

體力鍛鍊이 心電圖波高와 QRS 벡터에 미치는 效果

慶北大學校 醫科大學 生理學敎室

俞完植 · 黃樹寬 · 金亨鎭 · 朱永恩

= Abstract =

Effect of Physical Training on Electrocardiographic Amplitudes and the QRS Vector

Wan-Sik Yu, Soo-Kwan Hwang, Hyeong-Jin Kim and Young-Eun Choo

*Department of Physiology, School of Medicine, Kyungpook National University
Taegu, Korea*

In an effort to elucidate the effect of physical training on the electrocardiographic amplitudes, QRS vector, axis and QRS vector amplitude, electrocardiograms were recorded before and 1, 5 and 10 minutes after 3 minute rebounder exercise in 23 healthy male students aged between 18 and 21 years in two groups of athletes and non-athletes.

ECG amplitudes were measured from lead I, V_1 and V_6 and axis and amplitudes of QRS vectors were measured from lead I and III in frontal plane, from lead V_2 and lead V_6 in horizontal plane.

The results obtained are summarized as follows.

ECG amplitudes:

The R wave amplitude was 23.38 ± 1.14 mm in athletes which was higher than 17.91 ± 2.00 mm in non-athletes. After exercise, the difference in two groups remained significant throughout the recovery period.

The S wave amplitude was increased significantly, and the T wave amplitude was decreased in both groups after exercise.

The P wave amplitude was increased in both groups after exercise, and it was lower in athletes than in non-athletes.

The PQ segment amplitude was zero in athletes but negative in non-athletes than in the resting state.

The J point amplitude was positive in resting state and was negative after exercise in both groups. J+0.08 sec point amplitude was also lowered after exercise, and it was higher in athletes than in non-athletes. Therefore the whole ST segment was proved to be decreased after exercise.

The summated amplitude of R in V_6 plus S in V_1 was 38.74 ± 2.71 mm in athletes which was higher than 32.82 ± 2.90 mm in non-athletes. After exercise, it was also significantly higher in athletes than in non-athletes.

Axis of QRS vector:

In frontal plane, axis of QRS vector was $62.7 \pm 7.3^\circ$ in athletes, it showed no significant difference between the two groups.

In horizontal plane, axis of QRS vector was $-23.5 \pm 7.2^\circ$ in athletes which was significantly higher than $-38.8 \pm 8.2^\circ$ in non-athletes. After exercise, it was significantly higher than the resting state in both groups.

Amplitude of QRS vector:

In frontal plane, amplitude of QRS vector was 13.86 ± 1.44 mm in athletes which was significantly higher than 9.62 ± 0.97 mm in non-athletes. After exercise, it was also significantly higher in athletes than in non-athletes.

In horizontal plane, amplitude of QRS vector was 19.82 ± 2.10 mm in athletes which was significantly higher than 16.90 ± 1.39 mm in non-athletes. After exercise, it was also significantly higher in athletes than in non-athletes.

From the above, these results indicate that R wave amplitude in athletes was significantly higher than in non-athletes before and after exercise, and that the summated amplitude of R in V_5 plus S in V_1 in athletes was also 38.74 ± 2.71 mm suggesting a left ventricular hypertrophy.

We should note that the PQ segment and ST segment amplitude were higher in athletes than in non-athletes, and they were decreased with exercise in both groups.

In particular, the fact that amplitudes of QRS vector in frontal plane or in horizontal plane were significantly greater in athletes than in non-athletes may be an index in evaluating athletes.

緒 論

心電圖으로써 心臟의 器質的 및 機能的 狀態를 評價하여 心臟疾患의 診斷 및 豫後¹⁾에 利用된다는 것은 이미 醫學界의 常識으로 되어 있으나 最近에는 運動生理學分野에서 運動選手의 長期間訓練을 통한 心臟機能의 向上 程度를 把握²⁾하는데도 有效하게 利用된다는 것이 차츰 重要하게 認定되어 오고 있다. 그러므로 長期間 體力를 鍛鍊한 選手群이 規則的인 運動을 하지 않은 非選手群에 비해 心電圖中 特히 心電圖波高(voltage)와 心電圖 vector의 角度(axis) 및 길이(amplitude)에 있어서 어떤 差異가 있는지를 究明한다는 것은 體力鍛鍊에 必要한 參考資料를 얻는데 重要한 意味를 갖는다고 본다.

左心室肥大는 高血壓症, 大動脈狹窄症, 僧帽瓣異常 및 先天的心臟疾患等³⁾에 의해서 招來되는데 반해 心臟機能이 優秀한 스포츠心臟에서도 左心室肥大現象⁴⁾이 나타난다고 한다.

心臟疾患으로 인한 左心室肥大時에는 心電圖波高에서는 Goldman⁵⁾의 報告에 依하면 lead V_5 및 V_6 의 R波高가 27 mm 以上이 되고, R_{V_5} 波高와 S_{V_1} 波高의 合이 35 mm 以上이 된다고 하며, Baron等⁶⁾에 依하면 冠狀動脈疾患時는 運動中에 end diastole volume이

增加하는 등의 原因에 依해서 R波高가 더 커진다고 한다. 그리고 Fox等⁶⁾은 ST分節이 depression됨을 報告했고, Kitchin과 Neilson⁷⁾은 이 때에 T波高가 inversion된다고 報告한바 있다.

心臟의 起電力을 알 수 있는 心臟 vector에서, 心臟疾患으로 左心室肥大時에서는 QRS vector의 길이(길이)가 길어지고, 그 角度는 horizontal心臟에서는 $0 \sim -30^\circ$ 사이에 位置하며, vertical心臟에서는 $+45^\circ \sim +90^\circ$ 사이에 位置한다⁸⁾고 한다. 이와같이 QRS vector의 角度는 주로 心臟의 位置(position)의 左心室肥大에 影響을 많이 받으며⁹⁾, Katz⁹⁾의 報告에 依하면 長距離選手와 大動脈狹窄症患者에서 QRS vector의 left axis deviation이 흔히 보이고, 이것은 左心室筋의 두께와 左心室의 脫分極이 緩慢한 原因에 의한 것이라고 했으며, Morganroth와 Maron¹⁰⁾은 運動選手와 肺動脈狹窄症 및 高血壓에는 QRS vector에서 right axis deviation이 일어난다고 報告한 바 있다. 正常人에 있어서 運動中에 左心室의 end diastole volume의 減少에 의해서 R波高가 減少되고¹¹⁾, 交感神經의 變化와 K^+ 濃度の 增加에 따라 T波高가 增加되며^{12,13)}, S波高는 運動負荷가 增加될수록 더 커진다¹⁴⁾고 한다. 그리고 ST分節은 運動中에 減少되는데 이것은 酸의 蓄積과 冠狀動脈의 擴張¹⁵⁾에 起因되며 R波高의 減少와 相關이 높다¹⁶⁾고 한다.

Table 1. Physical characteristics of non-athletic and athletic subjects

	Age(yr)	Height(cm)	Body weight (kg)	Body surface area(m)	Exercise career (yr)	No. of subjects
Non-athletes	19.3	171.8	61.8	1.73	—	13
	0.13	0.59	1.58	0.03		
Athletes	19.8	177.9**	69.4**	1.86**	8.0	10
	0.14	1.45	1.91	0.02	0.98	

Values are mean and standard errors.

Significantly different from non-athletes: **p<0.01.

以上에서 보는 바와 같이 心臟疾患時나 運動中에 있어서 心電圖波高와 그 vector의 變化에 대해서는多數 報告된 바 있으나 訓練을 한 運動選手과 非運動選手 사이의 比較는 물론 運動中 및 運動後에 있어서 兩群의 ECG上的 變化樣相에 對한 報告는 아직도 不足한 實情이며 특히 이때에 心電圖 vector의 角度와 길이에 對한 報告는 거의 없는 現狀이다.

本研究에서는 運動選手에 있어서 心電圖波高와 그 vector의 角度 및 길이가 運動後에 어떤 樣相으로 變化하며 이것이 非選手와 어떤 差異가 있는가를 究明해 봄으로써 長期間訓練이 心筋 및 心機能에 미치는 影響을 分析하고, 나아가서 어떤 心機能이 體力을 評價하는 指標가 될 것인가를 究明함을 目的으로 設定하였다.

이로서 著者들은 長期間訓練을 한 運動選手를 對象으로 하여 運動後恢復期에 있어서 心電圖波高中에 特別히 P波高, R波高, T波高 및 S波高와 PQ分節 및 ST分節의 波高를 測定하고, 心電圖 vector中에 特別히 QRS vector의 角度와 길이를 測定하여 運動前後를 比較함은 勿論, 非選手群과 比較 分析해 본 結果 意義있는 結果를 얻었다.

對象 및 方法

本研究의 對象으로는 慶北大學校에 在學中인 健康한 男學生 23名(18~21歲)으로 하였고 이들을 蹴球 및 handball 種目에서 4年以上 選手生活의 經歷이 있는 10名의 運動選手群과 規則的인 運動經歷이 없는 13名의 非運動選手群으로 區分하였다. 一般的인 身體檢査를 爲하여 身長은 身長計測器로, 體重은 體重計로, 胸圍는 胸圍尺으로, 體表面積은 DuBois 및 DuBois¹⁷⁾의 方法에 의해 算出하였다. 對象者의 身體의 特性은 Table 1에서 보는 바와 같다.

各 對象者에게 Rebounder 上에서 1分間에 80回程度로 可能한 限 最大의 높이로 垂直뛰기를 3分間 實施하

였고, 運動前인 安靜時와 運動後 恢復期 1分, 5分 및 10分에 心電圖를 描記하였다.

心電圖描記는 Fukuda 會社製 FJC-7110 Electrocardiograph 를 使用하여 12 lead인 標準 四肢誘導法의 I, II 및 III 標準誘導와 增幅單極誘導法(augmented unipolar lead)의 aVR, aVL, aVF 및 單極胸部誘導法(unipolar precordial lead)의 V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆를 描記하여, 이 中에 選手群과 非選手群의 心電圖波高에 對한 所見에서 뚜렷한 差異를 알 수 있는 lead I, V₁ 및 V₆를 擇했으며, 心電圖 判讀에서는 lead I에서는 S波高, V₁에서는 P波高, V₅에서는 R波高, T波高, PQ分節波高 및 ST分節(J點과 J點에서 0.08秒點) 波高를 算定하였다.

그리고 QRS vector의 角度와 길이는 frontal plane에서는 lead I과 lead III의 vector를 利用하고, horizontal plane에서는 V₂와 V₆의 vector를 利用하여 著者들이 考案한 다음의 公式에 의해서 算出하였다.

Frontal plane

$$\theta = \tan^{-1} \frac{I + 2 \times III}{\sqrt{3} \times I}, r = \left| \frac{I}{\cos \theta} \right|$$

① I > 0 이면

$$\text{axis} = \theta, \text{amplitude} = r$$

② I < 0 이면

$$\text{axis} = \theta - 180^\circ (\theta > 0 \text{일 때}), \text{amplitude} = r$$

$$\text{axis} = \theta + 180^\circ (\theta \leq 0 \text{일 때})$$

③ I = 0 이면

$$\text{axis} = 90^\circ (III > 0 \text{일 때}), \text{amplitude} = \left| \frac{III}{\cos 30^\circ} \right|$$

$$\text{axis} = -90^\circ (III < 0 \text{일 때})$$

但

I : lead I의 平均 QRS 波高

III : lead III의 平均 QRS 波高

Horizontal plane

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_2}{V_6}, r = \left| \frac{V_2}{\cos \theta} \right|$$

- ① $V_6 > 0$ 이면
axis = θ , amplitude = r
- ② $V_6 < 0$ 이면
axis = $\theta - 180^\circ$ ($\theta > 0$ 일때), amplitude = r
axis = $\theta + 180^\circ$ ($\theta \leq 0$ 일때)
- ③ $V_6 = 0$ 이면
axis = 90° ($V_2 > 0$ 일때), amplitude = $|V_2|$
axis = -90° ($V_2 < 0$ 일때)

但

V_2 : V_2 의 平均 QRS 波高

V_6 : V_6 의 平均 QRS 波高

위의 같이 算定한 心電圖波高와 QRS vector의 角度 및 길이를 運動前後에서 서로 比較한은 물론 選手群과 非選手群에서도 서로 比較分析하였다.

成 績

選手群 및 非選手群에서 運動後 恢復期의 P波高는 Table 2 및 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 兩群 모두 安靜時에 比하여 有意한 變化가 없었으나 選手群에서는 恢復 1분에 0.54 ± 0.17 mm로 安靜時의 0.36 ± 0.17 mm에 比해 多少 增加하였으며 그 後 次次 減少하였다. 選手群과 非選手群을 比較하면 選手群이 多少 낮았으며 特히 恢復 10분에서는 選手群이 0.32 ± 0.20 mm로서 非選手群의 0.72 ± 0.06 mm에 比해 有意하게 ($p < 0.05$) 낮았다.

Table 2. P-wave amplitude in lead V_1 after exercise in non-athletes and athletes

	Rest	After exercise			No. of subject
		1	5	10 min	
Non-athletes	0.58 ± 0.12	0.70 ± 0.17	0.65 ± 0.06	0.72 ± 0.06	13
Athletes	0.36 ± 0.17	0.54 ± 0.17	0.45 ± 0.12	$0.32 \pm 0.20^*$	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes: * $p < 0.05$.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

選手群과 非選手群의 比較에서 運動後 恢復期의 R波高는 Table 3 및 Fig. 2에서 보는 바와 같이 兩群 모두 安靜時에 比하여 有意한 差異는 없었으나 非選手群은 恢復 1분에 16.67 ± 1.77 mm로서 安靜時 17.91 ± 2.00 mm에 比해 多少 減少한 後 次次 增加하였으며 選手群은 恢復 1분에 25.57 ± 1.28 mm로서 安靜時 23.38 ± 1.14 mm에 比해 若干 增加하였으며 그 後 次次 減少하는 樣相을 나타냈다. 兩群을 比較하면 安靜時에

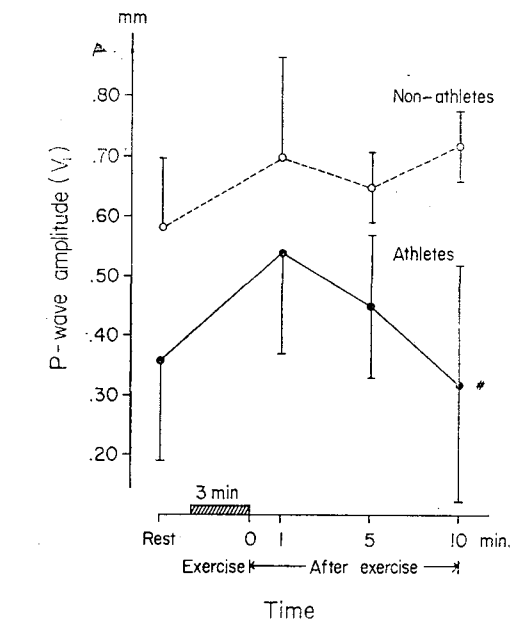


Fig. 1. P wave amplitude in lead V_1 after exercise in non-athletes and athletes.

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes: * $p < 0.05$.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min

選手群이 23.38 ± 1.14 mm로 非選手群의 17.91 ± 2.00 mm에 比해 有意하게 ($p < 0.05$) 높았으며 特히 恢復 1, 5 및 10분에 選手群이 25.57 ± 1.28 mm, 25.21 ± 1.26 mm 및 24.46 ± 1.39 mm로서 非選手群의 16.67 ± 1.77 mm, 17.73 ± 1.89 mm 및 17.45 ± 1.84 mm에 比해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다. 또한 非選手群은 恢復 1분에 多少 減少한 後 增加한데 反해 選手群은 오히려 增加한 後 減少하는 樣相을 나타내었다.

Table 3. R-wave amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes

	Rest	After exercise			No. of subject
		mm			
		1	5	10 min	
Non-athletes	17.91±2.00	16.67±1.77	17.73±1.89	17.45±1.84	13
Athletes	23.38±1.14*	25.57±1.28**	25.21±1.26**	24.46±1.39**	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes: *p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

Table 4. S-wave amplitude in lead I after exercise in non-athletes and athletes

	Rest	After exercise			No. of subject
		mm			
		1	5	10 min	
Non-athletes	1.69±0.54	2.63±0.64**	2.08±0.54**	2.18±0.53**	13
Athletes	1.62±0.23	2.42±0.31**	1.83±0.30*	1.79±0.30**	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

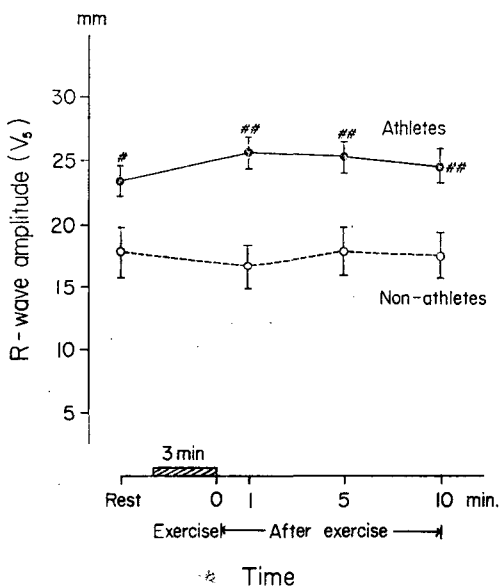


Fig. 2. R wave amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes. Values are means and standard errors. Significantly different from non-athletes: *p<0.05, **p<0.01. Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min

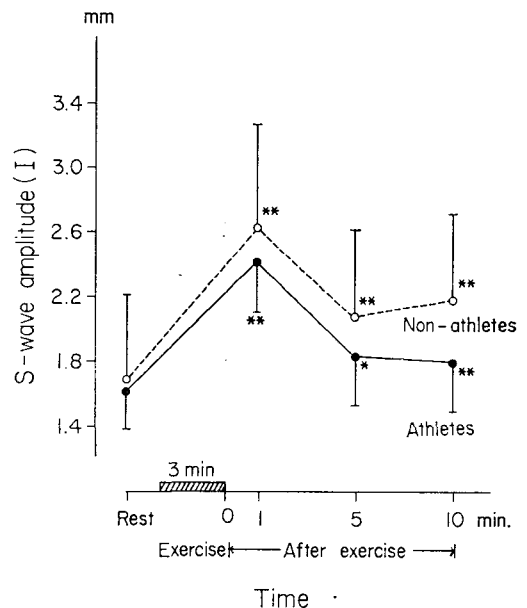


Fig. 3. S-wave amplitude in lead I after exercise in non-athletes and athletes. Values are means and standard errors. Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01. Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min

Table 5. T-wave amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes

	mm				No. of subject
	Rest	After exercise			
		1	5	10 min	
Non-athletes	6.69±0.56	6.52±0.55	4.98±0.42**	5.97±0.59**	13
Athletes	6.38±0.52	5.40±0.61	4.88±0.51*	5.83±0.40*	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

Table 6. PQ segment amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes

	mm				No. of subject
	Rest	After exercise			
		1	5	10 min	
Non-athletes	-0.08±0.05	-0.58±0.21*	-0.23±0.11	-0.38±0.08**	13
Athletes	0	-0.25±0.11	0	0	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

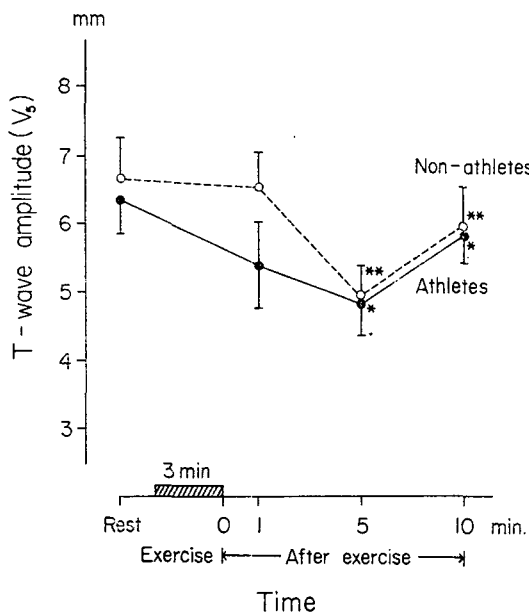


Fig. 4. T-wave amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes. Values are means and standard errors. Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01. Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

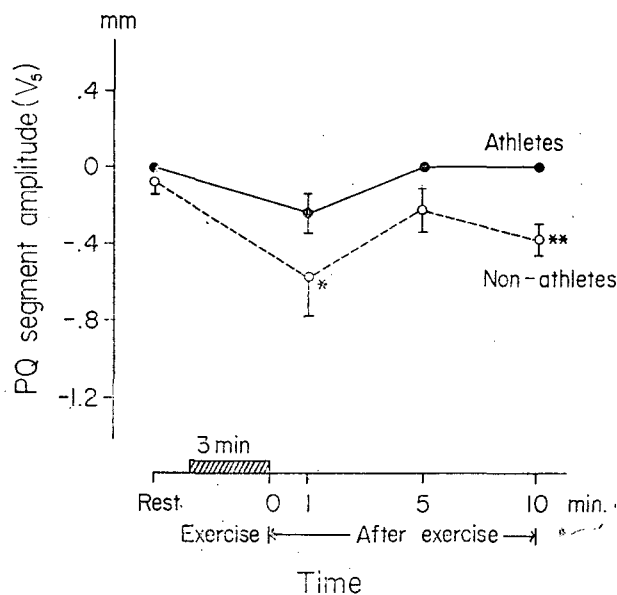


Fig. 5. PQ segment amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes. Values are means and standard errors. Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01. Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

Table 7. J-point amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes

	mm				No. of subject
	Rest	After exercise			
		1	5	10 min	
Non-athletes	0.54±0.31	-0.77±0.31**	0.18±0.29**	0.12±0.29**	13
Athletes	0.68±0.13	-0.45±0.19**	0.34±0.11**	0.52±0.08**	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3-min.

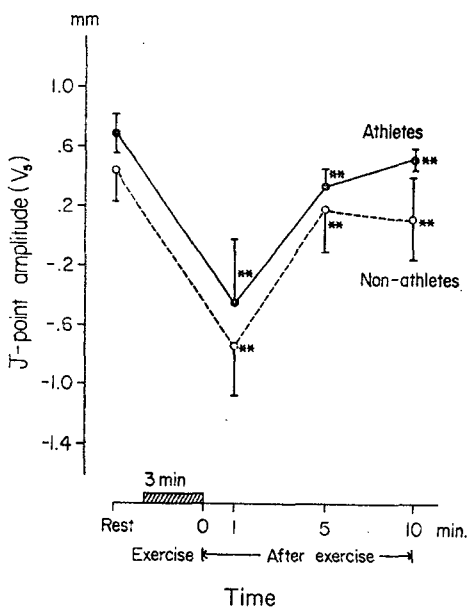


Fig. 6. J-point amplitude in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes.

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

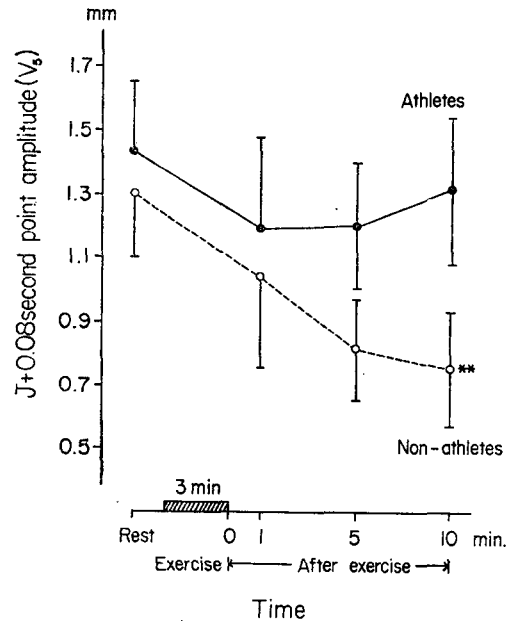


Fig. 7. Amplitude of ST segment at 0.08 second after J point in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes.

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

選手群과 非選手群을 比較하면 運動後 恢復期의 S 波高는 Table 4 및 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 卽, 非選手群의 安靜時 S 波高는 1.69±0.54 mm 인데 比較 運動後 恢復 1分에서는 2.63±0.64 mm 로 有意하게 (p<0.01) 높았고 그 後 多少 減少하였으나 恢復 10分까지도 2.18±0.53 mm 로 有意하게 (p<0.01) 높았다. 選手群에서도 安靜時 S 波高가 1.62±0.23 mm 인데 比較 運動後 恢復 1分에는 2.42±0.31 mm 로 有意하게 (p<

0.01) 높았으며 그 後 다소 減少하였으나 恢復 10分까지도 1.79±0.39 mm 로 有意하게 (p<0.01) 높았다. 兩群을 比較하면 非選手群이 다소 높았으나 有意한 差異는 없었다.

選手群과 非選手群의 運動後 恢復期의 T 波高는 Table 5 및 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 選手群 및 非選手群의 安靜時 T 波高가 6.38±0.52 mm 및 6.69±0.56

Table 8. Amplitude of ST segment at 0.08 second after J point in lead V₅ after exercise in non-athletes and athletes mm

	Rest	After exercise			No. of subject
		1	5	10 min	
Non-athletes	1.30±0.20	1.04±0.29	0.81±0.16	0.75±0.18**	13
Athletes	1.43±0.22	1.19±0.29	1.20±0.20	1.31±0.23	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

Table 9. Amplitude of Rv₅ plus Sv₁ after exercise in non-athletes and athletes mm

	Rest	After exercise			No. of subject
		1	5	10 min	
Non-athletes	32.82±2.90	31.19±2.87	32.40±3.01	31.95±2.74	13
Athletes	38.74±2.71	42.36±2.26**	41.36±1.54*	39.76±1.84*	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes: *p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

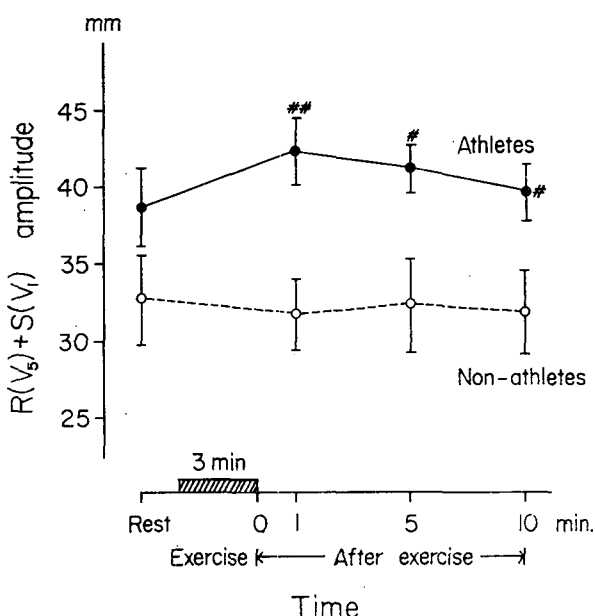


Fig. 8. Amplitude of Rv₅ plus Sv₁ after exercise in non-athletes and athletes.

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes:

*p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min

mm 인데 비해 운동後 차차 減少하여 兩群 모두 恢復 5分에는 4.88±0.51 mm 및 4.98±0.42 mm 로 有意하게 (p<0.05, p<0.01) 減少하였으며 恢復 10分에는 5.83±0.40 mm 및 5.97±0.59 mm 로 增加하였으나 安靜時에 比하여 有意하게 (p<0.01) 낮았다. 兩群의 比較에서 非選手群이 다소 높았으나 有意한 差異는 아니었다.

選手群 및 非選手群의 運動後 恢復期의 PQ 分節은 Table 6 및 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 非選手群의 安靜時 PQ 分節이 -0.08±0.05 mm 인데 비해 恢復 1分에는 -0.58±0.21 mm 로 有意하게 (p<0.05) 減少하였으며 恢復 5分에는 安靜狀態로 가까와지다가 恢復 10分에 다시 -0.38±0.08 mm 로서 有意하게 (p<0.01) 減少하였다. 選手群에서도 恢復 1分에 -0.25±0.11 mm 로서 安靜時의 0 mm 에 비해 다소 낮은 값을 나타내었으나 有意한 差異는 없었다.

選手群과 非選手群에서 運動後 恢復期의 J點은 Table 7 및 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 即 選手群 및 非選手群의 安靜時 J點이 0.68±0.13 mm 및 0.54±0.31 mm 인데 비해 兩群 모두 恢復 1分에서는 -0.45±0.19 mm 및 -0.77±0.31 mm 로 有意하게 (p<0.01) 減少하였으며 그後 次次 增加하였으나 恢復 10分에도 0.52±0.08 mm 및 0.12±0.29 mm 로서 安靜時에 比

Table 10. Axis of QRS vector after exercise in non-athletes and athletes

	Rest	After exercise			No. of subjects
		1	5	10 min	
Frontal plane					
Non-athletes	62.7±7.3	55.5±18.5	63.6±8.5	60.1±9.8	13
Athletes	65.2±7.4	69.5± 6.9	69.1±4.0	71.9±4.0	10
Horizontal plane					
Non-athletes	-38.8±8.2	-14.9±12.9*	-8.2±11.0**	-8.2±10.0**	13
Athletes	-23.5±7.2**	-5.6± 9.6	-19.0± 8.0	6.1± 5.1***	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: *p<0.05, **p<0.01.

significantly different from non-athletes: *p<0.05, **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

Table 11. Amplitude of QRS vector after exercise in non-athletes and athletes

	Rest	After exercise			No. of subjects
		1	5	10 min	
Frontal plane					
Non-athletes	9.62±0.97	7.85±1.25**	9.02±1.17	8.59±1.02**	13
Athletes	13.86±1.44**	12.10±1.84**	16.10±2.83**	14.86±1.33**	10
Horizontal plane					
Non-athletes	16.90±1.39	14.60±1.45	15.58±1.84	15.86±1.70	13
Athletes	19.82±2.10**	21.85±1.67**	16.96±2.18	22.69±2.00**	10

Values are means and standard errors.

Significantly different from the resting values: **p<0.01.

Significantly different from non-athletes: **p<0.01.

Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

해 有意하게 (p<0.01) 낮았다.

운동後 恢復期의 J點에서 0.08秒點의 波高는 Table 8 및 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 非選手群은 運動後 繼續 減少하여 恢復 10分에는 0.75±0.18 mm로서 安靜時 1.30±0.20 mm에 비해 有意하게 (p<0.01) 낮았다. 選手群은 有意한 變化는 없었으나 恢復 1分에 다소 減少한 後 次次 增加되는 樣相을 보였다. 兩群을 比較하면 選手群이 다소 높았으나 有意한 差異는 없었다. 또한 非選手群은 運動後 恢復 10分까지 繼續 減少한데 反해 選手群에서는 恢復 1分에 다소 減少한 後 次次 恢復되었다. 選手群과 非選手群에서 運動後 恢復期의 V₁의 S波高와 V₅의 R波高의 合은 Table 9 및 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 運動後 兩群 모두 安靜時에 비

해 有意한 差異는 없었으나 選手群은 安靜時 38.74±2.71 mm에 비해 恢復 1分에 42.36±2.26 mm로서 다소 增加한 後 次次 減少하였다. 兩群을 比較해 보면 安靜時에는 有意한 差異가 없었으나 恢復 1, 5 및 10分에 選手群이 42.36±2.26 mm, 41.36±1.54 mm 및 39.76±1.84 mm로서 非選手群의 31.19±2.87 mm, 32.40±3.01 mm 및 31.95±2.74 mm에 비해 有意하게 (p<0.01, p<0.05) 높았다. 또한 非選手群은 一定한 變化樣相을 볼 수 없는데 反해 選手群은 恢復 1分에 다소 增加한 後 次次 減少하였다.

選手群과 非選手群의 運動時 恢復期의 QRS 軸의 角度는 Table 10 및 Fig. 9에서 보는 바와 같다. 卽 frontal plane 上의 QRS 軸의 角度에서 非選手群은 恢復

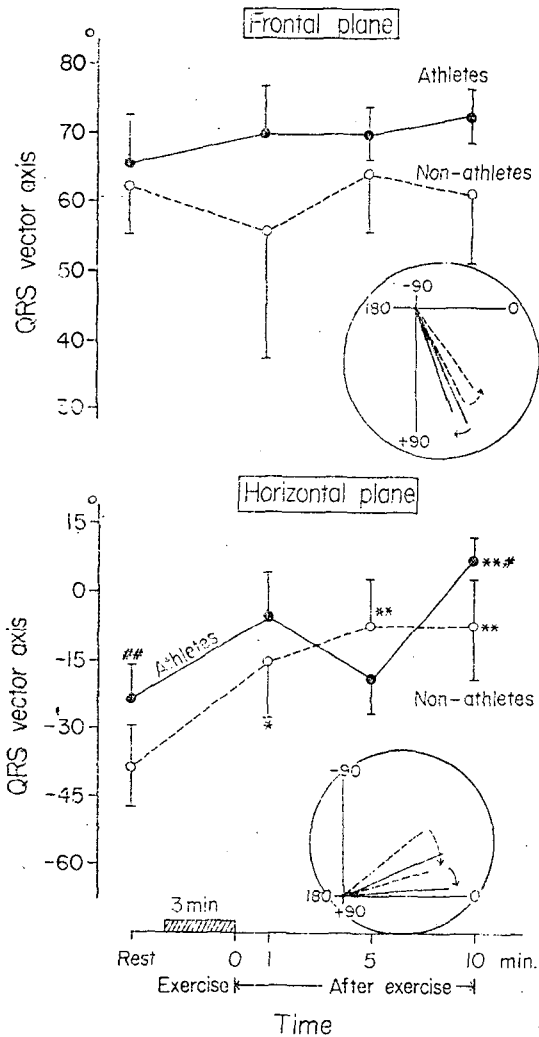


Fig. 9. Axis of QRS vector after exercise in non-athletes and athletes. Values are means and standard errors. Significantly different from the resting values: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Significantly different from non-athletes: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

1분에 다소 減少한 後 增加하였으며 選手群은 恢復 1, 5 및 10분에 다소 增加하는 樣相을 보였다. Horizontal

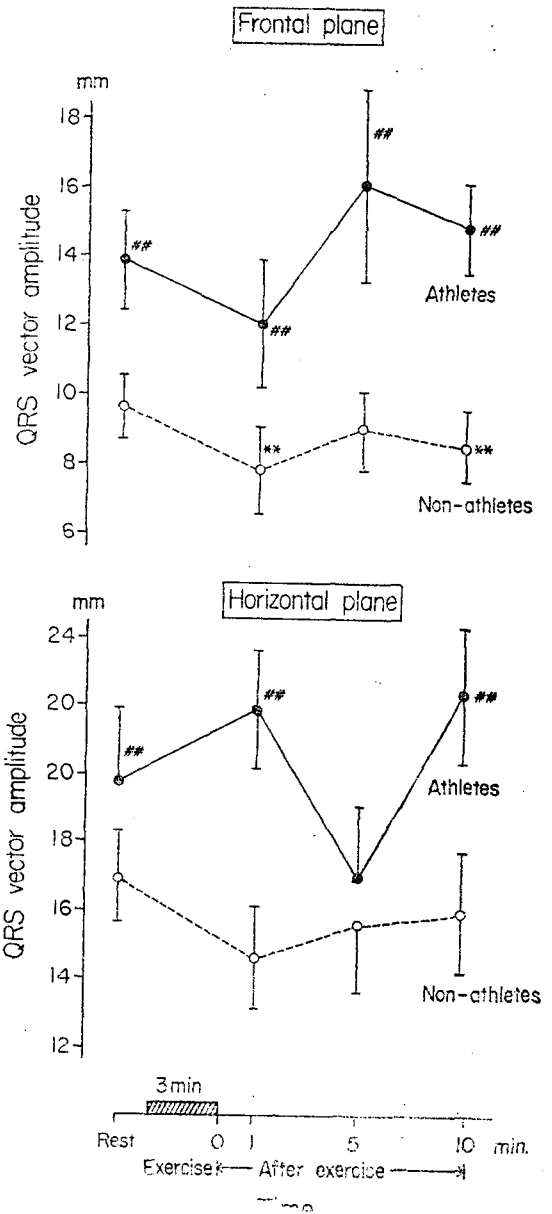


Fig. 10. Amplitude of QRS vector after exercise in non-athletes and athletes. Values are means and standard errors. Significantly different from the resting values: ** $p < 0.01$. Significantly different from non-athletes: ** $p < 0.01$. Exercise: Rebounding on rebounder at 80 times/min for 3 min.

plane 上의 QRS 軸의 角度에서 非選手群은 安靜時 $-38.8 \pm 8.2^\circ$ 인데 比해 恢復 1分에는 $-14.9 \pm 12.9^\circ$ 로

서 有意하게 ($p < 0.05$) 增加하였으며, 그 後 더욱 增加하여 恢復 5 및 10分에는 $-8.2 \pm 11.0^\circ$ 및 $-8.2 \pm 10.0^\circ$ 로 安靜時에 比하여 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다. 選手群은 安靜時 값이 $-23.5 \pm 7.2^\circ$ 였으며 恢復 1 및 5分에는 $-5.6 \pm 9.6^\circ$ 및 $-19.0 \pm 8.0^\circ$ 로 多少 增加하였으나 有意한 差異가 없었으며 恢復 10分에는 $6.1 \pm 5.1^\circ$ 로서 有意하게 ($p < 0.01$) 增加하였다. 兩群을 比較해 보면 安靜時 및 恢復 10分에 選手群이 $-23.5 \pm 7.2^\circ$ 및 $6.1 \pm 5.1^\circ$ 로서 非選手群의 $-38.8 \pm 8.2^\circ$ 및 $-8.2 \pm 10.0^\circ$ 에 比해 有意하게 ($p < 0.01$, $p < 0.05$) 높았다.

選手群 및 非選手群에 있어서 運動後 恢復期의 QRS vector의 길이는 Table 11 및 Fig. 10에서 보는 바와 같다. frontal plane 上의 QRS vector의 길이에서 非選手群의 安靜時 값이 9.62 ± 0.97 mm 인데 比해 恢復 1分에는 7.85 ± 1.25 mm 로 有意하게 ($p < 0.01$) 減少하였으며 恢復 5分에는 거의 安靜狀態로 增加하였다가 恢復 10分에 8.59 ± 1.02 mm 로서 다시 有意하게 ($p < 0.01$) 減少하였다. 選手群에서는 有意한 變化는 없었으나 非選手群과 마찬가지로 變化樣相을 나타내었다. 그리고 選手群이 非選手群에 比해 모두 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다. Horizontal plane 上의 QRS vector의 길이에서는 兩群 모두 安靜時에 比하여 有意한 變化는 없었으나 兩群을 比較해 보면 選手群은 安靜時, 恢復 1 및 10分에 各各 19.82 ± 2.10 mm, 21.85 ± 1.67 mm 및 22.69 ± 2.00 mm 로서 非選手群의 16.90 ± 1.39 mm, 14.60 ± 1.45 mm 및 15.86 ± 1.70 mm 에 比해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다.

考 察

心電圖波高와 心電圖 vector의 角度 및 길이가 體力鍛鍊을 通해서 어떤 樣相으로 變化하며 이것이 非選手群과 어떤 差異가 있는지에 대한 結果를 考察해 보면 다음과 같다.

本研究에서 보는 바와 같이 著者들은 心電圖 vector의 角度와 길이를 求하는 公式을 考察하였으며, 이것은 frontal plane 에서는 lead I 과 lead III의 vector 길이를 利用하였고, horizontal plane 에서는 V_2 와 V_6 의 vector 길이를 利用하여 vector의 角度를 求한 것이다. 이들 公式을 利用함으로써 心電圖 vector의 角度와 길이의 測定에서 자와 角度器로 일일이 제거나 圖表를 그려서 求하는 번거로움과 測定上의 誤差를 없앨 수 있을 뿐 아니라 計算上 便利함을 圖謀한 點이 그 意義를 찾을 수 있을 것이다.

心電圖의 P波高는 心房의 脫分極時 波高로서 Morganroth와 Maron¹⁰⁾에 依하면 運動選手는 左右心房이 肥大함으로 P波高가 非選手群 보다 높다는 報告가 있으며, 本研究에서는 兩群사이에 別差異를 發見할 수 없었으나 非選手群이 다소 높은 傾向을 보인 點은 心房의 肥大에는 別 差異가 없는 것으로 解釋되며, 運動後 兩群 모두 增加한 點이 注目되는 바이다.

R波高는 心室의 脫分極時 가장 높은 上向波高로서 左心室의 機能을 評價하는 重要한 指標¹⁰⁾가 되는 것으로 Goldman⁹⁾에 의하면 心臟疾患으로 因한 左心室肥大時에는 lead V_5 와 V_6 의 R波高가 27 mm 以上이 되고, R_{V_5} 와 S_{V_1} 의 合이 35 mm 以上이 된다고 했으며, 本研究에서는 選手群에서는 R波高가 23.38 mm 로서 非選手群의 17.91 mm 에 比해 有意하게 높고, R_{V_6} 와 S_{V_1} 의 合이 38.74 mm 로서 非選手群에 比해 높은 것으로 보아 心臟疾患이 아닌 選手群에서도 左心室이 肥대한 것을 알 수 있으며, 長期間 體力를 鍛鍊한 選手群의 左心室肥大에 있어서도 心臟疾患으로 因한 左心室肥大과 마찬가지로 R波高가 높고 S波高가 큰 것을 究明할 수 있다. 運動選手群의 左心室이 肥大함은 주로 冠狀動脈血管이 發達되고¹⁹⁾, 毛細血管의 density가 增大하여²⁰⁾ 心筋에 血液供給이 많아서 血流量이 增加되는 것²¹⁾을 뜻하며, 이때에 心臟의 收縮力이 強함으로 驅血量이 增大되며 이로 因해 心搏出量이 增大되므로 心臟機能이 優秀한 것으로 思料된다.

運動中の R波高의 變化는 Lloyd-Thomas²²⁾에 의하면 被檢者 67名中 55名이 運動中에 R波高가 減少됨을 報告했고, Baron等⁵⁾의 報告에 의하면 健康한 사람은 運動中에는 R波高가 減少하는데 反해, 冠狀動脈疾患時는 R波高가 運動中에 增加되며 運動後 恢復 1分까지 繼續 增加된다고 했다. 그리고 Kentala等²³⁾은 運動初期에는 R波高가 增加하며 強한 運動이 繼續되는 동안에는 減少한다고 했으며, 最近 金等¹⁸⁾도 運動中에 R波高가 減少함을 報告한 바 있다. 이와같이 運動中에 R波高의 變化에 대한 機轉은 주로 血中 K^+ 濃度, 心電圖 vector의 方向 및 胸壁와 橫隔膜運動에 起因된다⁵⁾고 하는데 運動中에 R波高가 減少하는 것은 左心室의 end-diastole volume 이 減少되는 등¹¹⁾에 起因되며, 이와 반대로 運動中에 R波高가 增加되는 것은 心臟疾患으로 左心室肥大時에 甚한 虛血現象이 나타나 左心室의 end-diastole volume 이 增加되는 등⁵⁾에 起因된다고 한다. 本研究에서는 兩群 모두 R波高가 運動으로 因해 큰 變化는 없었으나 選手群에서는 다소 增加하였고 非選手群에서는 다소 減少함을 보였는데 이

것으로 알 수 있는 것은心臟疾患이든 스포츠心臟이든 間에 左心室肥大時에는 運動中에 R波高가 다소 增加하든지, 아니면 비록 減少하더라도 正常人에 比해서는 그 減少되는 程度가 적음을 推定할 수 있다. 여기서 運動中의 R波高의 變化는 運動負荷程度 및 運動中의 姿勢에 따라서도 달라진다⁸²고 하므로 앞으로 더욱 追究해야 할 것으로 생각되는 바이다.

S波高는 心室의 脫分極時에 가장 깊은 上向波高로서 Bonoris等³²⁾의 報告에 의하면 運動中에 S波高가 增加한다고 했으며, 本研究에서도 이와 마찬가지로 選手群에서나 非選手群에서 모두 S₁波高가 運動에 의해 有意하게 增加함을 볼 수 있었다.

T波高는 心室의 再分極時의 波高로서 運動中에 T波高의 變化는 주로 自律神經의 變化에 따라 달라지는데, Kitchin과 Neilson⁷⁾에 의하면 運動中에 T波高가 減少하는 境遇는 自律神經中 交感神經의 亢進에 의한 것이며, 이와 반대로 運動中에 T波高가 增加하는 境遇는 副交感神經의 亢進과 K⁺濃度の 增加 및 心驅血量的 增大에 의해서 일어난다고 한다. 그리고 Beckner 및 Winsor²⁴⁾와 Littman²⁵⁾에 의하면 강한 運動時에는 T波高가 inversion 된다고 한다. 本 研究에서는 兩群 모두 運動後 5分까지 T波高가 繼續 減少함을 볼 수 있는데 이것은 金等¹⁸⁾의 報告와 一致했으며, 위에서 밝힌 바와 같이 交感神經의 亢進 등의 原因에 의해서 생각되는 바이다. 그리고 Kitchin과 Neilson⁷⁾은 代謝의 變化에서도 T波가 變化하고, Coester等²⁶⁾은 電解質과 酸-鹽基平衡에서도 T波高가 變化한다고 報告한 바 있다.

PQ分節은 安靜時에 選手群에 比해 非選手群은 -0.08 mm로서 negative를 나타내었으며 運動中에는 兩群 모두 減少했으나 특히 非選手群은 有意하게 減少한 點等은 注目할 만한 事實이며 選手群과 非選手群을 區別하는 資料가 될 것이다.

ST分節은 QRS complex가 끝나는 點인 J點과 T波高가 始作되는 點사이의 分節을 意味하며, 本 研究에서는 Mason等³⁰⁾과 Fox等⁶⁾의 報告에 따라서 J點에서 0.08秒사이를 ST分節로 定했다. Jengo等¹⁵⁾에 의하면 運動中에 酸의 蓄積과 冠狀動脈의 擴張 등의 原因에 의해 ST分節이 減少한다고 했으며, Feil 및 Siegel²⁷⁾과 Goldhammer 및 Scherf²⁸⁾에 의하면 강한 運動時에는 오히려 增加하는데 이것은 心臟筋에 消費되는 酸素가 冠狀動脈에 供給되는 酸素보다 더 많은 低酸素症 現象에 起因된다고 한다. 먼저 J點은 兩群 모두 安靜時에는 positive를 나타내다가 運動後에는 ne-

gative를 나타내었으며 이것은 Jengo等¹⁵⁾의 報告와 類似한 것으로 注目되는 바이며, 이때 選手群이 繼續 높은 값을 維持한 點이 또한 意義있는 結果로 思料되는 바이다. 그리고 J+0.08秒點은 運動後 10分까지 兩群 모두 安靜時보다 낮아진 點도 J點과 마찬가지로 注目되는 바이다. 이와같이 兩群 모두 減少하는 程度의 差異는 있으나 運動中에는 J點과 J+0.08秒點 모두가 減少되므로, 卽 運動中에 ST分節이 減少됨을 알 수 있다. Gerson等²⁹⁾에 의하면 ST分節의 depression과 R波高는 安靜時에는 別相關이 없으나 運動中에는 相關이 높다고 하며, 특히 最大運動일수록 R波高가 더 減少되고 ST分節의 depression이 더 甚하다고 한다. 本研究에서도 運動中에 R波高는 물론 ST分節에도 減少가 일어났다. ST分節의 depression이란 Mason等³⁰⁾의 報告와 같이 QRS 끝에서 0.08秒의 點이 TP分節을 基準線으로 하여 1.00 mm보다 더 negative에 있는 것을 말하며, Fox等⁶⁾의 報告에 의하면 冠狀動脈患者 40名中에 36名이 ST分節의 depression이 일어난다고 報告한 點으로 보아 ST分節의 depression의 程度가 冠狀動脈疾患을 診斷하는데 必要한 것이다. 本 研究에서는 兩群 모두 安靜時에는 positive를 나타냈으며 이것은 위에서 言及한 冠狀動脈患者와 區別될 수 있는 것으로 思料된다. Mirvis³¹⁾의 報告에 의하면 正常人에서 運動中에 ST depression이 일어난다고 하는데 本 研究에서는 兩群 모두 運動後에 ST depression은 되지 않았으나 若干의 減少를 볼 수 있었다.

心電圖의 vector는 心臟의 起電力(electro motive force)을 決定하는 것으로 이것은 心電圖 vector의 方向과 길이 및 分極狀態를 通해서 알 수 있다고 하며, 心電圖 vector의 角度를 대표하는 QRS角度는 frontal plane에서 正常은 0~+90°사이이며 이 範圍를 벗어나면 axis deviation이 일어났음을 뜻하며, Katz⁹⁾는 大動脈狹窄時나 長距離選手에서는 left axis deviation을 흔히 볼 수 있다고 했고, Morganroth와 Maron¹⁰⁾은 肺動脈狹窄症 및 高血壓 그리고 運動選手에서는 right axis deviation을 볼 수 있다고 했다. Goldman³⁾은 心臟疾患으로 因한 左心室肥大時에 horizontal心臟에서는 QRS vector의 角度가 0~30°사이이며, vertical心臟일 때는 +45~+90°사이에 位置한다고 했다. 本 實驗에서 frontal plane에서는 兩群 모두 semivertical position으로서 正常範圍內에 있음을 알 수 있으며, horizontal plane에서는 選手群이 -38.8±8.2°로서 非選手群의 -23.5±7.2°에 比해 有意한 差를 나타낸 점과 運動을 通해 兩群 모두 反時計方向(countercloc-

kwise)으로 有意하게 移動한 點은 注目할만한 事實이며, 이것은 選手群과 非選手群을 區別할 수 있는 重要な 資料가 될 것으로 생각된다.

QRS vector 의 길이는 心臟機能을 評價하는 資料로서 本 研究에서는 frontal plane에서나 horizontal plane에서 選手群이 非選手群에 비해 有意하게 긴 것은 Goldman⁹⁾의 報告와 같이 心臟疾患으로 因한 左心室肥大에서는 QRS vector 의 길이가 길어진다는 報告를 감안할때 心臟疾患이든 運動選手이든 左心室肥大時에서는 QRS vector 의 길이가 길어짐을 알 수 있으며, 이것으로 選手群과 心臟疾患者를 區分하는 면에서는 앞으로 더 追究해야할 課題이나, 選手群에서 心臟의 電氣傳導의 힘이 더 큰 것을 意味함과 동시에 心臟의 收縮力이 더 強함을 알 수 있는 것으로 長期間 體力鍛鍊한 選手群과 非選手群을 比較할 수 있는 重要な 資料가 될 것으로 思料되는 바이다.

要 約

長期間 體力鍛鍊이 心電圖波高 및 心電圖 vector 에 미치는 效果를 究明하고자 10名의 運動選手群과 13名의 非運動選手群에서 rebounder 運動前後의 心電圖波高와 QRS vector 의 길이를 測定하여 分析한 結果는 다음과 같다.

心電圖波高에서

R波高는 選手群이 23.38 ± 1.14 mm 로서 非選手群의 17.91 ± 2.00 mm 에 비해 有意하게 높았고, 運動後에도 選手群이 繼續 有意하게 높았다.

S波高는 兩群 모두 運動後는 安靜時에 비해 有意하게 높았으며, T波高는 運動後 減少하였다.

P波高는 兩群 모두 運動後 增加하였으며 選手群이 다소 낮았다.

PQ分節의 波高는 選手群은 0인데 비해 非選手群은 negative 를 나타냈으며 運動後에 有意하게 減少하였다.

J點은 兩群 모두 安靜時 positive 에서 運動後 有意하게 減少하여 negative 를 나타냈고, J+0.08秒도 運動後 兩群 모두 減少하였으며 選手群이 다소 높았다. 그러므로 ST分節은 運動後 減少함을 알 수 있다.

Rv_6 와 Sv_1 의 幅은 選手群이 38.74 ± 2.71 mm 로서 非選手群의 32.82 ± 2.90 mm 에 비해 높았으며 運動後에도 選手群이 有意하게 높았다.

QRS vector 角度에서

Frontal plane 에서 選手群이 $62.7 \pm 7.3^\circ$ 로서 非選手群과 別 差異가 없었고, horizontal plane 에서는 選手

群이 $-23.5 \pm 7.2^\circ$ 로서 非選手群의 $-38.8 \pm 8.2^\circ$ 에 비해 有意하게 높았으며 運動後 兩群 모두 有意하게 높았다.

QRS vector 길이에서

Frontal plane 에서 選手群이 13.86 ± 1.44 mm 로서 非選手群의 9.62 ± 0.97 mm 에 비해 有意하게 높았으며 運動後에도 有意하게 높았다. Horizontal plane 에서도 選手群이 19.82 ± 2.10 mm 로서 非選手群의 16.90 ± 1.39 mm 에 비해 有意하게 높았고 運動後에도 選手群이 有意하게 높았다.

以上을 綜合해 보면 選手群의 R波高가 非選手群에 비해 運動後 繼續 有意하게 높았고, Rv_6 와 Sv_1 波高의 幅이 38.74 mm 程度로 左心室이 肥大함을 알 수 있으며, 選手群의 PQ分節波高와 ST分節波高가 非選手群에 비해 높고 運動後에 兩群 모두 減少한 點은 注目할 만한 事實이며, 특히 選手群의 QRS vector 의 길이가 모두 非選手群에 비해 有意하게 긴點等으로 左心室機能이 優秀한 스포츠心臟임을 알 수 있으며, 選手群과 非選手群을 評價할 수 있는 重要な 指標가 될 것으로 思料되는 바이다.

參 考 文 獻

- 1) Shephard, R.J.: *Physiology and biochemistry of exercise*, New York, Praeger, 1982, pp.177-244.
- 2) Clarke, D.H.: *Exercise physiology*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975, pp.174-275.
- 3) Goldman, M.J.: *Principles of clinical electrocardiography*, 10th Ed., Los Altos, Lange, 1979, pp.1-415.
- 4) 黃樹寬, 許垠: Treadmill 運動負荷後 恢復期에 있어서 心肺機能의 變化. 韓國體育學會誌, 19:187-199, 1980.
- 5) Baron, D.W., Ilesley, C., Sheiban, I., Poole-Wilson, P.A. and Rickards, A.F.: R wave amplitude during exercise relation to left ventricular function and coronary artery. Br. Heart J., 44:512-517, 1980.
- 6) Fox, K.M., Selwyn, A.P. and Shillingford, J. P.: Projection of electrocardiographic signs in praecordial maps after exercise in patients with ischaemic heart disease. Br. Heart J., 42:416-421, 1979.

- 7) Kitchin, A.H. and Neilson, J.M.: *The T wave of the electrocardiogram during and after exercise in normal subjects. Cardiovascular Res.*, 6:143-149, 1972.
- 8) Zoneraich, S., Rhee, J.J., Zoneraich, O., Jordan, D. and Appel, J.: *Assessment of cardiac function in marathon runners by graphic non-invasive techniques. Ann. N.Y., Acad. Sci.*, 301: 900-917, 1977.
- 9) Katz, A.M.: *Physiology of the heart*, New York, Raven Press, 1977, pp. 1-433.
- 10) Morganroth, J. and Maron, B.J.: *The athletes' heart syndrome. Ann. N.Y., Acad. Sci.*, 301: 931-939, 1977.
- 11) Holmgren, A. and Ovenfors, C.O.: *Heart volume at rest and during muscular work in the supine and in the sitting position. Acta. Med. Scand.*, 167:267-277, 1960.
- 12) Burch, G.E. and Winsor, A.: *Primer of electrocardiography*, Philadelphia, Lea & Febiger, 1972, pp. 127-130.
- 13) Dreifus, L.S. and Pick, A.: *clinical correlative study of the electrocardiogram in electrolyte imbalance. Circulation*, 14:815-825, 1956.
- 14) Katzeff, I.E. and Edwards, H.: *Exercise stress testing and an electromechanical S wave of the electrocardiogram. S. Afr. Med. J.*, 49:1088-1098, 1974.
- 15) Jengo, J.A., Oren, V., Conant, R., Brizendine, M., Nelson, T., Uszler, J.M. and Mena, I.: *Effects of maximal exercise stress on left ventricular function in patients with coronary artery disease using first-pass radionuclide angiocardiology. Circulation*, 59: 60-69, 1979.
- 16) Newman, G.F., Rerych, S.K., Upton, M.T., Sabiston, D.C. and Jones, R.H.: *Comparison of electrocardiographic and left ventricular functional changes during exercise. Circulation*, 62: 1204-1211, 1980.
- 17) DuBois, D. and DuBois, E.F.: *Clinical calorimetry. Formula to estimate surface area if height and weight be known. Arch. Int. Med.*, 17:863-871, 1916.
- 18) 金雄烈, 黃樹寬, 朱永恩: 長距離選手의 運動負荷後 心電圖 時間間隔 및 波高의 變化. 스포츠科學 研究報告書, 20:79-101, 1983.
- 19) Tepperman, J. and Pearlman, D.: *Effects of exercise and anemia on coronary arteries of small animals as revealed by the corrosion cast technique. Circ. Res.*, 9:576-584, 1961.
- 20) Rasmussen, R.L., Bell, R.D. and Spencer, G. D.: *Prepubertal exercise and myocardial collateral circulation. In: Exercise Physiology*, Landry, F. and Orban, W.A.R. (Eds), Miami, Symposia Specialists, 1978, pp. 201-212.
- 21) Scheuer, J. and Stezoski, S.W.: *Effect of physical training on the metabolic, mechanical and metabolic response of the rat heart to hypoxia. Circ. Res.*, 30:418-429, 1972.
- 22) Lloyd-Thomas, H.G.: *The effect of exercise on the electrocardiogram in healthy subjects. Br. Heart J.*, 23:260-270, 1961.
- 23) Kentala, E., Heikkila, J. and Pyorala, K.: *Variation of QRS amplitude in exercise. ECG as an index predicting result of physical training in patients with coronary heart disease. Acta. Med. Scand.*, 194:81-86, 1973.
- 24) Beckner, G.L. and Winsor, T.: *Cardiovascular adaptations to prolonged physical exercise. Circulation*, 9:835-846, 1954.
- 25) Littman, D.: *Textbook of electrocardiography*, New York, Harper & Row, 1972, pp. 180-320.
- 26) Coester, N., Elliott, J.C. and Luft, U.C.: *Plasma electrolytes, pH, and ECG during and after exhaustive exercise. J. Appl. Physiol.*, 34: 677-682, 1973.
- 27) Feil, H. and Siegel, M.L.: *Electrocardiographic changes during attacks of angina pectoris. Am. J. Med. Sci.*, 175-255-260, 1928.
- 28) Goldhammer, S. and Scherf, D.: *Elektrokardiographische untersuchungen bei Kranken mit Angina pectoris. Zeit. Klin. Med.*, 122:134-151, 1932.
- 29) Gerson, M.C., Morris, S.N. and Mchenry, P. L.: *Relation of exercise induced physiologic S-T segment depression to R wave amplitude in*

- normal subjects. Am. J. Cardiol., 46:778-782, 1980.*
- 30) Mason, R.E., Likar, I., Biern, R.O. and Ross, R.S.: *Correlation of graded exercise electrocardiographic response with clinical and coronary cinearteriographic findings. In: Measurement in exercise electrocardiography, Blackburn, H. and Thomas, C. C. (Eds), 1969, pp. 445-455.*
- 31) Mirvis, D.M.: *Body surface distributioa of exercise induced QRS changes in normal subjects. Am. J. Cardiol., 48:988-996, 1980.*
- 32) Bonoris, P.E., Greenberg, P.S., Christison G.W., Castellanet, M.J. and Ellestad, M.H.: *Evaluation of R wave amplitude changes versus ST segment depression in stress testing. Cirdulation, 57:904-913, 1978.*