

# 관상동맥질환에서 Gated Blood Pool Scan을 이용한 좌심실 확장기능의 분석

서울대학교 의과대학 내과학교실

최창운 · 임상무 · 정준기 · 이명철  
박영배 · 서정돈 · 이영우 · 고창순

= Abstract =

## Analysis of Left Ventricular Diastolic Function in Coronary Artery Disease with Gated Blood Pool Scan

Chang Woon Choi, M.D., Sang Moo Lim, M.D., June-Key Chung, M.D., Myung Chul Lee, M.D.  
Young Bae Park, M.D., Joungdon Seo, M.D., Young Woo Lee, M.D. and Chang-Soon Koh, M.D.

Department of Internal Medicine, College of Medicine, Seoul National University

Resting gated blood pool scan was used to derive left ventricular functional changes in normals (N=13, mean age=43) and in patients with coronary artery disease (N=50, mean age=53).

Peak filling rates, average filling rates, and ejection fractions were significantly depressed in coronary artery disease. ( $p < 0.0005$ , each other).

And in coronary artery disease with normal ejection fraction (N=21), peak filling rates and average filling rates were depressed also, and peak filling rates of coronary artery disease with normal ejection fraction were abnormal in 61.2% and average fillin rates were abnormal in 71.4%.

It appears that (1) resting peak filling rates and average filling rates were sensitive and easily obtainable parameters of the diastolic dysfunction associated with coronary artery disease, (2) a significant proportion of coronary artery disease patients without any evidence of abnormal systolic function have depressed resting peak filling rates and average filling rates of the left ventricle.

### 서 론

최근까지 좌심실의 기능지표로서 심박출계수 및 각종 수축기 지표가 흔히 사용되어 왔으나 관상동맥질환중 많은 환자에서 정상 심박출계수인 경우를 관찰하게 된다. 한편 확장기가 단순한 수동적 운동이 아닌 에너지를 이용한 능동적 과정임이 밝혀지고 있다<sup>1)</sup>.

즉 관상동맥질환에서 심근에 대한 산소공급 정도에 따라 수축기에 운동장애, 운동저하, 또는 보상성 운동항진

등의 운동이상을 보이고 있으며<sup>2)</sup>, 확장기에는 압력감소율의 저하 및 초기 확장기의 연장이 관찰되고 있고<sup>3,4,5)</sup> 이러한 확장기장애는 허혈 부위의 지속되는 국소적 긴장에 의한 심근운동의 부조화에 기인하며 심근의 경직화가 유발되기 이전 또는 수축기의 이상이 관찰되기 이전에 확장기의 이상이 관찰될 수 있다고 보고되었다<sup>6,7)</sup>.

현재까지 좌심실 기능의 평가 방법으로 심에코검사 및 심혈관조영술의 방법이 있으나 직접 좌심실 용적을 측정할 수 없고 시행방법 상의 불편함이 있었다. 최근에 gated blood pool scan을 이용하여 좌심실의 용적곡선에서 각종 수축기 및 확장기 기능지표를 측정할 수 있게 되었다. 이에 저자는 gated blood pool scan을 이용하여 관상동맥질환의 수축기 및 확장기의 기능 변화를 정상대조군과

\*본 논문은 1986년도 서울대학교병원 임상연구비 보조로 이루어진 것임.

비교 분석하고 그 유용성을 살펴보기 위하여 본 연구를 시행하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

정상대조군은 13명으로 과거력상 심장병 또는 고혈압이 없고 정상 이학적 소견 및 심전도 소견이었고 4명은 관상동맥조영술을 시행하여 정상이었다. 연령은 평균 43세(연령분포: 16~66세)이었고 남자 10명, 여자 3명이었다. 관상동맥질환군은 1985년 10월부터 1986년 6월까지 서울대학교병원에서 진단 받은 환자 50명으로 평균연령 53세(연령분포: 24~78세)이었고 남자 42명, 여자 8명이었다. 이 중 38명(76%)은 관상동맥조영술을 시행하였으며, 최소한 1개 이상의 혈관이 50% 이상의 협착을 보였다. 협심증군은 병력 및 심전도, 심혈관조영술 상에서 진단받은 환자 27명이었으며 남자 20명, 여자 7명이었다. 심근경색증군은 병력 및 심전도, 심근효소, 심혈관조영술 및 동위원소스캔 상에서 심근경색증의 증거가 있는 환자군으로 23명이었으며 남자 22명, 여자 1명이었다(Table 1).

### 2. 연구방법

환자에 in vivo method로 표지된 <sup>99m</sup>Techetium-적혈구 20 mCi를 정맥주사 후 5~10분 후에 Ohio Nuclear gamma camera를 이용하여 좌전사위로 심전도를 연결하여 gated blood scan을 시행하였다. PDP-11 computer (DEC 회사)를 이용하여 심박동 1회를 20화면(frame)으로 나누어 64×64 byte mode로 심박동 500회를 각각의 화면에 축적하여 각 화면당 좌심실의 방사능계수를 manual method로 측정하였다. 20화면에서 좌심실의 방사능의 배후방사능치로 교정하고 좌심실의 용적곡선을 구하였고 서울대학교병원 의공학과와 도움으로

curve fitting method로 각각의 지표를 산출할 수 있었다. 심박동간에 부정맥이 있는 경우는 평균심박동 시간의 10%를 "window period"로 정하여 이 이상의 차이가 있는 경우는 제외하였다.

본 연구에서 사용된 지표로는 최대수축률(peak ejection rate), 평균수축률(average ejection rate), 심박출계수(ejection fraction), 최대이완률(peak filling rate), 평균이완률(average filling rate), 최대이완시간(time to peak filling rate)이었다. 좌심실의 용적곡선은 computer 화면의 특정흥미부위(region of interest: ROI)를 그려 좌심실의 각 화면당 방사능치를 측정하여 구하였다. 심박출계수는 이완말기 및 수축말기의 좌심실의 방사능치를 구한 다음 좌심실 주위의 배후방사능치(background count)로 교정하여 다음 공식에 의해 산출하였다.

$$\text{심박출계수} = \frac{(C_{ED} - C_{BKG}) - (C_{ES} - C_{BKG})}{C_{ED} - C_{BKG}}$$

$C_{ED}$  = 확장말기의 방사능치

$C_{ES}$  = 수축말기의 방사능치

$C_{BKG}$  = 배후 방사능치

배후방사능치는 좌심실 전후에 있는 폐와 심근에서 나오는 방사능양을 상쇄하기 위해 좌심실 주위에 C자 모양으로 배후의 특정흥미부위를 그려 구하였고 이 때 동맥과의 중첩을 피하였다.

최대수축률 및 최대이완률은 용적곡선을 시간에 대한 1차미분곡선에서 각각의 최고점이며 평균수축률 및 평균이완률은 용적곡선의 기울기의 평균으로 즉 1차미분곡선의 수축기(또는 확장기) 면적을 시간으로 나눈 값이다(Fig. 1).

모든 통계적 숫자는 평균±표준편차로 표시하였다. 군간의 통계적 처리는 Student-t test를 이용하였으며 P-value는 0.05 이하를 통계적으로 의미있는 것으로 하였다.

Table 1. Sex and Age Distribution of the Subjects

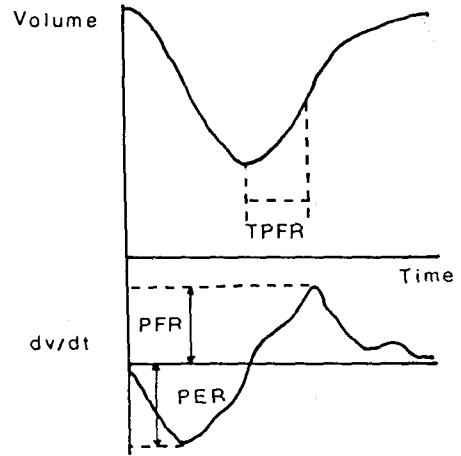
	Total No.	Male	Female	Age (years)	
				Mean	Range
Normal	13	10	3	43	16~66
CAD	50	42	8	53	24~78
Angina	27	20	7	51	32~77
Infarction	23	22	1	55	24~78

연구 결과

1) 정상대조군(13예)과 관상동맥질환군(50예) 간에는 심박동수, 최대수축률, 최대이완시간은 통계적으로 유의한 차이가 없었으며 심박출계수는 각각  $0.6 \pm 0.07$ ,  $0.55 \pm 0.11$ 이었고, 최대이완률은 각각  $3.46 \pm 0.72$ (EDV/sec),  $2.44 \pm 0.78$ (EDV/sec)이었으며, 평균이완률은  $1.44 \pm 0.24$ (EDV/sec)  $0.94 \pm 0.24$ (EDV/sec)로 각각  $P < 0.0005$ 의 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 평균수축률은  $1.78 \pm 0.38$ (EDV/sec),  $1.50 \pm 0.48$ 로  $P < 0.05$ 의 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

2) 협심증군과 심근경색증군 사이에는 최대수축률이 각각  $3.27 \pm 0.75$ (EDV/sec),  $2.79 \pm 0.88$ (EDV/sec) ( $P < 0.005$ )이었고, 평균 수축률이  $1.65 \pm 0.47$ (EDV/sec),  $1.34 \pm 0.47$ (EDV/sec) ( $P < 0.05$ )이었으며, 심박출계수가  $0.60 \pm 0.10$ ,  $0.52 \pm 0.11$  ( $P < 0.005$ )으로 각각 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 3).

3) 정상대조군과 정상 심박출계수인 관상동맥질환군(21예) 사이에는 최대이완률이 각각  $3.46 \pm 0.72$ (EDV/



Abbreviations

- PER: Peak ejection rate (EDV/sec)
- AER: Average ejection rate (EDV/sec)
- EF: Ejection fraction
- PFR: Peak filling rate (EDV/sec)
- AFR: Average filling rate (EDV/sec)
- TPFR: Time to peak filling rate (msec)

Fig. 1. Left ventricular volume curve and each Index.

Table 2. Heart Rate, Systolic and Diastolic Indexes in Normal and CAD

(Mean ± S.D.)

	Normal (n=13)	CAD (n=50)	p-value
HR (beat/min)	72 ± 13	67 ± 11	NS
PER (EDV/sec)	-3.44 ± 0.68	-3.04 ± 0.80	NS
AER (EDV/sec)	-1.78 ± 0.38	-1.50 ± 0.48	< 0.05
PFR (EDV/sec)	3.46 ± 0.72	2.44 ± 0.78	< 0.0005
AFR (EDV/sec)	1.44 ± 0.24	0.94 ± 0.24	< 0.0005
EF (EDV/sec)	0.68 ± 0.07	0.57 ± 0.11	< 0.0005
TPFR (EDV/sec)	128.6 ± 56.1	137.0 ± 57.5	NS

Table 3. Systolic and Diastolic Indexes in Angina and Myocardial Infarction

	Angina (n=27)	MI (n=23)	p-value
PER EDV/sec	-3.27 ± 0.75	-2.79 ± 0.88	< 0.005
AER EDV/sec	-1.65 ± 0.47	-1.34 ± 0.47	< 0.05
PFR EDV/sec	2.46 ± 0.75	2.40 ± 0.76	NS
AFR EDV/sec	1.00 ± 0.25	0.89 ± 0.25	NS
EF	0.60 ± 0.10	0.52 ± 0.11	< 0.005
TPFRmsec	165.2 ± 80.8	176.1 ± 83.7	NS

sec),  $2.77 \pm 0.77$  (EDV/sec) ( $P < 0.05$ )이었고, 평균이완률이 각각  $1.44 \pm 0.24$  (EDV/sec),  $1.07 \pm 0.18$  (EDV/sec) ( $P < 0.005$ )이었으며 양 군 사이에 각각 통계적으로 유의한 차이가 있었다 (Table 4).

4) 최대이완률의 분포를 정상대조군, 정상 심박출계수의 관상동맥질환군, 비정상 심박출계수인 관상동맥질환군의 3군으로 도시하면 Fig. 2와 같다. 정상대조군의 최대이완률의 최소치는 2.90 EDV/sec이었으며 이를 기준으로 정상심박출계수인 관상동맥질환군의 61.2%가 비정상이었으며 전체 관상동맥질환군의 71.4%가 비정상이었다.

5) 평균이완률의 분포를 정상대조군, 정상 심박출계수

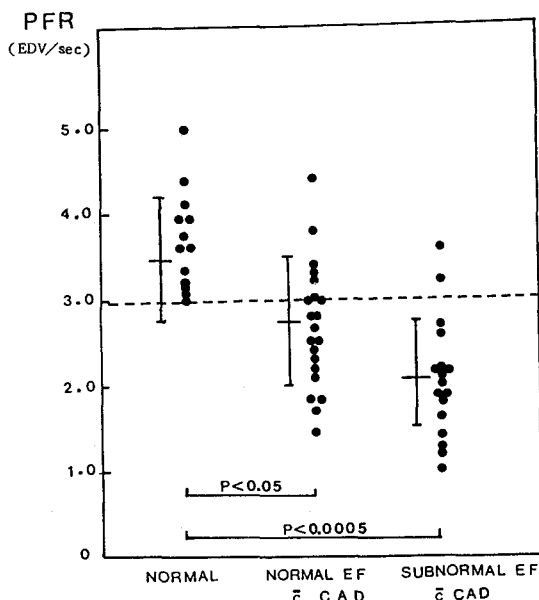


Fig. 2. Peak filling rates of individuals in three groups of subjects. Dotted line is lowest value of normal.

인 관상동맥질환군, 및 비정상 심박출계수인 관상동맥질환군의 3군으로 도시하면 Fig 3과 같다. 정상대조군의 평균이완률의 최소치는 0.94 (EDV/sec)이었으며 이 최소치를 기준으로 정상 심박출계수인 관상동맥질환군의 71.4%가 비정상이었고 전체관상동맥질환의 84.2%가 비정상이었다.

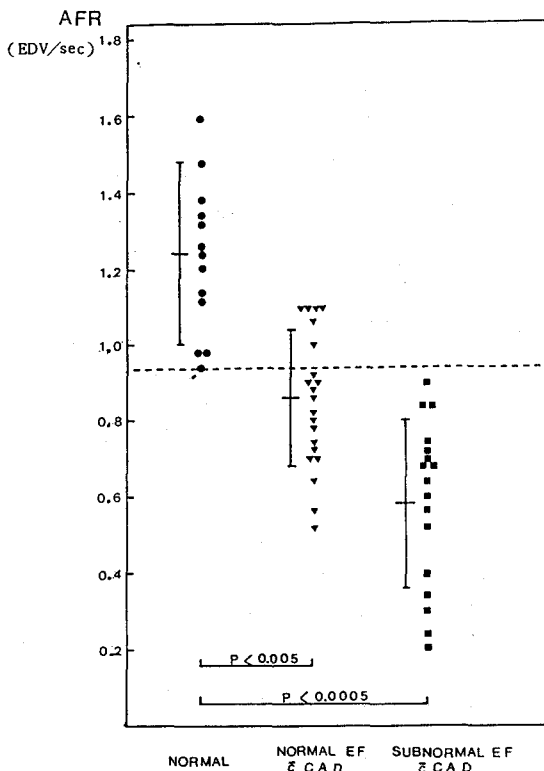


Fig. 3. Average filling rates of individuals in three groups of subjects. Dotted line is lowest value of normal.

Table 4. Systolic and Diastolic Indexes in Normal Control and CAD with Normal EF

	Normal (n=13)	CAD with Normal EF (n=21)	p-value
PER (EDV/sec)	$-3.44 \pm 0.68$	$-3.35 \pm 0.74$	NS
AER (EDV/sec)	$-1.78 \pm 0.38$	$-1.76 \pm 0.38$	NS
PFR (EDV/sec)	$3.46 \pm 0.72$	$2.77 \pm 0.77$	$< 0.05$
AFR (EDV/sec)	$1.44 \pm 0.24$	$1.07 \pm 0.18$	$< 0.005$
EF	$0.68 \pm 0.07$	$0.64 \pm 0.05$	NS
TPFR (msec)	$128.6 \pm 56.1$	$132.1 \pm 59.7$	NS

6) 심근경색증환자 중에서 하벽경색증(7예) 및 전벽경색증(10예), (전벽 및 하벽경색증이 공존한 경우 제외)의 두 군간의 각 지표는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 5).

7) 관상동맥질환환자에서 관상동맥조영술을 시행한 환자 38예중 단일혈관질환(23예)과 복수혈관질환(15예) 사이에는 평균이완률이 각각  $1.78 \pm 0.38$ ,  $1.50 \pm 0.48$ 로 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $P < 0.05$ ) (Table 6).

8) 협심증환자군 중에서 과거력상 고혈압이 있거나 심장초음파 검사상 좌심근비대가 동반된 군과, 과거력상 고혈압이 없는 군 사이에는 각 지표간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

## 고 찰

좌심실의 용적곡선 측정은 심기능의 평가에 중요한 방법이나 최근까지의 비관혈적 방법인 심에코검사나 관혈적 방법인 심혈관조영술이 정확도나 방법상에 불편한 점이 많았다. 그러나 동위원소를 이용한 gated blood pool scan을 시행하여 좌심실의 용적을 직접 측정 가능하게 되었고 이에 컴퓨터 시스템을 이용하여 분석을 시행할 수 있게 되었다<sup>8~10</sup>).

정상대조군은 관상동맥질환군의 고연령층에 호발하므로 연령을 같게 하여 비교를 하는 것이 이상적이나 저자가 시행한 사전검사상 휴식기에는 연령에 따른 심박출계

**Table 5. Systolic and Diastolic Indexes in Myocardial Infarction**

	Inferior Wall (n=7)	Anterior Wall (n=10)	p-value
PER (EDV/sec)	$-2.92 \pm 0.50$	$-2.76 \pm 1.10$	NS
AER (EDV/sec)	$-1.40 \pm 0.28$	$-1.28 \pm 0.62$	NS
PFR (EDV/sec)	$2.68 \pm 0.66$	$2.10 \pm 0.62$	NS
AFR (EDV/sec)	$1.00 \pm 0.30$	$0.86 \pm 0.26$	NS
EF	$0.55 \pm 0.09$	$0.50 \pm 0.12$	NS
TPFR (msec)	$119.30 \pm 39.7$	$140.0 \pm 47.5$	NS

**Table 6. Systolic and Diastolic Indexes in Single and Multivessel Coronary Artery Disease**

	Single vessel CAD (n=23)	Multivessel CAD (n=15)	p-value
PER (EDV/sec)	$-3.16 \pm 0.66$	$-2.74 \pm 1.04$	NS
AER (EDV/sec)	$-1.53 \pm 0.40$	$-1.48 \pm 0.66$	NS
PFR (EDV/sec)	$2.56 \pm 0.74$	$2.52 \pm 0.84$	NS
AFR (EDV/sec)	$1.02 \pm 0.20$	$0.88 \pm 0.20$	<0.05
EF	$0.59 \pm 0.08$	$0.54 \pm 0.14$	NS
TPFR (msec)	$138.9 \pm 61.9$	$149.5 \pm 60.1$	NS

**Table 7. Comparison of Indexes in Normal Controls**

	Imai et al.(12) (1985)	Reduto et al.(13) (1981)	Inouye et al.(14) (1984)	Polak et al.(15) (1982)	Author (1986)
No. of cases	10	32	11	12	13
No. of frames	25 f/sec	20 msec/f	20 f/sec	20 msec/f	20 f/beat
Mean age	50.8	40	45	39	43
HR (beat/min)	$70.5 \pm 9.4$	$73 \pm 16$	$61 \pm 14$	$74 \pm 14$	$72 \pm 13$
EF (%)	$56.5 \pm 8.5$	$67 \pm 9$	$65 \pm 7$	$55 \pm 6$	$68 \pm 7$
PFR (EDV/sec)	$3.15 \pm 0.80$	$3.13 \pm 0.85$	$2.63 \pm 0.39$	$2.14 \pm 0.63$	$3.46 \pm 0.72$
TPER (msec)	$154.0 \pm 32.0$	-	$158 \pm 27$	$151 \pm 38$	$128.6 \pm 56.1$

수에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 실제 정상대조군을 40세를 기준으로 비교한 각 지표간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 또한 관상동맥질환 환자 특히 심근경색증 환자군의 연구에서 칼슘길항제 및 베타교감신경차단제의 투약을 중단할 수 없는 경우가 상당수이었다(협심증 33%, 심근경색증 74%), 그러나 베타교감신경차단제는 수축기능을 경미하게 저하시키고 칼슘길항제는 확장기능을 강화하는 작용을 하여<sup>11)</sup> 본 연구의 목적인 정상대조군과 관상동맥질환군에서 수축기능과 확장기능의 비교에 비틀림(bias)으로 작용하나, 지표가 통계적으로 유의한 차이가 있을 때에는 그 의의를 인정할 수 있다.

정상대조군에 대한 각 저자들의 지표 비교는 Table 7와 같았으며 저자의 결과와 큰 차이는 없었다.

관상동맥질환에서 수축기의 장애 외에 확장기의 기능저하가 관찰되어 왔으며 확장기 기능저하의 기전은 협심증과 심근경색증 간에는 차이가 있다. 협심증의 경우에는 정확한 기전은 밝혀져 있지 않으나 저산소증과 동반된 칼슘이온의 심근섭유소로부터 근장방으로의 흡수기전 저하에 의한 것으로 알려져 있다<sup>16)</sup>. 이러한 장애는 초기 확장기(isovolumetric relaxation)에 영향을 주며 협심증 발작이 있는 기간에만 나타나는 것이 아니라 발작이 없는 상태에서도 관찰되며<sup>17)</sup> 이때 반드시 좌심실의 수동적 강직이 동반되는 것은 아니다<sup>7)</sup>.

심근경색증의 경우는 국소적 확장기의 장애, 초기이완률 저하 및 말기 확장기에서 압력-용적곡선의 변화가 나타나며 특히 이러한 변화는 경색부위의 심근섭유소에 기인하는 것으로 알려져 있다.

저자는 정상대조군과 관상동맥질환군 사이에 계속 최대이완률, 평균이완률 외에 심박출계수가 통계적으로 유의한 차이가 있고, 정상 심박출계수인 관상동맥질환군과 정상대조군 사이에도 최대이완률 및 평균이완률이 통계적으로 유의한 차이가 있음을 관찰하였다. 특히 정상대조군의 최소치를 기준으로 정상 심박출계수인 관상동맥질환에 대해 최대이완률이 61.2%, 평균이완률이 71.4%에서 이상 소견이 관찰되어 관상동맥질환에서 확장기능의 이상이 선형됨을 확인하였고 비관혈적 방법으로 관상동맥질환이 의심되는 환자에서 진단에 도움이 될 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 Polak 등이 정상심박출계수인 관상동맥질환의 52%와 전체 관상동맥질환의 87%에서 확장기능이 저하된다는 보고와 유사한 결과였다.

그러나, 관상동맥질환에서 확장기의 장애가 빈번히 관찰되나 이는 관상동맥질환의 특이한 변화는 아니며 심장판막질환, 비후성심근증, 고혈압에서도 동반되는 것으로 보고되었다<sup>14,18,19)</sup>.

또한 확장기능의 저하 정도가 저자의 결과 및 Bonow 등<sup>20)</sup>의 보고와 같이 침습된 혈관의 수와 일치하지 않아 이의 임상적 이용에 제한이 될 것으로 사료된다.

고혈압 또는 심근비후가 확장기능의 변화를 초래한다는 보고<sup>14,21)</sup>가 있으나 협심증과 고혈압 또는 심근비후가 동반된 군과 동반되지 아니한 군 사이의 각 지표간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었으며 이는 관상동맥질환에 의하여 각 지표의 절대치가 감소된 결과로 생각되었다.

이상의 결과로 gated blood pool scan을 이용한 휴식기 좌심실기능 분석은 관상동맥질환에서 유용한 비혈관적 진단 방법으로 생각되었으며 한 심박동기를 더욱 많은 화면으로 나누어 스캔을 시행하고, 스캔 시행시 심근운동 양상을 같이 관찰하면 더 정확한 관상동맥질환의 진단이 가능할 것으로 생각되었다.

## 결론

저자는 1985년 10월 부터 1986년 6월까지 서울대학교병원에서 진단된 50예의 관상동맥질환 환자와 정상대조군 13예를 대상으로 gated blood pool scan을 이용하여 휴식기 좌심실 기능을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정상인(13예)과 관상동맥질환 환자(50예) 사이의 심박동수, 최대수축률, 최대이완시간은 통계적으로 유의한 차이가 없었으며 최대이완률, 평균이완률 및 심박출계수, 평균수축률은 통계적으로 유의한 차이가 있었다.
- 2) 정상인과 정상 심박출계수인 관상동맥질환 환자 사이의 최대이완률 및 평균이완률은 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 정상 심박출계수인 관상동맥질환 환자에게 최대이완률은 61.2%, 평균이완률은 71.4%의 이상 소견을 보였다.
- 3) 관상동맥조영술로 침습정도가 확인된 관상동맥질환과 복수혈관질환 사이의 각 지표 간에는 평균이완률만이 통계적으로 유의한 차이가 있었다.
- 4) 심근경색증 환자중 하벽경색증 환자(7예)와 전벽경색증 환자(10예)간의 각 지표는 통계적으로 유의한 차이

가 없었다.

5) 협심증 환자군에서 고혈압 또는 심근비대가 동반된 군과 동반되지 않은 군 사이의 각 지표 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

이상의 결과로 gated blood pool scan을 이용한 휴식기 좌심실 기능 분석은 관상동맥질환 환자에서 유용한 비혈관적 진단 방법으로 생각되었으며, 관상동맥질환 환자에 대한 치료 또는 약물에 대한 반응 유무 검사 및 환자의 지속적인 경과 관찰에 유용한 것으로 생각되었다.

## REFERENCES

- 1) Grossman W, McLaurin LP: *Diastolic properties of the left ventricle. Ann Intern Med* 84:316, 1976
- 2) Vanter SF: *Correlation between acute reduction in myocardial blood flow and function in conscious dogs. Circ Res* 47:201, 1980
- 3) Barry WH, Brooker JZ, Alderman EL, et al: *Changes in diastolic stiffness and tone of the left ventricle during angina pectoris. Circulation* 49:225, 1974
- 4) Katz AM: *Effects of ischemia on the contractile processes of heart muscle. Am J Cardiol* 32:456, 1973
- 5) Mann T, Goldberg S, Mudge GH, et al: *Factors contribution to altered left ventricular diastolic properties during angina pectoris. Circulation* 59:14, 1979
- 6) Carrol JD, Hess CM, Hirzel HO, et al: *Exercise-induced ischemia. Circulation* 67:521, 1983
- 7) Gewirtz H, Ohley W, Waish J, et al: *Ischemia induced impairment of left ventricular relaxation: relation to reduced diastolic filling rates on the left ventricle. Am Heart J* 105:72, 1983
- 8) Miller TR, Goldman KJ, Sampathkumaran KS, et al: *Analysis of cardiac diastolic function; application in coronary artery disease. J Nucl Med* 24:2, 1983
- 9) Reiber JHC: *Quantitative analysis of left ventricular function from equilibrium gated blood pool scintigrams; an overview of computer methods. Eur J Nucl Med* 10:97, 1985
- 10) Strauss HW, Zoret BL, Hurley PT, et al: *A scintigraphic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. Am J Cardiol* 28:575, 1971
- 11) Bonow RO, Leon MB, Rosing DR, et al: *Effect of verapamil and propranolol on left ventricular systolic function and diastolic filling in patients with coronary artery disease; radionuclide angiographic studies at rest and during exercise. Circulation* 65:1337, 1981
- 12) Imai S, Kanda H, Suzuki T, et al: *Analysis of the left ventricular early diastolic function in old myocardial infarction by gated radionuclide angiography: Japanese Circulation Journal* 49:672, 1985
- 13) Reduto LA, Wickemeyer WJ, Young JB, et al: *Left ventricular diastolic performance at rest and during exercise in patients with coronary artery disease. Circulation* 63:1228, 1981
- 14) Inouye I, Massie B, Loge D, et al: *Abnormal left ventricular filling: an early finding in mild to moderate systemic hypertension. Am J Cardiol* 53:120, 1984
- 15) Polak JF, Kemper AJ, Bianco JA, et al: *Resting early peak diastolic filling rate: a sensitive index of myocardial dysfunction in patients with coronary artery disease. J Nucl Med* 23:471, 1982
- 16) Paulus WJ, Serizawa T, Grossman W: *Altered left ventricular properties during pacing induced ischemia in dogs with coronary stenosis. Cir Res* 50:218, 1982
- 17) Braunwald E, Kloner RA: *The stunned myocardium: prolonged, postischemic ventricular dysfunction. Circulation* 66:1146, 1982
- 18) Bonow RO, Rosing DR, Bacharach SL, et al: *Effects of verapamil on left ventricular systolic function and diastolic filling in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Circulation* 64:787, 1981
- 19) Hammermeister KE, Warbasse JR: *The rate of change of left ventricular volume in man. Circulation* 49:739, 1974
- 20) Bonow RO, Bacharach SL, Green MV, et al: *Impaired left ventricular diastolic filling in patients with coronary artery disease; assessment with radionuclide angiography. Circulation* 64:315, 1981
- 21) Fouad FM, Tarazi RC, Gallagher JH, et al: *Abnormal left ventricular relaxation in hypertensive patients. Clinical Science* 59:4118, 1980