 진단하는 동시에 좌심실 용적 및 구혈률을 측정하는 방법이 많이 사용되고 있다. 저자는 게이트 심근관류 SPECT에서 관류결손이 있는 경우에는 좌심실의 내막면을 정확히 설정하기 어렵기 때문에 좌심실의 용적 및 구혈률을 구하는데 오차가 생길 가능성이 있다는 가정을 가지고 이러한 관류결손의 유무 또는 관류결손의 정도가 좌심실 용적 및 좌심실 구혈률에 미치는 영향을 좌심실내막을 비교적 용이하게 구별할 수 있는 심초음파검사로 구한 성적들과 비교분석하였다.

### 방 법 :

운동 또는 약물부하 게이트 심근관류 SPECT를 시행한 환자 중 심초음파 검사를 함께 시행한 67명의 환자(남/여=47/20; 평균 연령:  $60.2 \pm 12.4$ 세)를 대상으로 하였다. 게이트 심근관류 SPECT에서 좌심실 용적 및 구혈률 측정은 Gaussian fit 알고리즘을 이용한 AutoQUANT<sup>TM</sup> 프로그램을 사용하였고 심초음파를 이용한 좌심실 용적 및 구혈률 측정은 modified Simpson 방법을 사용하였다.

### 결 과 :

전체 67명의 환자에서 게이트 심근관류 SPECT와 심초음파는 좌심실 구혈률, 좌심실 확장기말 용적 및 수축기말 용적 측정에서 높은 상관성( $r=0.781$ ,  $r=0.754$ ,  $r=0.906$ ,  $p<0.0001$ )을 보였으나 게이트 심근관류 SPECT에서 구한 좌심실 구혈률이 심초음파에 비해 평균  $4.34 \pm 7.6\%$  낮게 측정되었고, 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적 측정에서 게이트 심근관류 SPECT에서 심초음파에 비해 각각 평균  $8.3 \pm 29.2$  mL,  $9.4 \pm 20.2$  mL 높게 측정되어 유의한 차이를 보였다. 관류결손이 없는 34명의 환자에서는 두 검사에서 좌심실 구혈률, 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적에 높은 상관성( $r=0.689$ ,  $r=0.593$ ,  $r=0.586$ ,  $p<0.0001$ )을 보였고 평균값에도 유의한 차이가 없었으나, 관류결손이 있는 33명의 환자에서는 두 검사 간에 높은 상관성( $r=0.777$ ,  $p<0.0001$ )은 있었으나 게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌



심실 구혈률이 심초음파에 비해 평균  $7.1 \pm 8.7\%$  낮게 측정되었고, 좌심실 확장기말 및 수축기말 용적 측정에 있어서 게이트 심근관류 SPECT와 심초음파 검사 사이에 높은 상관성( $r=0.804$ ,  $r=0.929$ ,  $p<0.0001$ )을 보였으나 게이트 심근관류 SPECT에서 심초음파에 비해 좌심실 확장기말 용적은 평균  $17.9 \pm 34$  mL, 좌심실 수축기말 용적은 평균  $16.93 \pm 25$  mL 높게 측정되어 유의한 차이를 보였다. Bland-Altman 도표에서 관류결손이 있는 환자에서 관류결손이 없는 환자에 비해 두 검사간 좌심실 용적 및 구혈률 값의 일치율이 낮았다.

#### 결론 :

게이트 심근관류 SPECT로 구한 좌심실 용적 및 구혈률과 심초음파로 구한 좌심실 용적 및 구혈률 사이에는 유의한 상관성이 있었으나, 관류결손이 있는 경우 둘 사이에는 유의한 차이가 있어서 측정치를 그대로 받아들이기 위해서는 환자의 임상적 변수 및 검사기법의 특성을 고려한 해석이 필요하다.

**중심 단어 :** 심초음파 ; 심근 SPECT ; 좌심실 기능.

#### REFERENCES

- Bonow RO, Lakatos E, Maron BJ, Epstein SE. Serial long-term assessment of the natural history of asymptomatic patients with chronic aortic regurgitation and normal left ventricular systolic function. *Circulation* 1991;84:1625-35.
- Pilote L, Silberberg J, Lisbona R, Sniderman A. Prognosis in patients with low left ventricular ejection fraction after myocardial infarction: importance of exercise capacity. *Circulation* 1989;80:1636-41.
- Garot P, Pascal O, Simon M, et al. Impact of microvascular integrity and local viability on left ventricular remodelling after reperfused acute myocardial infarction. *Heart* 2003;89:393-7.
- Ladenheim ML, Pollock BH, Rozanski A, et al. Extent and severity of myocardial hypoperfusion as predictors of prognosis in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1986;7:464-71.
- Shah PK, Maddahi J, Staniloff HM, et al. Variable spectrum and prognostic implications of left and right ventricular ejection fractions in patients with and without clinical heart failure after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1986;58:387-93.
- Doughty RN, Wright S, Whalley GA. Echocardiography or radionuclide methods for assessment of left ventricular function in acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1998;82:704.
- Mele D, Campana M, Sclavo M, et al. Impact of tissue harmonic imaging in patients with distorted left ventricles: improvement in accuracy and reproducibility of visual, manual and automated echocardiographic assessment of left ventricular ejection fraction. *Eur J Echocardiogr* 2003;4:59-67.
- Lee DS. Myocardial SPECT. *Korean Circ J* 2001;31:385-91.
- Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995;36:2138-47.
- Hyun IY, Kwan J, Park KS, Lee WH. Reproducibility of Tl-201 and Tc-99m sestamibi gated myocardial perfusion SPECT measurement of myocardial function. *J Nucl Cardiol* 2001;8:182-7.
- Tadamura E, Kudoh T, Motooka M, et al. Assessment of regional and global left ventricular function by reinjection Tl-201 and rest Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT: comparison with three-dimensional magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:991-7.
- He ZX, Cwajg E, Preslar JS, Mahmarian JJ, Verani MS. Accuracy of left ventricular ejection fraction determined by gated myocardial perfusion SPECT with Tl-201 and Tc-99m sestamibi: comparison with first-pass radionuclide angiography. *J Nucl Cardiol* 1999;6:412-7.
- Nichols K, Lefkowitz D, Faber T, et al. Echocardiographic validation of gated SPECT ventricular function measurements. *J Nucl Med* 2000;41:1308-14.
- Choragudi NL, Prakash AM, Sun Y, Prasad P, Chiaramida SA, Lucariello RJ. Comparison of echocardiography with technetium 99m-gated single photon emission computed tomography as diagnostic tools for left ventricular ejection fraction. *Echocardiography* 2001;18:627-32.
- Cwajg E, Cwajg J, He ZX, et al. Gated myocardial perfusion tomography for the assessment of left ventricular function and volumes: comparison with echocardiography. *J Nucl Med* 1999;40:1857-65.
- Bellenger NG, Burgess MI, Ray SG, et al. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance: are they interchangeable? *Eur Heart J* 2000;21:1387-96.
- al-Kaylani H, Britton KE, Beslic N, Canizales A. Can the estimation of ejection fraction during gated single photon emission computed tomography at rest add information to the cardiac perfusion study? *Nucl Med Commun* 2002;23:899-906.
- Bae SK, Ahn BC, Lee SW, et al. Left ventricular mass measurement using Tc-99m MIBI myocardial perfusion SPECT: comparison with echocardiographic method. *Korean Circ J* 2002;32:1072-7.
- Park SW. Multicenter trial for estimation of normal values of echocardiographic indices in Korea. *Korean Circ J* 2000;30:373-82.
- Manrique A, Faraggi M, Vera P, et al. 201Tl and 99mTc-MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med* 1999;40:805-9.
- Achtert AD, King MA, Dahlberg ST, Pretorius PH, LaCroix KJ, Tsui BM. An investigation of the estimation of ejection fractions and cardiac volumes by a quantitative gated SPECT software package in simulated gated SPECT images. *J Nucl Cardiol* 1998;5:144-52.
- Nichols K, DePuey EG, Rozanski A, Salensky H, Friedman MI. Image enhancement of severely hypoperfused myocardia for computation of tomographic ejection fraction. *J Nucl Med* 1997;38:1411-7.
- Sciagra R, Imperiale A, Antoniucci D, et al. Relationship of infarct size and severity versus left ventricular ejection fraction and volumes obtained from 99mTc-sestamibi gated single-photon emission computed tomography in patients treated with primary percutaneous coronary intervention. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31:969-74.
- Cho K, Kumita S. Clinical application of left ventricular volume and ejection fraction derived from gated SPECT data. *Kaku Igaku* 2002;39:97-102.
- Kondo C, Fukushima K, Kusakabe K. Measurement of left ventricular volumes and ejection fraction by quantitative gated SPET, contrast ventriculography and magnetic resonance imaging: a meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:851-8.

- 26) Nichols K, DePuey EG, Rozanski A. *Automation of gated tomographic left ventricular ejection fraction. J Nucl Cardiol* 1996;3: 475-82.
- 27) Lum DP, Coel MN. *Comparison of automatic quantification software for the measurement of ventricular volume and ejection fraction in gated myocardial perfusion SPECT. Nucl Med Commun* 2003;24:259-66.
- 28) Nichols K, Yao SS, Kamran M, Faber TL, Cooke CD, DePuey EG. *Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. J Nucl Cardiol* 2001;8:19-30.
- 29) Folland ED, Parisi AF, Moynihan PF, Jones DR, Feldman CL, Tow DE. *Assessment of left ventricular ejection fraction and volumes by real-time, two-dimensional echocardiography: a comparison of cineangiographic and radionuclide techniques. Circulation* 1979;60:760-6.
- 30) Wahr DW, Wang YS, Schiller NB. *Left ventricular volumes determined by two-dimensional echocardiography in a normal adult population. J Am Coll Cardiol* 1983;1:863-8.