

운동부하 및 각종 신체조건이 혈압 및 ECG 에 미치는 영향

—제 2 보—

(각종 Stress 에 의한 심전도 변화)

계명대학교 의과대학 생리학교실

박 원 균 · 채 의 업

= Abstract =

Effect of Exercise and Physical Stresses on the Electrocardiogram

Won Kyun Park and E Up Chae

Department of Physiology, Keimyung University School of Medicine, Taegu, Korea

We studied this experiment to compare the effects of exercise and other body conditions: i.e., Flack test, cold pressor test and bicycle ergometry on the electrocardiogram. We had sixty healthy college students who were thirty nine men and twenty one women. Their mean±SD values of physical characteristics were as follows: age; 22.0±1.4, weight; men 61.7±5.06 kg, women 46.2±7.47 kg. We observed the changes of P-Q and Q-T interval, R and T amplitude, mean QRS vector, S-T segment deviation, and P and T vector.

The result obtained were summarized as follows:

P vector was shifted rightward regardless of the type of stress. T vector was shifted variably in each stress but in the bicycle ergometry T vector was shifted leftward.

Mean QRS vector was shifted rightward immediately after the bicycle ergometry.

Percentage of the occurrence of the depression of S-T segment was 21.7% at the immediately after the submaximal bicycle ergometry in lead II. The elevation of S-T segment was often observed after the mild stresses.

Increased amplitude of T wave in the cold pressor test and decreased amplitude of T wave in the bicycle ergometry were observed.

In the bicycle ergometry and other stresses, the precise mechanism of S-T segment changes was unexplained but insufficient repolarization in base or apex of the left ventricle due to heart strain was indicated by so called S-T vector analysis.

서 론

운동부하 및 각종 신체조건에 따라 순환계의 상태는 변하게 되고 생체는 자율적 조절작용에 의하여 이 변화에 적응하게 된다. 자율적 조절작용에 있어 교감신경과 부교감신경이 주된 역할을 한다는 것은 이미 알려진 사실이다. 본 교실에서는 운동부하 및 각종 신체조건이 혈압 및 심전도에 미치는 영향에 대해 제 1 보¹⁾

에서 보고한 바 있다. 제 1 보의 심전도 소견에서 각종 stress에 의한 분시 심박수의 증가 및 감소와 P-Q, Q-T 간격의 단축 및 연장이 stress의 정도와 밀접한 관계가 있음을 보았고 평균 QRS vector의 운동부하 시 우측 편위를 보고하였다. S-T 절은 중등도 내지 약한 stress에서는 상승하는 경향을, 아최대 자전거 주행운동(submaximal bicycle ergometry)에서는 하강하는 경향을 관찰하였고, 아최대 운동시 S-T 절의 하강은 좌심실 기저부의 일시적인 국소빈혈에 의한다고

보고하였다. Jones²⁾는 정상인에 있어서도 운동부하시 S-T 절의 하강은 나타난다고 하였고, Lepeschkin³⁾은 이러한 S-T 절 하강은 심방재분극파인 Ta 파가 S-T 절의 시작부위에 영향을 주어 J점이 하강하기 때문일 것이라고 보고하였다. 그러나 Simoons⁴⁾은 S-T 절의 변화는 QRS complex의 끝에서부터 T파의 시작까지 연속적인 변화이므로 Ta 파가 S-T 절의 변화에 미치는 영향은 일부분이라고 보고한 바 있다. 또 운동부하시에는 P파고의 증가, 평균 QRS vector의 우측편의, T파고의 감소를 관찰한 보고^{4),5)}가 있다.

이처럼 운동부하시의 심전도 소견에 대한 많은 보고가 있으나 S-T 절 변화의 자세한 기전에 대한 보고는 적으며, 운동부하 이외의 stress에서의 위와같은 심전도 소견에 대한 보고도 그리 많지 않다. 저자는 제 1보¹⁾의 실험중 Flack test, cold pressor test, bicycle ergometry에서의 심전도 소견을 더 깊이 분석, 보완하였고 특히 S-T 절의 변화, P vector, T vector의 소견에서 흥미로운 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

실험재료 및 방법

실험대상으로는 건강한 남녀 대학생 60명(남자 39명, 여자 21명)을 선택하였다. 이들은 평균 연령이 22.0±1.4(S.D.)세, 신장은 남자 173.5±4.5 cm, 여자 160.2±2.9 cm, 체중은 남자 61.7±5.0 kg, 여자 46.2±7.4 kg이었다.

실험방법은 Flack test에서는 30초간 40mmHg의

흉강내압 조성, cold pressor test에서는 3분간 4~5°C의 빙수로 우측손 국소 한냉자극을, 그리고 bicycle ergometry에서는 2분간 30 MPH로 제자리 자전거 주행운동^{6~8)}을 하여 최대 운동⁶⁾(submaximal exercise)을 부하하였다. 측정은 수은주 혈압계로 수축기, 확장기 혈압을 그리고 심전도는 Fukuda Denshi, FJC-7100 심전도계를 사용하여 표준지 유도과 증대지 유도를 기록하였다. 측정은 실험후 즉시, 3분, 5분에서 실시하였고 cold pressor test에서는 자극중 1, 2분에서도 실시하였다. 좌위 상태에서 충분한 휴식을 취한 상태에서의 기록을 대조군으로 삼았다.

실험방법에 대한 자세한 내용은 제 1보와 같다.

결 과

Flack test와 cold pressor test에서 관찰한 심전도 소견을 보면 R 및 T파의 파고와 P-Q, Q-T 간격 및 평균 QRS vector의 소견은 안정대조치에 비하여 유의한 변화는 없었으나 제 1보에서 보고한 것과 같이 R, T파의 파고가 증가하는 경향을 보였다.

Bicycle ergometry에서는 실험 직후 P-Q, Q-T 간격이 0.16±0.003 sec, 0.36±0.004 sec에서 0.14±0.003 sec, 0.29±0.005 sec로 매우 유의한 감소(p<0.01)를 보였으며 그후 회복되는 경향을 보였다. R파의 파고는 실험 직후 12.11±0.42 mm에서 10.32±0.47 mm로 역시 유의한 감소(p<0.05)를 보이며 그후 회복되는 경향을 보이거나 T파의 파고는 감소하는 경향을 보

Table 1. Changes of S-T segment(≥1 mm) in Flack test, cold pressor test and bicycle ergometry
n=58

	Control	Flack test			Cold pressor test					Bicycle ergometry			
		0	3	5	during		after exposure			0	3	5 min	
Lead I	+ —	8.6 —	3.4 —	5.1 —	3.4 —	— —	— —	10.3 —	6.9 —	5.1 —	1.7 —	1.7 —	— —
Lead II	+ —	12 —	13.8 —	15.5 —	10.3 —	20.0 —	22.4 —	27.6 —	18.9 —	15.5 —	— 10.3	— 5.1	1.7 —
Lead III	+ —	3.4 —	— —	— 1.7	— —	— —	— —	1.7 1.7	1.7 —	1.7 —	— 1.7	— 1.7	— 1.7
aVR	+ —	— 6.9	— 8.6	— 8.6	— 6.9	— —	— —	— 13.8	— 12.1	— 8.6	3.4 1.7	1.7 —	1.7 1.7
aVL	+ —	— —	3.4 —	1.7 —	1.7 —	— —	— —	1.7 —	1.7 —	1.7 —	1.7 —	1.7 —	— —
aVF	+ —	5.1 —	5.1 —	3.4 —	5.1 —	— —	— —	8.6 —	5.1 —	5.1 —	— 3.4	— 1.7	— 1.7

Note: Values mean frequencies of the occurrence per cent of the subjects. Plus signs mean elevation and minus signs mean depression of S-T segment.

Table 2. Net changes of S-T segment(≥ 1 mm) from control position in Flack test, cold pressor test and bicycle ergometry
n=58

		Flack test			Cold pressor test					Bicycle ergometry		
		0	3	5	during	2	after exposure			0	3	5 min
					1		0	3	5			
Lead I	+	—	—	—	—	—	3.4	1.7	1.7	—	—	—
	-	—	—	—	—	—	1.7	—	1.7	3.4	1.7	5.1
Lead II	+	3.4	5.1	5.1	3.4	6.9	8.6	6.9	5.1	—	—	—
	-	1.7	3.4	3.4	3.4	3.4	1.7	3.4	5.1	21.7	13.8	10.3
Lead III	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	1.7	1.7	3.4	—	—	3.4	3.4	1.7	3.4	5.1	5.1
aVR	+	—	—	—	—	—	—	—	—	5.1	3.4	3.4
	-	1.7	—	—	—	—	1.7	1.7	—	—	—	—
aVL	+	1.7	1.7	—	—	—	—	—	—	—	1.7	—
	-	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.7
aVF	+	1.7	—	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	1.7	1.7	—	—	—	—	—	—	12.1	8.6	6.9

Note: Values mean frequencies of the occurrence per cent of the subjects. Plus signs mean elevation and minus signs mean depression of S-T segment.

Table 3. Changes of S-T segment(≥ 1 mm, 0.08 sec) in Flack test, cold pressor test and bicycle ergometry
n=58

		Control	Flack test			Cold pressor test					Bicycle ergometry		
			0	3	5	during	2	after exposure			0	3	5min
						1		0	3	5			
Lead I	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lead II	+	—	1.8	1.8	1.8	—	1.8	1.8	—	—	—	—	—
	-	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lead III	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	—	—	—	—	—	—	1.8	1.8	—	—	—	—
aVR	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	—	—	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
aVL	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
aVF	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	-	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Note: Values mean frequencies of the occurrence per cent of the subjects. Plus signs mean elevation and minus signs mean depression of S-T segment.

Table 4. T and P vectors(T,P) in Flack test, cold pressor test and bicycle ergometry
unit: degree

		Control	Flack test		Cold pressor test		Bicycle ergometry	
			0	5	0	5	0	5 min
T	M	41.9	44.6	42.2	42.0	41.2	39.5	34.1*
	(n=58) \pm SE	2.20	1.86	1.68	2.01	2.02	2.23	2.73
P	M	37.3	48.3	51.7	54.2	66.3*	69.5*	74
	\pm SE	11.79	21.82	15.02	10.83	2.63	2.92	10.00
	n	10	6	9	12	8	9	2

*Significance, $p < 0.05$

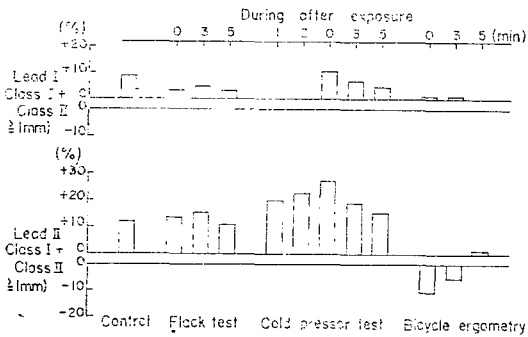


Fig. 1-A.

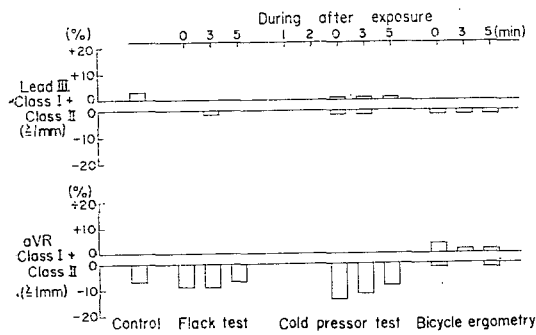


Fig. 1-B.

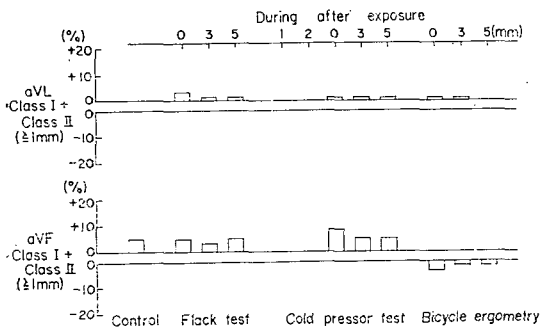


Fig. 1-C.

Fig. 1-A,B,C. Frequencies of the occurrence of more than 1 mm elevation or depression of S-T segment per cent of the subjects. Plus signs mean elevation and minus signs mean depression of S-T segment.

이다가 실험후 5분에서 2.51 ± 0.13 mm로 유의한 감소 ($p < 0.05$)를 나타내었다. 평균 QRS vector는 실험 직후 대조군에 비해 10.6도의 우측편의를 보였다가 그 후 회복되는 경향을 보였다.

S-T 절의 변화는 제 I 보와는 달리 P-Q 절을 기준으로 하여 그 변화도를 보았으며 표 1과 같다. Lead II와 aVF에서 대조군, Flack test, cold pressor test에서는 S-T 절의 상승의 경향을, bicycle ergometry에서는 하강의 경향을 보였으며 aVR에서는 그 반대의 경향을 보였다(그림 1). 이소견은 제 I 보의 성격과 유사하였다. 대조군의 S-T 절에 대한 각 stress시 S-T 절의 정변화(net change)를 보면 표 2와 같으며 여기서는 Flack test와 cold pressor test에서 Lead II와 aVF의 S-T 절 상승빈도는 훨씬 줄어들고 하강빈도가 약간 나타났다. bicycle ergometry에서는 S-T 절의 하강빈도가 많이 증가하여 실험 직후 Lead II에서 표 1의 10.3%에서 21.7%로 증가함을 보였다. 또한 S-T 절 변화에 대한 더욱 엄격한 기준으로 1 mm, 0.08 sec 이상의 S-T 절 변화^{2,6,9)}를 보면 표 3과 같다. Flack test나 cold pressor test에서는 Lead II에서 미미한 상승도를 보이거나 bicycle ergometry에서는 S-T 절의 변화가 전혀 나타나지 않았다.

P파와 T파의 vector(표 4)를 보면 P vector는 stress의 종류에 관계없이 우측으로 편의를 보였다 실험 직후에는 stress의 정도에 따른 편의도의 증가를 보이거나 회복기에는 더 편의를 보였다. T vector는 일정한 편의를 방향을 보이지 못하였고 특히 bicycle ergometry에서는 회복기 시간에 따라 더 큰 편의를 보여주어 5분에서는 유의한 좌측편의($p < 0.05$)를 보였다. 또한 S-T 절 변화의 경향을 S-T vector를 그려 보면 표 5와 같다. S-T vector를 그리는 방법에는 여러 보고^{10~12)}가 있으나 본 실험에서는 Guyton¹³⁾에 의한 방법을 사용하였다. 중등도 stress에서는 S-T vector가 우측 상방을 향하고 대조군에 비해 대체로 유의한 변화를 보이지 않았으나 아최대 운동에서는 반대로 S-T vector가 좌측 하방을 향하였다. 또 S-T 절 변화에 대한 Ta파의 영향을 보기 위하여 Ta vector를 P vector의 반대방향으로 가정³⁾하여 S-T vector와 비교하여 보았다. 중등도의 stress 시에는 S-T vector와 Ta vector가 같은 방향이며 cold pressor test후 5분을 제외하고는 유의한 변화가 없었으나 아최대 운동시에는 S-T vector가 Ta vector에 대해 반대방향을 향함을 보였다(그림 2).

Table 5. Ta and S-T vectors(Ta,ST) in Flack test, cold pressor test and bicycle ergometry

unit: degree

	Control	Flack test		Cold pressor test		Bicycle ergometry		
		0	5	0	5	0	5 min	
n	10	6	9	12	8	9	2	
Ta	M±SE	-142.7 11.79	-131.7 21.82	-128.3 15.02	-125.8 10.83	-113.7 2.63	-113 2.92	-106 10.00
ST	M±SE	-133.5 9.86	-130 5.00	-118.3 4.64	-135 6.12	-132* 6.98	73.3 11.02	157.5 67.50

*Significance of ST vs. Ta, $p < 0.05$

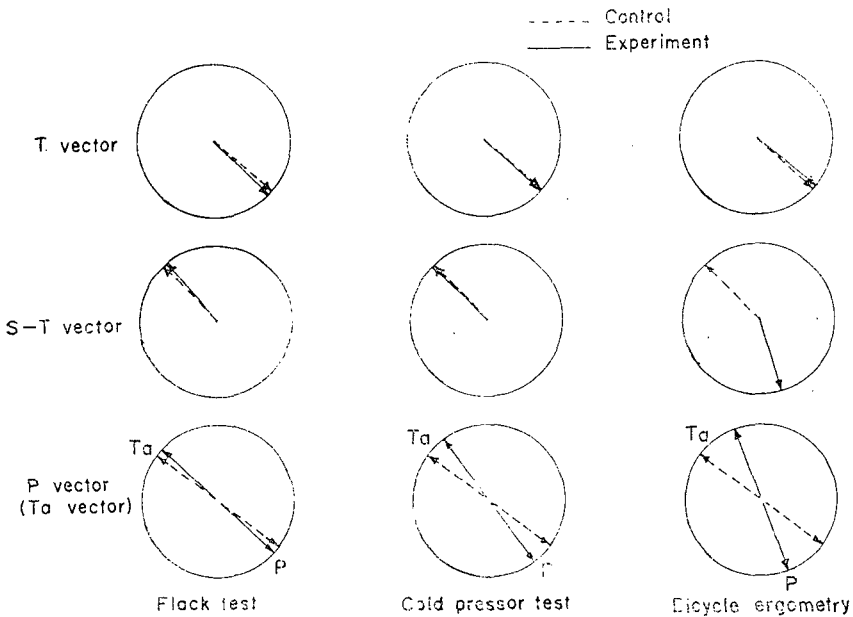


Fig. 2. Changes of T, S-T, and P vector immediately after stress.

고찰

운동부하 및 각종 stress가 심전도의 P-Q, Q-T 간격에 미치는 영향을 제 1보¹⁾에서 고찰하였다. 또 운동시에는 P파고각 증가¹⁴⁾하고 T파고각 감소^{2,4)}한다고 한다. Rautaharju⁵⁾나 Simoons⁴⁾의 보고에 의하면 P, T vector는 운동시 변화하지 않는다고 한다. 그러나 본 실험에서는 stress의 종류에 관계없이 P vector는 우측으로 편위하는 경향을 보여주고 T vector는 일정한 편위경향은 보이지 않으나 bicycle ergometry에서는 평균 QRS vector나 P vector와는 달리 좌측으로 편위함을 보였고 특히 회복기 시간에 따라 더욱 좌측편

위를 보이는 것은 특이하며 Simoons⁴⁾등의 보고와는 일치하지 않았다. T vector의 편위도가 대조군에 비해 유의한 정도는 아니었으므로 이와같은 T vector의 변화는 T파고 측정에는 유의한 영향을 주지 못할 것으로 보인다. 따라서 cold pressor test시 T파고 증가경향과 bicycle ergometry시의 T파고 감소의 경향은 의의가 있다고 하겠다.

평균 QRS vector는 운동시 우측으로 편위한다는 보고^{2,4)}가 있다. Simoons⁴⁾의 보고에 의하면 운동시 최대 QRS vector는 변하지 않으며 시작과 종말 vector의 우측 상방편위가 나타난다고 하며 P, T vector도 변화하지 않기 때문에 운동시 평균 QRS vector의 우측편위는 심장의 위치의 변화에 의한 것으로는 보기 어렵

Table 6. Data obtained by various authors concerning S-T segment deviation in exercise test

Authors	Subjects (age, sex and number)	Exercise	S-T criteria	% occurrence	Remark
Mason (1967)	20~60 yrs ♂우, 107	ergometer, submaximal to maximal	1 mm, 0.08 sec. except H,U	3.7	all are men over 40 yrs.
Cumming (1973)	20~83 yrs 우, 367	treadmill, submaximal to maximal	1 mm, H,U 0.6 mm, D 1 mm, 0.08 sec. H,D	25~52 10~25	
Erikssen (1976)	40~59 yrs ♂, 2,014	ergometer, maximal	1 mm, 0.08 sec H,D,U except U	4.4 1.3	normal angio- gram: 1/3
Goldschlager (1976)	20~70 yrs ♂우, 141	treadmill, submaximal	1 mm, 0.08 sec. H,D,U except U	18 7	
Bonoris (1979)	25~75 yrs ♂우, 81	treadmill, maximal	1 mm, 0.08 sec. H,D 1.5 mm, 0.08 sec. U	41	
Ro (1980)	20~70 yrs ♂, 121	ergometer, maximal	1 mm, 0.08 sec.	10.7	20 yrs: 0.8%
Author (1982)	21~25 yrs ♂우, 58	ergometer, submaximal	1 mm, H,D,U 1 mm, 0.08 sec. H,D	10.3 21.7 0	Lead II net change

H: horizontal

D: downsloping

U: upsloping

다고 하였다. 그러나 본 실험은 P, T vector가 편경(偏傾)향을 보여줌으로써 운동시 평균 QRS vector의 우측 편되는 운동시 좌심실의 전위(electrical potential)는 감소되고 상대적으로 우심실의 전위의 증가에 의한 영향^{4,15)}과 운동으로 인한 폐순환의 부담이 커짐으로써 우측 심실의 확장에 의한 심장위치의 영향¹⁾도 함께 작용하리라 사료된다. S-T 절의 stress시 상승의 경향은 정상인에서도 나타난다¹⁶⁾고 하며 본 실험에서는 표 1에서와 같이 대조군에서 Lead II의 12%에서 S-T 절 상승이 나타났고 표 2의 정변화를 볼 때 중등도의 stress부하시 S-T 절의 상승빈도가 하강빈도에 비해 오히려 미미한 증가를 보이고 있으나 S-T 절의 상승이 심근경색(myocardial infarction), 심실 동맥류(ventricular aneurysm)에 의한 것이라는 보고¹⁷⁾와 본 실험의 결과를 연관지을 수는 없다고 본다. 아최대 운동의 bicycle ergometry시 S-T 절 하강에 대한 보고는 많으며 정상인을 대상으로 하여 최대 내지 아최대 운동시 S-T 절의 하강빈도는 보고자^{18~23)}에 따라 차이가 있으며 표 6에서 보는 바와 같다. 본 실험의 결과도 이에 일치함을 보이며 특히 표 3의 엄격한 S-T 기준에 의한 S-T 절 하강이 전혀 나타나지 않았음은 본 실험대상의 연령이 20대인 것을 감안할 때 Ro²³⁾의 20대에서 0.8%에서 S-T 절 하강이 나타난다는 보고와 잘 일치한다고 하겠으며 연령이 증가함에 따라 출현율이 증가하리라 사료된다²⁴⁾. 이와같이 아최대 운동시 S-T 절의 하강 경향은 병적인 심근 빈혈에 의한 것이 아니라 정상인

에 있어서 운동에 의한 일시적인 국소 심근 빈혈¹⁾내지 심근의 strain(긴장 가중)에 의한 것으로 사료된다. 이러한 stress시의 S-T 절 변화에 대한 자세한 기전은 불분명하나 그림 2의 S-T vector를 볼 때 중등도 stress시의 S-T 절 상승은 좌심실의 첨부, 아최대 운동시의 S-T 절 하강은 좌심실의 기저부의 일시적인 재분극의 불충분으로 인한 것으로 사료된다. 그러나 stress의 정도에 따라 심근의 strain 부위가 변화하는 이유는 알 수 없었다. 또한 운동시 초기 S-T 절의 하강이 J point의 하강에 의하며 이는 운동에 의한 심박수의 증가와 P 파고의 증가에 따른 심방의 재분극과 즉 하향성인 Ta 파의 영향이라는 보고²⁵⁾가 있으며 본 실험에서도 bicycle ergometry시 Ta vector와 S-T vector가 상반되는 방향을 보임으로써 J point에 대한 Ta 파의 영향의 가능성을 볼 수 있었다. 또한 아최대 운동시 T 파고의 감소는 S-T 절 하강과 함께 운동시 일시적인 심근의 strain에 의한 심실 재분극 과정의 기능변화와 연관이 있을 것으로 사료된다.

결 론

운동부하 및 각종 stress가 심전도에 미치는 영향을 보기 위하여 평균 22세의 건강한 남녀 대학생 60명을 대상으로 Flack test, cold pressor test, bicycle ergometry를 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

P vector는 stress의 종류에 관계없이 우측으로 편

의하는 경향을 보였고 T vector는 일정한 편이경향은 보이지 않았으나 bicycle ergometry 시 회복기 5분에서 더 큰 좌측편의를 보였다.

평균 QRS vector는 bicycle ergometry 직후 10.6°의 우측편의를 보였다.

중등도 stress 시에는 S-T 절의 미미한 상승경향을, 아최대 운동부하인 bicycle ergometry 시에는 21.7%에서 하강을 보였다.

Cold pressor test에서는 T파고의 증가, bicycle ergometry에서는 T파고의 감소 경향을 보였다.

운동부하 및 각종 stress 시 정상인에서 S-T 절의 변화에 대한 정확한 기전은 불분명하나 S-T vector로 보아 좌심실 첨부 및 기저부의 strain에 의한 재분극의 불충분한 효과로 사료된다.

REFERENCES

- 1) 김상표, 남상욱, 최경돈, 최요한, 최현욱, 현경애, 박원균, 채의업 : 운동부하 및 각종 신체조건이 혈압 및 ECG에 미치는 영향. 제 1보. 계명의 매논문집 1:1-5, 1982.
- 2) Jones, N.L., and E.J.M. Campbell: *Clinical exercise testing. 2nd edition. W.B. Saunders Company, 1982, p. 100-110.*
- 3) Lepeschkin, E.: *Physiological factors influencing the electrocardiographic response to exercise. In: Measurements in exercise electrocardiography. The Ernst Simonson conference, edited by H. Blackburn. Springfield, Ill: C.C. Thomas, 1969, p. 363.*
- 4) Simoons, M.L., and P.G. Hugenholtz: *Gradual changes of ECG waveform during and after exercise in normal subjects. Circulation 52: 570-576, 1975.*
- 5) Rautaharju, P.M., S. Punsar, and H. Blackburn: *Waveform patterns in Flank-lead rest and exercise electrocardiograms of healthy elderly men. Circulation 48:541-548, 1973.*
- 6) 서순규, 노영무, 강영순, 오동규, 박순창 : Bicycle ergometry에 의한 정상한국인 maximal exercise test의 검토. 대한내과학회잡지 24:184-191, 1981.
- 7) Wicks, J.R., J.R. Sutton, N.B. Olidrige, and N.L. Jones: *Comparison of the electrocardiographic changes induced by maximum exercise testing with treadmill and cycle ergometer. Circulation 57:1066-1069, 1978.*
- 8) Hermansen, L., and B. Saltin: *Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J. Appl. Physiol. 26:31-37, 1969.*
- 9) Chaitman, B.R., M.G. Bourassa, P. Wagniart, F. Corbara, and J. Ferguson: *Improved efficiency of treadmill exercise testing using a multiple lead ECG system and basic hemodynamic exercise response. Circulation 57:71-79, 1978.*
- 10) Braunwald, E., and P.R. Maroko: *ST-segment mapping: Realistic and unrealistic expectations. Circulation 54:529-531, 1976.*
- 11) Fozzard, H.A., and D.S. Dasgupta: *ST-segment potentials and mapping: Theory and experiments. Circulation 54:533-537, 1976.*
- 12) Goldman, M.J.: *Principles of clinical electrocardiography. 9th edition. Lange Medical Publications, 1976, p. 138-147.*
- 13) Guyton, A.C.: *Textbook of medical physiology. 6th edition. W.B. Saunders Company, 1981, p. 192-195.*
- 14) Ishikawa K., and P.M. Kini.: *P wave analysis in 2464 orthogonal electrocardiograms from normal subjects and patients with atrial overload. Circulation 48:565-573, 1973.*
- 15) Durrer, D., R. Th. Van Dam, G.E. Freud, M.J. Janse, F.L. Meijler, and R.C. Arzaeher: *Total excitation of the isolated human heart. Circulation 41:899-911, 1970.*
- 16) Bruce, R.A., G.O. Gey, Jr., M.N. Cooper, L.D. Fisher, and D.R. Peterson: *Seattle heart watch: Initial clinical, circulatory and electrocardiographic response to maximal exercise. Am. J. Cardiol. 33:459, 1974.*
- 17) Chahine, R.A., A.E. Raizner, and T. Ishimori: *The clinical significance of exercise-induced ST segment elevation. Circulation 54:209-213, 1976.*
- 18) Mason, R.E., I. Likar, R.O. Biern, and R.S. Ross: *Multiple-lead exercise electrocardiography: Experience in 107 normal subjects and*

- 67 patients with angina pectoris, and comparison with coronary cineangiography in 84 patients. *Circulation* 36:517-525, 1967.
- 19) Cumming, G.R., C. Dufresne, L. Kich, and J. Samm: Exercise electrocardiogram patterns in normal women. *Br. Hear J.* 35:1055-1061, 1973.
- 20) Erikssen, J., I. Enge, K. Forfang, and O. Storststein: False positive diagnostic tests and coronary angiographic findings in 105 presumably healthy males. *Circulation* 54:371-376, 1976.
- 21) Goldschlager, N., A. Selzer, and K. Cohn: Treadmill stress tests as indicators of presence and severity of coronary artery disease. *Ann. Int. Med.* 85:277-286, 1976.
- 22) Bonoris, P.E., P.S. Greenberg, G.W. Christison, M.J. Castellagnet, and M.H. Ellestad: Elevation of R wave amplitude changes versus ST-segment depression in stress testing. *Circulation* 57:904-910, 1978.
- 23) 노영무, 박정익, 유세화, 서순규: Bicycle ergometry를 이용한 한국인 최대운동부하 시험에 관한 연구. *순환기* 10:1-8, 1980.
- 24) Bruce, R.A., J.A. Mazarella, J.W. Jordan, and E.E. Elmer Green: Quantitation of QRS and ST segment responses to exercise. *Am. Heart J.* 71:455-466, 1966.
- 25) McHenry, P.L.: The actual prevalence of false positive S-T segment responses to exercise in clinically normal subjects remains undefined. *Circulation* 55:683-685, 1977.
- 26) Froelicher, V.F. Jr., F.G. Yanowitz, and A.J. Thompson: The correlation of coronary angiography and the electrocardiographic response to maximal treadmill testing in 76 asymptomatic men. *Circulation* 48:597-604, 1973.
- 27) Ellestad, M.H., and M.K.C. Wan.: Predictive implications of stress testing: Follow-up of 2,700 subjects after maximum treadmill stress testing. *Circulation* 51:363-369, 1975.
- 28) Hornsten, T.R., and R.A. Bruce: Computed ST forces of Frank and bipolar exercise electrocardiograms. *Am. Heart J.* 78:346-357, 1969.
- 29) Gazes, P.C.: False-positive exercise test in the presence of the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am. Heart J.* 78:13-15, 1969.
- 30) Nelson, C.V., M. Chatterjee, E.T. Angelakos, and H.H. Hecht: Model studies on the effect of the intracardiac blood on the electrocardiogram. *Am. Heart J.* 62:83-92, 1961.
- 31) Chaitmans, B.R., D. Bristow, and S.H. Rahimtoola: Left ventricular wall motion assessed by using fixed external reference systems. *Circulation* 48:1043-1054, 1973.
- 32) Mann, T., B.R. Brodie, W. Grossman, and L.P. McLaurin: Effect of angina on the left ventricular diastolic pressure-volume relationship. *Circulation* 55:761-766, 1977.
- 33) McCans, J.L., and J.O. Parker: Left ventricular pressure-volume relationships during myocardial ischemia in man. *Circulation* 48:775-785, 1973.
- 34) Braunwald, E., E.H. Sonnenblick, J. Ross, Jr., G. Glick, and S.E. Epstein: An analysis of the cardiac response to exercise. *Circ. Res.* 20, 21 (Suppl. I): 44-57, 1967.