

우심방 조율에 의한 협심증 진단에 관한 연구*

경상대학교 의과대학 내과학교실, 흉부외과학교실

이재구 · 심대석 · 김진호 · 이근홍 · 김성호* · 도문홍 · 서봉관 · 최진학

= Abstract =

Assessment of Rapid Atrial Pacing in the Diagnosis of Coronary Artery Disease

Jae Gu Lee M.D., Dae Seok Sim M.D., Gun Ho Kim M.D.,
Keun Hong Lee M.D., Sung Ho Kim M.D.*, Moon Hong Doh M.D.,
Bong Gwan Seo M.D., Jin Hak Choi M.D.

Department of Internal Medicine, Thoracic Surgery, College of Medicine
Gyeongsang National University*

The sensitivity and specificity of ST segment change on ECG for detection of coronary artery disease(CAD) by pacing stress test were assessed. Among 28 cases with chest pain (mean age 52, M/F : 21/7), 10 patients had normal coronary angiographic finding(Group I), and 18 had coronary artery disease(Group II). Pacing stress test showed high specificity (100%), but low sensitivity(61%) for the diagnosis of CAD. Especially in patients with 1 vessel disease, the sensitivity was only 50%, and positive results were not attained unless there was at least 90% or more stenosis in any of the major branches (LAD, RCA or LCX). But in patients with multivessel disease, the sensitivity was much higher(83%). Lateral (V4-6) or inferior leads(2, 3, aVF) showed ischemic ST segment depression most commonly. Therefore one of the inferior lead and V5 may be a minimum requirement for monitoring pacing-induced ST segment changes. Time constant during isovolumic relaxation showed statistically significant prolongation after pacing only in CAD patient group, suggesting pacing-induced impairment of early left ventricular relaxation.

KEY WORDS : Pacing stress test · ST segment change · Hemodynamic change.

서 론

심근허혈을 인위적으로 유발하여 관상동맥 질환을 진단하기 위한 여러가지 부하검사가 사용되

고 있는데 운동능력이 감소되어 있거나 운동을 할 수 없는 경우 우심방 조율에 의한 부하검사가 가끔 이용되고 있다. 관상동맥 질환의 진단을 위한 우심방 조율 부하검사(atrial pacing stress test)의 유용성은 논란의 여지가 있다. 1976년 Rios 등²⁰⁾은 운동부하 심전도 검사에 비해 너무 낮은 민감도를

*본 논문은 1991년 경상대학교 병원 임상 연구비의 보조로 이루어졌음.

보고하였고(20% VS. 80%), Robson 등²¹⁾은 낮은 특이도를 보고하였다. 하지만 1984년 Heller 등⁸⁾은 높은 민감도(94%)와 특이도(83%)를 발표하였다. 심근 산소 소모량은 심근수축력, wall stress, 심박수 등의 3가지 중요한 인자들에 의해 결정되고 운동 부하 심전도 검사는 3가지 중요인자들을 모두 증가시켜서 심근에 충분한 부하를 주지만 우심방 조율 부하검사는 심박수를 증가시켜 심근 산소 소모량을 증가시킬 수 있는 반면 이를 감소시킬 수 있는 요소도 있다. 이는 조율시 intracardiac volume 감소, myocardial shortening 감소, 혈압감소 등을 초래하므로 wall stress가 감소하기 때문인데 이를 근거로 우심방 조율 검사는 이론적으로 운동부하 검사에 비해 충분치 못한 stress를 줄 수도 있다. 이러한 우심방 조율 부하 검사의 생리적 측면에서 생각할 때 Heller 등의 보고는 민감도가 너무 높은 것이 아닌가 의심하였다. 이에 저자 등은 흉통을 주소로 내원한 28명의 환자를 대상으로 우심방 조율에 따른 심전도 변화를 관찰하여 관상동맥질환 진단의 민감도 및 특이도를 알아보고, 조율직후 혈액학적 변화를 관찰하고자 본 연구를 시행하였다.

방 법

1. 대상 환자

가) 1991년 1월부터 1991년 8월 까지 흉통을 주소로 경상대학 병원 내과를 방문하여 심근허혈이 의심되는 모든 환자를 대상으로 하였고, 불안정 협심증, 심근 경색증, 심장전도 장애, 심부전 환자, 기타 심장내 기질적 병변이 있는 환자(선천성 심질환, 판막질환자) 등은 본 연구에서 제외하였다.

나) 대상 환자 28명중 12명은 약물복용의 기왕력이 없었고 16명은 아스피린제제와 항협심증 약물을 복용하고 있었다. 약물을 복용하고 있는 환자들은 검사를 시행하기 최소한 12시간전에 복용을 중단하였다.

2. 연구방법

가) 우측 대퇴 동맥 및 정맥에 Seldinger technique을 이용하여 넣은 정맥 sheath를 통하여 쌍극 전극 도자(bipolar electrode catheter)를 상대 정맥과 우심방의 접합부에 위치시킨후 쌍극 전극 도

자는 체외의 임시형 심박 조율기(temporary pacemaker)와 연결하였다. 또한 pig-tail 도자(fluid-filled catheter)를 동맥 sheath를 통하여 좌심실내에 위치시켰다.

나) 심방조율전 "Electronic for Medicine 사의 VR-12 Physiologic Monitoring System"을 이용하여 base-line left ventricular pressure를 기록하였고, 동 기계에 부착된 electronic differentiator에 의해 left ventricular pressure의 1차 미분치인 peak dp/dt를 구하여 기록하였다. 또한 표준 12유도 심전도를 기록하였다.

다) 예비 조율시험

ㄱ) 5mA의 전류로 기본 심박수보다 20회 정도 빠르게 조율을 시작하여 5초 간격으로 20회씩 올려 age-predicted maximal heart rate의 85%까지 조율이 가능한지 확인하였다.

ㄴ) 방실전도 장애등이 존재시에는 아트로핀 1~2mg을 정맥 주사후 실제조율을 시행하였다.

라) 실제조율

ㄱ) 기본 심박수보다 20회 빠르게 시작하여 매 2분 간격으로 20회씩 올린다.

: 박동수를 올리기 15초전에 표준 12유도 심전도를 찍어 ST 분절변화를 확인하고 J-point의 0.08초 이후에 1mm 이상의 ST 분절의 horizontal or downward depression이 확인되면 조율을 멈춘다. 만약 pacing blip이 ST 분절내에 존재하는 경우는 조율직후의 심전도 변화를 관찰하여 분석하였다.

ㄴ) 전형적인 흉통이 유발되는 경우에 심전도를 기록하였다.

ㄷ) 계속적인 심근허혈의 증거가 없는 경우 age-predicted maximal heart rate의 85%까지 조율을 하고 마친다. 조율중단 2~3초전 부터 심전도, left ventricular pressure, dp/dt를 시행하였다.

마) 심방조율이 끝난후 좌측 심장조영술, 관상동맥 조영술을 시행하여 2명 이상의 관찰자에 의해 육안적 분석법으로 결과를 판독하여 50% 이상 혈관이 좁아진 경우를 의미있는 병변으로 간주하였다.

바) 시간 상수(Time constant)는 Weiss method인 computed-T를 구하였다.

3. 통계분석

: 대상 환자 총 28명을 관상동맥 조영술에 의해

정상적인 군(Group I), 관상동맥질환이 있는 군(Group II)으로 구분하였고 각 군 내의 조율 전·후의 혈액학적 변동은 SPSS program을 이용한 wilcoxon signed-rank test로 분석하였고, 각 군간의 통계처리는 Student's t-test를 이용하였다.

결 과

1) 총 환자는 28명으로 남자 21명(75%) 여자 7명(25%)이었고, 환자의 평균 나이는 52.6세였다(범위 32~73세).

2) 정상군이 10명으로 35.7%를 차지하였고(Group I) 관상동맥 질환군이 18명으로 64.3%였다(Group II). Group II중 한 개 혈관병변을 보인 환자군이 12명으로 가장 많았고(Table 1), 두 개 또는 세 개 혈관 질환을 가진 군이 6명(Table 2)으로 나타났다.

3) 검사중 심계항진 및 어지럼증, 불안감 등의 증상이 나타났으나 조율 중단후 완전하게 사라졌고 특별한 부작용은 없었다.

4) 우심방 조율에 따른 심전도 변화의 결과는, 관상동맥 조영술에서 정상적인 소견을 보인 10명의 환자에서 심전도 변화가 모두 음성으로 나타났고 한 개 혈관 질환자 12명에서 6명이 음성, 6명이 양성으로 나타나 민감도 50%를 보였다. 양성

소견을 보인 대다수의 환자에서 90% 이상의 좁아진 병변을 보인 반면에 음성소견을 보인 환자 전부에서 80% 이하의 좁아진 병변이 관찰되었다. 심전도의 변화는 하벽유도(2, 3, aVF)와 좌흉부 유도에서 가장 잘 관찰되었다. 두 개 또는 세 개 혈관 질환자 6명에서 5명이 양성으로 나타나 상대적으로 약간 높은 민감도(83%)를 보였고, 역시 하벽 유도, 좌측 흉부유도에서 심전도의 변화가 잘 관찰되었다. 결론적으로 관상동맥을 진단하기 위한 우심방 조율 부하검사의 민감도는 61%, 특이도는 100%로서 특이도는 높은 반면에 민감도가 약간 낮은 경향을 보여주었다(Table 3).

5) 조율검사후 혈액학적 결과 분석시, 환자 7명(Group I : 2명, Group II : 5명)에서 dp/dt, left ventricular pressure 등의 기록이 불분명하여 혈액학적 분석에서 제외되었다. 관상동맥 조영술에서 정상소견을 보인 환자군(Group I)에서 혈액학적 변화는 Table 4와 같다. 즉, 조율후 peak positive 와 negative dp/dt는 의미있게 증가하였고($p < 0.05$), 시간상수는 조율후 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 관상동맥 조영술에서 병변이 있던 환자군(Group II)의 혈액학적 변화는 Table 5의 소견을 보였다. peak positive 및 negative dp/dt는 Group I과 비슷하게 통계적으로 유의하게 증가하였으나($p < 0.05$), 시간상수는 Group I과

Table 1. Patients with 1 vessel disease(n=12)

Patient No.	Age/Sex	Pacing stress test		CAG
		Result	(+) Leads	
1.	63/M	-	-	2nd DG(85%)
2.	53/M	-	-	LAD(60%)
3.	42/M	-	-	LAD(80%)
4.	39/M	-	-	LAD(60%)
5.	52/M	-	-	LAD(80%)
6.	72/M	-	-	LAD(80%)
7.	68/M	+	2,3,aVF,V4-6	RCA(95%)
8.	60/F	+	V3-6	LCX(95%)
9.	73/M	+	2,3,aVF	RCA(100%)
10.	42/F	+	2,3,aVF,V3-5	LCX(50%)
11.	68/F	+	1,aVL,V2-5	RCA(99%)
12.	54/M	+	2,3,aVF	LAD(99%)

*Abbreviations are : CAG=coronary angiography, 2nd DG=second diagonal branch artery, LAD=left anterior descending artery, RCA=right coronary artery, LCX=left circumflex artery

Table 2. Patients with 2 or 3 vessel disease(n=6)

Patient No.	Age/Sex	Pacing stress test		CAG
		Result	(+) Leads	
1.	60/M	—	—	1DG(50%),10M(80%)
2.	32/M	+	V5—6	LAD(75%),LCX(50%)
3.	58/M	+	1,V3—6	RCA(100%),LAD(90%) LCX(60%)
4.	52/M	+	V3—6	RCA(99%),LCX(80%) LAD(50%)
5.	54/M	+	V5—6	LAD(95%),RCA(90%) LCX(80%)
6.	63/M	+	2,3,aVF	RCA(100%),LCX(70%) LAD(50%)

*Abbreviations are ; 1 DG=first diagonal branch, 1 OM=first obtuse marginal branch, LAD=left anterior descending artery, LCX=left circumflex artery, RCA=right coronary artery, CAG=coronary angiography

Table 3. Sensitivity and specificity of ST segment change on ECG for detection of coronary artery disease

Pacing CAG	(—)	(+)	Total
(—)	10	0	10
(+)	7	11	18
Total	17	11	28

Sensitivity=61%,

Specificity=100%

Table 4. Hemodynamic finding before and immediately after pacing in group I (no coronary artery disease)

	Pre-pacing	Post-pacing
Peak(+) dP/dt (mmHg/sec)	1093±132	1468±396*
Peak(—) dP/dt (mmHg/sec)	1126±153	1349±203*
Time constant (msec)	30.7±9.7	26.3±9.7

* : p<0.05 Compared with Pre-pacing (Wilcoxon signed rank test)

상반되게 의미있는 증가를 보였다(p<0.01).

고 찰

우심방 조율에 의한 부하검사는 Sowton 등²⁴⁾에 의해 처음 고안되어 심장박동수의 증가에 따라 증상이 있는 관상동맥 질환군에서 협심증을 유발

Table 5. Hemodynamic finding before and immediately after pacing in group II(patients with coronary artery lesions)

	Pre-pacing	Post-pacing
Peak(+) dP/dt (mmHg/sec)	1117±196	1438±334*
Peak(—) dP/dt (mmHg/sec)	1181±161	1351±282*
Time constant (msec)	21.71±8.0	30.16±11**

* : p<0.05, ** : p<0.01 Compared with Pre-pacing (wilcoxon signed rank test)

하고, 이러한 현상들은 조율속도 및 조율기간에 따라 허혈정도가 차이가 난다고 알려졌다. 이후 많은 연구자들이 우심방 조율에 의한 심전도의 변화^{7,10,20-21)}, 심근 유산염의 변화^{7,18)}, 혈액학적 변화^{1,11,13-16,23,26)}, 국소 심장벽 운동 이상^{3,22)}을 보고하였다.

심방조율 부하검사의 임상적 유용도는 Parker¹⁹⁾, Leighton¹⁰⁾, Dwyer³⁾, Linhart¹²⁾ 등의 여러 연구자에 의해 관상동맥 질환군에서 좌심실 기능을 평가하였고, Frick 등⁵⁾은 협심증 환자에서 약물의 효과를 판정하는데 우심방 조율 부하검사를 이용하였다.

Heller 등⁸⁾은 심방조율에 따른 허혈성 심전도 변화의 기준에 따라 측정한 심전도 변화는 민감도 94%, 특이도 83%를 발표하였으며 Rios and Hur-

witz 등²⁰⁾은 심방조율시 극단적인 PR의 증가, 조율 흔적이 ST 분절내에 존재하여 ST 분절하강을 초래할 수 있어 심전도 변화의 분석이 어렵다고 주장하였다. William Grossman⁶⁾은 심전도 변화의 분석에 따른 자체적 기준으로 “첫째, 허혈성 심질환의 진단을 위해 표준 12 유도 심전도를 이용하여 적어도 1mm 이상의 horizontal or downsloping ST 분절하강이 관찰되어야하고 둘째, 심방조율은 maximal age-predicted heart rate의 85%에서 끝내거나 진단적 가치가 있는 심전도의 변화 및 흉통이 있을때 종결한다. 셋째, PR 간격이 심하게 길어져 있을때에는 조율후 처음 5 beat까지 ST 분절하강이 있어야 심전도 변화의 양상으로 판단한다” 등을 주장하였다. 본 연구의 결과, 낮은 민감도(62%) 및 높은 특이도(100%)를 나타내었고, 관상동맥의 한 개 혈관질환을 가진 환자에 비해 두 개 또는 세 개 혈관 질환에서 높은 민감도를 보였다. 본 연구 및 분석방법은 Heller 와 Grossman의 방법과 비슷하였기 때문에 민감도의 차이는 방법의 차이라기 보다는 대상 환자가 적었고, 관상동맥 조영술의 결과를 분석시 육안적 분석에 따른 오차등이 원인으로 생각된다. 또한 운동부하 검사에서 ST 분절 변화만을 고려시 관상동맥 질환의 진단에서의 민감도(55~70%) 및 특이도(85~95%)²⁾는 본 연구 결과와 특별한 차이는 없었고, Wackers 등²⁶⁾의 방사선 동위원소(thallium 201)를 이용한 관상동맥 질환의 진단에서의 민감도(89%), 특이도(95%)를 본 연구 결과와 비교시 본 연구에서 낮은 민감도를 보였지만 두개 또는 세 개 혈관 환자군과 비교시에는 비슷한 결과를 보였다. 따라서 관상동맥 질환 환자에서 우심방 조율에 의한 심전도 변화는 임상적 유용도가 매우 높은것으로 추측되며 향후이에 관한 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

일반적으로 좌심실 이완기 기능을 알 수 있는 혈역학적 지표로는 maximum negative dp/dt, 시간상수(time constant) 등이 알려져 있는데^{4,17,27)}, 1976년 Weiss 등²⁸⁾은 left ventricular pressure는 maximum negative dp/dt에서부터 승모판막이 열리는 기간까지의 isovolumic relaxation 시기 동안 지수곡선 형태로 감소한다고 가정하면 $p(t) = p_{oe} - t/T$ 로 표시 할 수 있으며, 이 방정식에서

양쪽 모두 자연대수치로 환산하면 $\ln p = -1/T \times t + \ln p_o$ 를 구할 수 있고 여기서 $\ln p$ 는 기울기 $-1/T$ 를 가지는 t의 직선임을 알 수 있다. 여기서 T가 시간 상수이다. 정상군에서 심방조율의 경우 시간 상수, maximum negative dp/dt의 변화는 없으나 관상 동맥 질환군에서는 시간 상수의 증가, maximum negative dp/dt 감소 등이 관찰된다고 한다^{4,27,28)}. 최근 연구들에서 peak negative dp/dt는 혈압, 심박동수, 심박출량 등의 여러인자들의 영향을 받아 일정한 결과를 나타내지 못하고, 시간 상수는 peak left ventricular pressure에 비의존적이고 심박동수에 최소의 영향을 받기 때문에 좌심실 이완기 기능을 알 수 있는 민감한 지표로 알려져 있다^{4,27)}. 본 연구 결과에서도 정상군과 관상동맥 질환군의 비교시, 관상동맥 질환군에서 심방 조율후에 시간상수가 의미있게 증가하는 것을 관찰하였는데 이는 pacing으로 좌심실의 이완기 기능에 장애를 초래한 것을 시사한다. 하지만 peak negative dp/dt의 변화에서는 정상군과 관상동맥 질환군에서 심방 조율후 모두 증가 하였는데 이는 환자의 심박출량, 심박동수, 혈압 등의 변화에 영향을 많이 받기 때문이라고 생각된다. 또한 본 연구 방법중 micromanometer tipped catheter를 사용하지 못하고 fluid filled catheter를 이용하였는데 이것으로 인한 overshoot 또는 undershoot에 대한 pressure tracing의 정확도에는 약간의 문제가 있으나 본 연구의 한계점이라 사료되며, 본 연구에서 구한 3가지 혈역학적 변수는 overshoot 혹은 undershoot에 별로 영향을 받지 않는 위치에 존재하는 것이므로 본 연구 결과에는 영향이 없을 것으로 사료된다.

결 론

흉통을 주소로 내원한 28명의 환자를 대상으로 우심방 조율에 의한 관상동맥질환의 진단에서 심전도 변화의 결과 및 혈역학적 변화는 다음과 같다.

- 1) 총28예의 환자에서 관상동맥 조영술 결과 10명이 정상이었고 18명이 관상동맥질환자였다.
- 2) 우심방 조율에 따른 심전도의 변화는 매우 높은 특이도(100%)와 약간 낮은 민감도(61%)를 나타냈다. 특히 한 개 혈관 질환을 가진 12명의

환자에서 50%의 민감도를 보였고 주혈관 병변이 90% 이상 협착이 나타날 때 까지는 심전도 변화가 관찰되지 않았다. 하지만 두 개 또는 세 개 혈관 질환을 가진 환자에서는 비교적 높은 민감도(83%)를 보였고, 하벽유도(2, 3, aVF), 좌흉부유도에서 ST 분절 하강이 가장 잘 관찰되었다. 이는 심방 조율시에 심전도 변화를 관찰할 경우 최소한 하벽유도중의 하나와 좌흉부유도중 하나인 V5가 필요할 것으로 생각된다.

3) 우심방 조율에 의한 시간상수의 변화에서 정상군에 비해 관상동맥 질환군이 의미있게 증가하였다($p < 0.01$). 이는 심방 조율에 의해 초기 좌심실의 이완기 장애가 초래한 것을 시사하며 이완기 기능의 민감한 지표로서 유용도가 높은 것이 아난가 사료된다. 하지만 peak negative dp/dt는 정상군과 관상동맥 질환군에서 모두 증가하였다. 이는 환자의 혈압, 심박수, 심박출량 등의 변화에 영향을 쉽게 받기 때문이라 생각된다.

이상의 결과로 우심방 조율 부하검사에 따른 심전도의 ST 분절변화는 관상동맥 질환의 진단에 매우 유용한 지표이다.

References

- Barry WH, Brooker JZ, Alderman EL, Harrison DC : *changes in diastolic stiffness and tone of the left ventricle during angina pectoris*. *Circulation* 49 : 225, 1974
- Braunwald E : *Heart disease ; A textbook of cardiovascular medicine*. W. B. SAUNDERS COMPANY 1988. third edition. p235
- Dwyer EM : *Left ventricular pressure-volume alteration, and regional disorders of contraction during myocardial ischemia induced by atrial pacing*. *Circulation* 42 : 1111, 1970
- Frederiksen JW, Weiss JL, Weisfeldt ML. Time constant of isovolumic pressure fall : *determinants in the working left ventricle*. *Am J Physiol*. 235(6) : H701-H706, 1978 or *Am J Physiol. : Heart Circ physiol*. 4(6) : H701-H706, 1978
- Frick MH, Balcon R, Cross D, and Sowton E : *hemodynamic effects of nitroglycerin in patients with angina pectoris studied by an atrial pacing method*. *Circulation*, 37, 160, 1968
- Grossman W. *Cardiac Catheterization and Angiography : third edition* LEA & FEBIGER PHILADELPHIA 1986. pp267-281
- Helfant RH, James SF, John RH, Jacob IH, Harvey GK, Richard G. Differential hemodynamics, metabolic, and electrocardiographic effects in subjects with and without angina pectoris during atrial pacing. *Circulation*, Volume XLII, October 42 : 601, 1970
- Heller GV : *The pacing stress test : A Reexamination of the relation between coronary artery disease and pacing-induced electrocardiographic change*. *Am J Cardiol* 1984 ; 54 : 50-55
- Lau SH : *Controlled heart rate by atrial pacing in angina pectoris : a determinant of electrocardiographic S-T depression*. *Circulation* 38 : 711, 1968
- Leighton RF, Zaron SJ, Robinson JL, and Weissler AM : *Effects of atrial pacing on left ventricular performance in patients with heart disease*. *Circulation*, 40, 615. 1969
- Linhart JW, Hildner EJ, Barold Ss : *left heart hemodynamics during angina pectoris induced atrial pacing*. *Circulation* 40 : 483, 1969
- Linhart, JW : *Myocardial function in coronary artery disease determined by atrial pacing*. *Circulation*, 44, 203. 1971
- Khaja F : *Assessment of ventricular function in coronary artery disease by means of atrial pacing and exercise*. *Am J Cardiol* 26 : 107, 1970
- Mann T, Brodie BR, Grossman W, McLaurin LP : *Effect of Angina on the left ventricular diastolic pressure-volume relationship*. *Circulation* Vol 55, No5, May 1977
- Mann T, Goldberg S, Mudge GH, Grossman W : *Factors contributing to altered left ventricular diastolic properties during angina pectoris*. *Circulation* 59 : 14, 1979
- McCans JL, Parker JO : *left ventricular pressure-volume relationships during myocardial ischemia in man*. *Circulation* 48 : 775, 1973
- McLaurin LP, Rolett EL, Grossman W : *Impaired left ventricular relaxation during pacing-induced ischemia*. *Am J of Cardiol*. Vol 32, November 1973
- Parker JO, Chiong MA, West RO, Case RB : *Sequential alterations in myocardial lactate metabolism, S-T segments and left ventricular function*

- during angina induced by atrial pacing. *Circulation* 40 : 113, 1969
- 19) Parker JO, Ledwich JR, West RO, and Case RB : *Reversible cardiac failure during angina pectoris. Circulation*, 39, 745. 1969
 - 20) Rios JC, Hurwitz LE : *Electrocardiographic responses to atrial pacing and multistage treadmill exercise testing. Correlation with Coronary anatomy. Am J cardiolog* 1974 ; 34 : 661-666
 - 21) Robson RH, Pridie R, Fluck DC : *Evaluation of rapid atrial pacing in diagnosis of coronary artery disease. Evaluation of atrial pacing test. British Heart J* 1976 ; 38 : 986-989
 - 22) Sasayama S, FACC, Nonogi H, Migazaki S, Sakurai T, Kawair C, Eiho S, Kuwahara M : *Changes in diastolic properties of the regional myocardium during pacing-induced ischemia in human subjects. J Am Coll Cardiol* 1985 ; 5 : 599-606
 - 23) Slutsky R. Response of the left ventricle to stress : *Effects of exercise, atrial pacing, afterload stress and drugs. Am J of Cardiol* Vol 47, February 1981
 - 24) Sowton GE, Baclon R, Cross D, Frick MH : *Measurement of the angina threshold using atrial pacing. Cardiovasc Res* 1 ; 301, 1967
 - 25) Thadani U : *Clinical hemodynamic and metabolic responses during pacing in the supine and sitting postures in patients with angina pectoris. Am J Cardiol* 44 : 249, 1979
 - 26) Wackers FJTH, Fetterman RC, Mattera JA, and Clements JP : *Quantitative planar thallium-201 stress scintigraphy : A critical evaluation of the method. Semin. Nucl. Med.* 20 : 771, 1979
 - 27) Weisfeldt ML, Scully HE, Frederiksen J, Rubenstein JJ, Pohost GM, Beierholm E, Bello AG, Daggett WM : *Hemodynamic determinants of maximum negative dp/dt and periods of diastole. Am J physiol.* 227(3) : 613-621, 1974
 - 28) Weiss JL, Frederiksen JW, Weisfeldt ML : *Hemodynamic determinants of the time-course of fall in canine Left Ventricular Pressure. The journal of clinical investigation* Volume 58 September 1976 ; 751-760