

## Treadmill 운동부하 검사 전후의 R파 높이의 변화에 관한 검토

순천향의과대학 내과학교실

안병수 · 김태준 · 나 현 · 서국원 · 김성구 · 권영주

= ABSTRACT =

### Evaluation of R Wave Amplitude Changes on Treadmill Exercise Testing

Byung Soo Ahn, M.D., Tae Joon Kim, M.D., Hyun Na, M.D.,  
Kook Won Suh, M.D., Sung Gu Kim,  
M.D. and Young Joo Kwon, M.D.

*Department of Internal Medicine, Soon Chun Hyang University, College of Medicine*

For the evaluation of exercise induced R wave amplitude changes in lead  $V_5$  ( $\Delta R$ ) and multiple leads ( $\Sigma R$ ), we studied 20 normal subjects and 21 ischemic heart disease patients with positive exercise test. All underwent submaximal, multiple leads multistage treadmill exercise testing.

14 of 20 normal subjects (70%) there were decreased R wave amplitude in multiple leads on treadmill exercise testing. 16 of 21 patients (76%) there were increased R wave amplitude on treadmill exercise testing. In normal group, R wave amplitude between rest and exercise was significantly decreased in lead  $V_5$  and multiple leads. In patients group, R wave amplitude between rest and exercise was significantly increased in lead  $V_5$  and multiple leads.

It is suggested exercise induced R wave amplitude changes probably enhance the diagnostic reliability by ST segment changes on treadmill exercise testing.

### 서 론

운동시 심전도의 R파의 높이의 변화는 여러가지 요소에<sup>1)~8)</sup> 의해 영향을 받으며, 정상인에서는 주로 좌심실의 수축기말 및 확장기말의 용량의 감소로 R파의 높

이는 감소된다고 한다<sup>1)</sup>. 이론<sup>9)~14)</sup>은 있으나 허혈성 심장병 환자에서는 운동부하시 허혈성 변화로 인한 좌심실 기능의 저하<sup>5)~15)~16)</sup>, 심실전도의 변화<sup>17)~18)</sup> 등으로 R파의 높이는 증가한다.

따라서 운동부하 검사(Treadmill Exercise Testing)에서 관동맥 질환의 양성 판정시 일반적인 기준인 ST 절

의 변화만으로는 그 예민도 및 특이도는 감소되는 경향이 있으며 ST 절의 변화와 함께 R파의 높이의 변화를 보조적으로 사용하면 양성판정의 예민도 및 특이도를 높일 수가 있다<sup>19)</sup>.

저자들은 정상 성인 20예 및 허혈성 심장병 환자 21예를 대상으로 답차 운동부하 검사를 시행하고 안정시 및 운동부하 종료시 R파의 높이를 비교 검토하여 그 성적을 보고한다.

## 재료 및 방법

1983년 9월부터 1984년 8월까지 순천향 의대 부속 병원 내과에 내원한 환자 가운데 답차 운동부하 검사를 시행하여 ST 절이 1mm 이상 하강하고 운동부하 검사 양성 판정을 받았던 허혈성 심장병 환자 21예와 정상대조군으로 순환기 계통에 이상이 없는 건강한 의과

대학생 20예를 그 대상으로 하였다. 허혈성 심장병 21예 가운데 협심증이 19예, 진구성 심근 경색증이 2예였으며 이들의 남녀 비 및 평균연령은 표 1과 같다. 정상대조군은 모두 남자였으며 평균연령은 25.2세였다.

답차 운동부하 검사 기기는 Marguette사 series 6,500 Exercise Module을 사용하였다. 운동부하 검사 방법은 정상대조군에서는 Bruce protocol<sup>20)</sup>을 사용하였으며 허혈성 심장병이 있었던 환자군에서는 Sheffield protocol<sup>21)</sup>을 사용하였다. 운동부하의 정도는 나이에 따른 최대 예상 심박수(maximal predicted heart rate)의 90%에 해당하는 submaximal predicted heart rate를 기준으로 운동부하를 시행하였고 특히 환자군에서는 ST 절 하강이 1mm 이상되고, 하강되는 모양이 downward내지 horizontal인 경우, 흉통, 호흡 곤란, 심한 고혈압, 혹은 탈진등이 있을 경우에는 예상 심박수에 도달하기 전이라도 검사를 중지하였다. 먼저 안정시의 12 leads의 심전도를 기록한 다음 단계적으로 운동부하를 하면서 V<sub>1</sub>, II 및 V<sub>5</sub>를 monitoring 하면서 매 3분마다 12 lead 심전도를 기록하고 운동후 회복기의 심전도는 9분 내지 12분까지 기록하였으며 운동부하 검사에 따른 혈압 및 맥박수의 변화도 안정시 및 운동부하 매 3분마다 측정하였다.

본 연구에서 답차 운동부하시 환자군과 정상대조군의 R파의 변화는 다음과 같이 두가지 방법으로 비교하였다.

1) V<sub>5</sub>에서 안정시 및 운동부하 종료시 R파의 높이

Table 1. Material

	No. of case	Male	Female	Age (yr.) Mean±SD
Control *	20	20	—	25± 3.1
Patient **	21	17	4	52±10.1

\* Healthy Medical Student

\*\* Angina Pectoris or Old Myocardial Infarction

Table. 2. Heart Rate and Blood Pressure in Exercise Stress Testing

		Rest	Exercise	P Value
Heart Rate (beats/min)	Control	84± 8.1	176±11.0	<0.001
	Patient	75±11.9	139±25.5	<0.001
Systolic B.P. (mmHg)	Control	122± 8.8	157±11.5	<0.001
	Patient	145±20.4	195±26.8	<0.001
Diastolic B.P (mmHg)	Control	80± 6.4	91± 9.4	<0.01
	Patient	96±11.8	106±14.2	<0.01

Values are Mean±SD

Table 3. R Wave Amplitude Change in V<sub>5</sub>(ΔR) in Exercise Stress Testing

	Increased	Decreased	Not Changed	Total
Control	1 ( 5%)	14 (70%)	5 (25%)	20 (100%)
Patient	11 (52%)	6 (29%)	4 (19%)	21 (100%)

Figures listed are number of cases with percent in parentheses.

**Table 4. R Wave Amplitude Change in  $V_5$  in Exercise Stress Testing**

	Rest(mm)	Exercise (mm)	P Value
Control (n=20)	8.61±2.49	7.4±2.61	<0.001
Patient (n=21)	17.5 ±6.85	19.1± 6.88	<0.05

Values are Mean±SD

$V_5$ 에서 안정시 및 운동 종료시 R 파의 높이의 변화는 표 3 및 표 4 와 같다. 운동 종료시 정상대조군에서는 20 예 가운데 14 예 (70%)에서 R 파의 높이는 감소하였으며 5예에서는 변화가 없었고 1 예에서는 증가하였다. 그러나 환자군에서는 21 예 가운데 11예 (52%)에서 R 파의 높이는 증가하였으며 4예에서는 변화가 없었고 6 예에서는 감소하였다. 한편 정상대조군에서는 안정시  $V_5$ 에서 R 파의 높이의 평균치는 8.61±2.49 mm였으며 운동 종료시 R 파의 높이는 7.4±2.61mm로서 유

**Table 5. Amplitude Change in  $\Sigma R^*$  in Exercise Stress Testing**

	Increased	Decreased	Not Changed	Total
Control	2 (10%)	14 (70%)	4 (20%)	20 (100%)
Patient	16 (76%)	3 (14%)	2 (10%)	21 (100%)

$\Sigma R^*$ =Algebraic Summation of R in aVL, aVF,  $V_3$  to  $V_6$  plus S in  $V_1$  to  $V_2$

Figures listed are number of cases with percent in parentheses.

**Table 6. Amplitude Change in  $\Sigma R^*$  in Exercise Stress Testing**

	Rest(mm)	Exercise(mm)	P Value
Control (n=20)	47.9± 9.37	44.8± 10.35	<0.01
Patient (n=21)	96.2± 30.66	104.1± 32.11	<0.001

Values are Mean±SD

$\Sigma R^*$ =Algebraic Summation of R in aVL, aVF,  $V_3$  to  $V_6$  plus S in  $V_1$  to  $V_2$

의하게 감소하였으며( $P<.001$ ), 환자군에서는 안정시 그 평균치는 17.5±6.85mm에서 운동 종료시는 그 평균치가 19.1±6.88mm로서 유의하게 증가하였다 ( $P<0.05$ ).

R 파 높이의 합 ( $\Sigma R$ )의 변화는 표 5 및 표 6 과 같다. 정상대조군에서는 운동 종료시 20예 가운데 14예 (70%)가  $\Sigma R$ 의 감소를 보였으며 4예에서는 변화가 없었고 2예에서는 증가하였다. 환자군에서 21예 가운데 16예 (76%)가 증가하였고 2예에서는 변화가 없었으며 3예에서는 감소하였다. 한편, 정상대조군에서 안정시  $\Sigma R$ 의 평균치는 47.9±9.37mm였으며 운동 종료시 평균치인 44.8±10.35mm에 비해 유의하게 감소하였다 ( $P<.001$ ). 환자군에서는 안정시  $\Sigma R$ 의 평균치는 96.2±30.66mm였으며 운동 종료시에는 그 평균치가 104.1±32.11 mm로서 유의하게 증가하였다 ( $P<0.001$ ).

의 변화 ( $\Delta R$ )

2) R 파의 높이의 합 ( $\Sigma R$ )의 변화 즉 aVL, aVF,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  및  $V_6$ 의 R 파의 높이에 합과  $V_1$  및  $V_2$ 에서의 S파의 깊이의 합을 합산한 R 파의 안정시및 운동부하 종료시의 변화.

## 성 적

정상대조군과 환자군에서 안정시 및 운동부하 종료시의 맥박수, 수축기 및 확장기 혈압의 변화는 표 2 와 같다. 정상대조군 및 환자군에서 운동전 안정시의 맥박수 및 수축기 혈압은 뚜렷히 증가하였으며( $P<0.001$ ), 확장기 혈압도 각각 10 mmHg 증가하였다 ( $P<0.001$ ).

## 고 찰

허혈성 심장질환에서 운동부하 검사의 양성판정의 일반적인 기준은 운동중 혹은 운동후 ST 절의 하강정도, 모양 및 그 지속시간 등으로 판정하나 판정 기준과 방법의 차이에 의해 그 성적은 보고자마다 차이가 있으며 Goldschlager 등<sup>22)</sup>은 그 예민도는 64%, 특이도는 93%, Froelicher 등<sup>23)</sup>은 예민도 60%, 특이도 90%였다. Cohn 등<sup>24)</sup>은 84%에서 운동부하 검사시 양성판정을 보고하였다. 운동부하 검사에서 종래 사용하고 있던 ST 절의 변화에다 R 파의 변화를 함께 볼 경우 검사의

에민도 및 특이도를 높일 수 있으며<sup>19)</sup> 특히 좌각 블록 (left bundle branch block) 으로 인해 이미 ST절 및 T 파의 변화가 있을 때 허혈성 질환의 환자에서 운동부하 검사시 R 파의 변화의 관찰은 양성판정시 유용하다<sup>25)</sup>.

정상인에서 운동부하시 R 파 및 T 파는 감소되고<sup>1)</sup>, P 파는 증가된다<sup>26)</sup>고 하며 이러한 심전도의 변화는 운동의 각 단계마다 점진적으로 생긴다<sup>27,28)</sup>. 운동시 심전도상 R 파의 변화가 오는 기전으로 좌심실내의 혈액 용적이 증가하면 방사성으로 전달되는 전기적 힘의 영향으로 R 파의 높이가 증가되고 반대로 혈액 용적이 감소하면 R 파 높이가 감소한다<sup>1)~4)</sup>. 또한 좌심실 내경과 R 파 높이의 변화에는 직접적인 상관관계가 있다고는 하나<sup>29,30)</sup> Ishikawa 등<sup>31)</sup>, Lekven 등<sup>32)</sup>, Talbot 등<sup>33)</sup>은 상관관계가 없음을 보고하였다. 운동시 심장의 해부학적 또는 전기적 위치의 변화도 심전도상 변화를 초래할 수 있으며<sup>6)~8)</sup>, Simonson 등<sup>7)</sup>은  $V_5$ 에서 S 파 깊이의 증가와 axis 의 변화가 R 파의 감소와 관계있다고 하였다. 또한 Monaoch 등<sup>5)</sup>은 심근 수축력의 증감도가 R 파의 높이에 변화를 줄 수 있다고 하였다. 정상인에서는 운동부하시 빈맥과 교감 신경 기능의 증가로 인한 좌심실의 용적이 감소되어 R 파의 높이가 감소한다<sup>34)</sup>.

관동맥 질환이 없는 예에서 운동부하시 R 파의 높이가 감소되는 빈도는 Bonoris 등<sup>36)</sup>은 45명중 41예(91%)에서 R 파의 감소하였고 Berman 등<sup>35)</sup>은  $V_5$ 에서 38예 가운데 22예(58%), R 파의 합은 39예 가운데 24예(62%)였으며, Gregory 등<sup>25)</sup>은 좌각 블록이 있었던 37예 가운데 15예에서 운동시 R 파는 감소하였다고 하였다. 저자들의 성적에서는 20예 가운데 14예(70%)가 감소하였다. 정상인에서 운동부하후 R 파 높이의 감소 정도는 Wagner 등<sup>37)</sup>은  $V_5$ 에서 운동부하후  $1.1 \pm 2.8mm$ 로 유의하게 감소하였고, Bonoris 등<sup>36)</sup>은  $3.4 \pm 0.3mm$ , Gregory 등<sup>25)</sup>은  $2.45 \pm 0.5mm$ 로 감소하였으며 David 등<sup>38)</sup>은 rapid atrial pacing 후 R 파의 높이는 18%정도 유의하게 감소하였다고 하였다. 저자들의 성적은  $V_5$ 에서 안정시  $8.61 \pm 2.49mm$ 에서 운동부하후  $7.4 \pm 2.61mm$ 로 감소하였고 R 파의 합에서도 유의하게 감소하였다.

실험적으로 심근에 허혈성 변화를 일으켰을시 심전도의 R 파의 높이는 증가하며<sup>39,40)</sup> 운동부하시 관동맥 질환이 있는 환자에서 운동시 좌심실 수축력의 감소로 인한 좌심실 용량의 증가<sup>5)15)16)</sup>와 허혈성 변화로 인한 삼실내 전도 장애<sup>17)18)</sup> 등이 그 중요한 역할을 한다.

허혈성 심장질환이 있는 환자에서 운동부하시 R파의 높이가 증가하는 빈도는 Bonoris 등<sup>36)</sup>은 44예 가운데 29

예(59%)에서 Berman 등<sup>35)</sup>은  $V_5$  및  $\Sigma R$ 에서 각각 98%로, Gregory 등<sup>25)</sup>은 전예에서 R 파가 증가하였다고 하였다. 저자들의 성적에서도  $V_5$ 에서는 52%,  $\Sigma R$ 에서는 76%에서 R 파가 증가하였다. R 파가 증가하는 정도는 Wagner 등<sup>37)</sup>은  $8.4 \pm 0.6mm$ 로 유의하게 증가하였고 Gregory 등<sup>25)</sup>은 평균  $3.1 \pm 0.9mm$ 로 증가하였으며, David 등<sup>38)</sup>은 R 파의 13% 정도로 유의하게 증가하였다고 한다. 저자들의 성적에서도  $V_5$  및  $\Sigma R$ 에서 각각 평균  $1.6 \pm 0.03mm$ ,  $7.9 \pm 1.45mm$ 로 증가하였다. Berman 등<sup>35)</sup>은 하나의 유도 전극에서 R 파의 변화( $\Delta R$ )을 관찰하는 것보다 여러 유도 전극에서의 R 파의 변화의 합( $\Sigma R$ )을 관찰하는 것이 더 유용하다 하였다. 저자들의 경우에서도  $\Sigma R$ 은  $\Delta R$ 보다 더 많은 예에서 운동부하후 R 파가 증가하는 경향을 보였다.

## 요 약

운동부하 검사시 심전도상 R 파의 높이의 변화를 관찰하기 위하여 정상 성인 20예 및 허혈성 심장병 환자 21예를 대상으로 답하 운동부하 검사를 시행하고, 안정시 및 운동부하 종료시 심전도의  $V_5$ 에서 R 파의 높이의 변화 및 여러 유도에서 취한 R 파의 합( $\Sigma R$ )의 변화를 검토하였으며 그 성적은 다음과 같다.

1) 정상대조군에서는 운동부하 종료시 R 파의 높이가 20예 가운데 14예(70%)에서 감소하였고  $\Sigma R$ 도 같은 예에서 감소하였다.  $V_5$ 에서 R 파의 평균치는 안정시  $8.61 \pm 2.49mm$ 에서 운동부하 종료시  $7.4 \pm 2.61mm$ 로 유의하게 감소하였고,  $\Sigma R$ 의 평균치도 안정시  $47.9 \pm 9.37mm$ 에서 운동부하 종료시  $44.8 \pm 10.35mm$ 로 유의하게 감소하였다.

2) 환자군에서는  $V_5$ 에서 R 파는 운동부하 종료시 21예 가운데 11예(52%)에서 증가하였고,  $\Sigma R$ 은 21예 가운데 16예(76%)에서 증가하였다.  $V_5$ 에서 R파의 평균치는 안정시  $17.5 \pm 6.85mm$ 에서 운동부하 종료시  $19.1 \pm 6.88mm$ 로 유의하게 증가하였고  $\Sigma R$ 의 평균치도 안정시  $96.2 \pm 30.66mm$ 에서 운동부하 종료시  $104.1 \pm 32.11mm$ 로 유의하게 증가하였다.

## REFERENCES

- 1) Brody DA : A theoretical analysis of intracavitary blood mass influence on the heart-lead relationship. *Circ Res* 4: 731, 1956
- 2) McFee R, Ruch S : Qualitative effects of thoracic

- resistivity variations on the interpretation of electrocardiograms: The Brody effect. Am Heart J* 74: 642, 1967
- 3) Millard RW, Hodgkin BC, Nelson CV : *End - diastolic volume changes reflected in the electrocardiogram (abstr). Circulation* 49, 50: Suppl III: III-192, 1974
- 4) Nelson CV, Rand PW, Angelakos ET, Hugenholtz PG : *Effect of intracardiac blood of the spatial vectorcardiogram. 1. Results in the dog. Circ Res* 31: 95, 1972
- 5) Monaoch M, Grossman E, Varon D, Gitters D, Gitters S : *QRS amplitude changes during heart filling and digitalization. Am Heart J* 83: 292, 1972
- 6) Simonson ML, Hugenholtz PG : *Gradual changes of ECG waveform during and after exercise in normal Subjects. Circulation* 52:570, 1975
- 7) Simoonson E, Keys A : *The electrocardiographic exercise test: change in the scalar ECG and in the mean spatial QRS and T vectors in types of exercise; effect of absolute and relative body weight and comment on normal standards. Am Heart J* 52: 83, 1956
- 8) Riekkimin H, Rautaharju P : *Body position, electrode level and respiration effects on the Frank lead electrocardiogram. Circulation* 53: 40, 1976
- 9) Yannikas J, Marcomichelokis J, Tappurt P, Kelly BH, Emanuel R : *Analysis of exercise induced change in R wave amplitude in asymptomatic men with electrocardiographic ST-T changes at rest. Am J Cardiol* 47: 238, 1981
- 10) Wagner S, Cohn K, Selzer A : *Unreliability of exercise-induced R wave changes as index of coronary artery disease. Am J Cardiol* 44:1241, 1979
- 11) Gillespie JA, Bodenheimer MM, Fouche CM, Banka VS, Helfant RH : *Limitation in the use of changes in R wave amplitude in stress-test electrocardiogram to improve detection of coronary heart disease. Circulation* 58(suppl II) : II-199, 1978 (abstr)
- 12) deCaprio L, Cuomo S, Bellotti P, Adamo B, Postigions M, Vigorito C, Rengo F : *R wave amplitude changes during stress testing comparison with ST-segment depression and angiographic correlation. Am Heart J* 99: 413, 1980
- 13) Rowe DH, Autry A, DeCastro CM, Garcia E, Hall RJ : *The value of electrocardiographic R wave changes in exercise testing. Pre-exercise versus post-exercise measurements. Cardiovasc Dis* 8: 333, 1981
- 14) Fox K, England D, Jonathan A, Sewyn A : *Inability of exercise-induced R wave changes to predict coronary disease. Am J Cardiol* 49:674, 1982
- 15) McCans JF, Parker JO : *Left ventricular pressure-volume relationships during myocardial ischemia in dogs. Am J Physiol* 215:1032, 1968
- 16) Mann T, Brodic BR, Grossman W, McLaurin LP : *Effect of angina on the left ventricular diastolic pressure-volume relationship. Circulation* 55: 761, 1977
- 17) David D, Natio M, Chen C, Morganroth J, Schaffenburg M : *R-wave amplitude variations during acute myocardial ischemia: An inadequate index for changes in intracardiac volume. Circulation* 63:1364, 1981
- 18) David D, Natio M, Michelson E, Watanabe Y, Chen CC, Morganroth J, Schaffenburg M, Blenko T : *Intracardiac conduction: A major determination of R-wave amplitude during acute myocardial ischemia. Circulation* 65: 161, 1981
- 19) Bonoris, P.E. : *Evaluation of R-wave amplitude changes versus ST-segment depression in stress testing. Circulation* 57:904, 1978
- 20) Bruce RA and Hornsten TR : *Exercise stress testing in evaluation of patients with ischemic heart disease. Prog Cardiovasc Dis* 11:371, 1969
- 21) Sheffield LT : *Graded exercise testing (GXT) for ischemic heart disease. A submaximal test to a target heart rate. In Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals: A Handbook for Physicians. American Heart Association committee on Exercise* 33, 1972
- 22) N. Goldschlager A Selzer K Cohn : *Treadmill Stress Tests as Indicators of Presence and Severity of Coronary Artery Disease. Ann Int Med* 85:277, 1976

- 23) Froelicher VF : *The detection of asymptomatic coronary heart disease.* Ann Int Med 28:1, 1977
- 24) PF Cohn PS Vokonas, MV Herman, R Gorlin: *Postexercise Electrocardiograms.* Circulation 18: 648, 1971
- 25) Gregory S Uhl Andrew C Hopkirk: *Analysis of Exercise-Induced R wave Amplitude Changes in Detection of Coronary Artery Disease in Asymptomatic Men with Left Bundle Branch Block.* Am J Cardiol 44: 1247, 1979
- 26) Irisawa H, Seyama I: *The configuration of the P wave during mild exercise.* Am Heart J Cardiol 71:467, 1966
- 27) Blomqvist CG : *The Frank lead exercise electrocardiogram: quantitative study based on averaging technic and digital computer analysis.* Acta Med Scand 178 (suppl 440) 1965
- 28) Bruce RA, Mazzarella JA, Jordan JW, Green E: *Quantitation of QRS and ST segment responses to exercise.* Am Heart J 71: 455, 1966
- 29) McFee R, Rush S: *Qualitative effects of thoracic resistivity variations on the interpretation of electrocardiogram: The Brody effect.* Am Heart J 74: 642, 1967
- 30) Voukydis PC, Angelakos ET, Nelson CV : *Electrical effects of a highly conductive mass inside the thorax.* Am Heart J 85:382, 1973
- 31) Ishikawa K, Berson AS, Pipberger HV : *Electrocardiographic changes due to cardiac enlargement.* Am Heart J 81:635, 1971
- 32) Lekven J, Chatterjee K, Tyberg JV, Parmley WW : *Reduction in ventricular endocardial and epicardial potentials during acute increments in left ventricular dimensions.* Am Heart J 98:200, 1979
- 33) Talbot S, Kirkpatrick D, Jonathan A, Raphael MJ : *QRS voltage of the electrocardiogram and Frank vectorcardiogram in relation to ventricular volume.* Br Heart J 39: 1109, 1977
- 34) Sonnenblick EH, Braunwald E, Williams JF, et al : *Effects of exercise on myocardial force-velocity relations in intact unanesthetized man: relative roles of changes in heart rate, symptomatic activity, and ventricular dimensions.* J Clin Invest 44: 2051, 1965
- 35) JL Berman, J Wynne, PF Cohn : *Multiple-lead QRS Changes with Exercise Testing: Diagnostic Value and Hemodynamic Implications.* Circulation 61:53, 1980
- 36) PE Bonoris, PS Greenberg, MJ Castellanet, MH Ellestad : *Significance of Changes in R wave Amplitude During Treadmill Stress Testing: Angiographic Correlation.* Am J Cardio 41: 846, 1978
- 37) S Wagner, FK Cohn, FA Selzer : *Unreliability of Exercise-Induced R wave Changes as Indexes of Coronary Artery Disease.* AM J Cardio 44: 124, 1979
- 38) D Danial JG Kitchen, EL Michelson, M Natio HS Sawin, CC Vhen : *R-Wave amplitude responses to rapid atrial pacing: A marker for Myocardial ischemia.* Am Heart J 107:53, 1984
- 39) Holland RP, Brooks H : *The QRS complex during myocardial ischemia. An experimental analysis in the porcine heart.* J Clin Invest 57: 541, 1976
- 40) Hamlin RL, Pipers FS, Hellerstein HK, Smith CR : *QRS alterations immediately following production of left ventricular free wall ischemia in dogs.* Am J Physiol 215: 1032, 1968