

高等學校 運動選手의 心肺機能, 筋電圖 및 血液成分의 特性

慶北大學校 醫科大學 生理學教室

朱永恩 · 李元晶 · 朴載植 · 金亨鎮 · 黃樹寬

= Abstract =

Physiological Characteristics of Cardiopulmonary Function, Electromyogram and Blood Chemistry in Athletic High School Students

Young-Eun Choo, Won-Jung Lee, Jae-Sik Park, Hyeong-Jin Kim and Soo-Kwan Hwang

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

In an effort to elucidate the physiological characteristics in cardiopulmonary function, electromyogram(EMG), and blood chemistry in athletic high school students, an analysis of electrocardiogram(ECG) and EMG, pulmonary function test, venous blood gas analysis(P_{vO_2} and P_{vCO_2}), and measurement of heart rate, blood pressure, respiratory rate, blood glucose and blood lactate were made for 16 to 19 year-old high school students who were divided into athletic (n=19) and non-athletic (n=20) group.

The results obtained are summarized as follows.

- 1) ECG intervals in athletes were longer than in non-athletes, and the difference was significant in R-R, Q-T and T-P intervals. Resting heart rate in athletes was 56.3/min showing a bradycardia compared with 79.8/min in non-athletes. Amplitudes of R and T waves in lead V_5 were significantly higher than in non-athletes.
- 2) Pulmonary function parameters in athletes showed higher values than in non-athletes. Parameters which showed significant differences were FEV 0.5, PEF, FEF 25%, PIF and FEF 200~1,200 ml.
- 3) Heart rate, blood pressure, and respiratory rate after exercise were significantly elevated from resting values. Heart rate and respiratory rate showed greater increase in non-athletes, while blood pressure showed greater increase in athletes.
- 4) P_{vO_2} was lowered and P_{vCO_2} was elevated after exercise, and there was no significant difference between two groups.
- 5) Blood glucose and lactate levels were elevated after exercise. The difference was significant in blood lactate, and was greater in non-athletes.
- 6) EMG amplitude was steadily increased with increasing load of exercise, and the increase was greater in athletes than in non-athletes.

緒 論

運動을 하는 등안에는 筋肉活動으로 因하여 代謝全

(이 論文은 峨山社會福祉事業財團의 1982年度 研究 費支援에 의하여 研究되었음)

般이 充進되며^{1~2)}, 이때 筋肉活動의 energy 源으로서 葡萄糖의 供給과 이것의 酸化를 爲한 酸素의 圓滑한 供給이 必要하게 된다³⁾. 酸素의 供給을 增加시키기 위해서는 呼吸과 循環機能의 充進이 必要하게 되며, 酸素가 不足한 狀態에서 運動을 繼續할 境遇에는 乳酸의 生成이 增加된다⁴⁾. 따라서 運動으로 因한 身體의 生理

學的인 變化中에 心脈管系 및 呼吸系의 機能과 血中葡萄糖 및 乳酸濃度, 그리고 血液가스의 變化樣相을 究明하는 것이 運動生理學의 側面에서 중요한 意味를 갖는다.

한편 長期間 體力鍛鍊을 쌓은 運動選手에 있어서 이들 機能이 어떻게 變化되며, 이들의 變化가 非選手와 比較하여 어떤 差異가 있는지를 比較分析하는 것도 또한 중요한 意義를 갖게 되는 것이다.

運動選手에 있어 心脈管系, 呼吸系 및 代謝機能의 變化에 關해서는 많은 研究가 現今에 이르기까지 多樣하게 이루어져 있으나 더욱 깊이 있으면서도 關聯性 있는 研究와 運動選手의 生理學的인 特性을 包括적이고 總體의으로 다루어진 研究가 時急히 要請되고 있는 實情이다.

특히 成長이 旺盛한 靑少年期에 어떠한 變化가 나타날 것인지를 밝히는 것이 또한 重要하며 關心을 끄는 課題이다. 이러한 觀點에서 本研究은 身體의 成長이 가장 旺盛한 高等學生中 運動選手를 對象으로 하여 主要 生理學的 側面인 心肺機能과 血液成分 및 筋電圖上의 變化樣相을 非選手인 對照群과 比較觀察함으로써 이들의 生理學的 發達過程을 밝히고, 나아가서 運動選手의 生理的 特性을 究明함을 目的으로 한다.

體力鍛鍊이 心脈管系에 미치는 效果는 徐脈⁵⁾, 驅血量增加²⁾ 및 血壓의 變化⁶⁾ 등을 들 수 있으며, 특히 運動選手의 心臟은 左心室肥大⁷⁾, 房室傳導時間의 延長, bundle branch blocks 등⁸⁾을 들 수 있으며 이로 인하여 心電圖上에 있어서 心電圖時間間隔(time interval) 및 波高(amplitude)에 變化가 招來될 것이다. 心臟疾患時에도 위와같은 心電圖上의 特徵이 나타나는데 이때에 QRS時間間隔은 0.1秒以上이 되고, leadV₅와 V₆의 R波高는 27 mm 가 되며, Rv₅와 Sv₁의 합이 35 mm 以上이 된다^{9~13)}. 그러나 運動選手의 心臟機能은 더 強力하므로 心電圖의 變化 樣相에서도 差異가 있을 것이 豫想되는 바이다.

體力鍛鍊이 呼吸系의 機能에 미치는 效果는 클 것으로 본다. 卽 肺機能은 肺의 換氣, gas의 擴散 및 肺循環機能을 말하며^{11~12)}, 이 肺機能檢査는 肺疾患의 診斷과 豫後判定에 重要的 役割을 하고 있음은 周知의 事實이다. 卽 閉鎖性肺疾患(obstructive lung disease)에서는 肺活量, 秒時肺活量, 呼氣性氣速 및 最大換氣機能 등이 減少하며, 反面에 制限性肺疾患(restrictive lung disease)에서는 肺活量은 顯著히 減少하나 秒時肺活量에는 變化가 없는 것¹³⁾ 등이다. 運動選手의 肺機能檢査에 對한 報告들을 보면 運動選手는 非選手에

比해 肺活量은 높으나 最大換氣量은 同一하다는 報告^{14~16)}와 體力鍛鍊이 肺活量에는 別變化를 招來하지 않는다^{17~18)}는 등 서로 相反된 報告가 있는가 하면, 지금히 斷片的인 肺機能檢査에 對한 報告들로서, 이것으로 全體 肺機能을 理解하기에는 무리가 따를 것으로 본다 이에 좀 더 具體적이고 綜合的인 肺機能을 觀察해 봄이 必要的인 것이다.

運動時 體內의 生化學的 反應에 影響을 미치는 要因들 中에 重要的 것은 血液가스의 變化를 들 수 있다. 運動中에 靜脈血中酸素分壓(PvO₂)은 減少하고 靜脈血中炭酸가스分壓(PvCO₂)은 增加하는데¹⁹⁾ 이는 體內의 代謝를 變化시키는 등 生理的으로 重要的 意味를 나타내고 있으므로 이에 對한 研究가 要求되는 바이다.

運動을 長時間 繼續하면 筋肉이나 肝에 貯藏된 glycogen이 枯竭되어 glucose生成이 그 利用에 따르지 못하면 血中 glucose濃度가 減少하여 結局은 運動能力이 低下된다²⁰⁾. 그러므로 運動中에 血中 glucose濃度を 一定하게 維持하는 것이 重要的 意味를 가지고 있으므로 運動時에 血中 glucose濃度가 어떤 樣相으로 變化하며 이 變化가 選手와 非選手사이에는 어떤 差異가 있는지를 究明함이 重要하다고 본다. 한편 乳酸은 glucose의 無酸素代謝에 의해서 生成되는 것²¹⁾으로, 이의 蓄積은 筋活動의 限界要因과 疲勞의 化學的 原因^{22,23)}을 評價하는 重要的 指標가 되는 것으로 運動後 血中乳酸濃度의 變化樣相을 研究함이 必要하다.

筋電圖²⁴⁾는 筋에 나타난 電氣的 變化를 記錄한 것으로 이는 筋의 神經支配樣相을 間接的으로 나타내며²⁵⁾, 筋의 收縮程度 卽 筋力을 評價하는 指標가 된다²⁶⁾고 한다. 특히 筋電圖振幅은 筋力과 거의 比例하며, 이는 運動에 動員된 運動單位(motor unit)의 數에 比例한다^{27,28)}고 하므로 筋電圖振幅을 통해서 筋力을 推定할 수 있고 나아가서 트레이닝의 效果를 究明할 수 있다고 본다.

以上과 같은 觀點에서 本研究에서는 大邱市內 高等學校 運動選手를 對象으로 하여 心脈管系(心電圖, 心搏數, 血壓), 呼吸系(肺機能, 呼吸數), 筋肉(筋電圖) 및 血液成分(血液가스, 血中 glucose 및 乳酸濃度)에 關한 綜合的인 檢査를 實施하고 그 成績을 同一한 年齡의 非選手의 그것과 比較 分析해 본 結果, 體力을 鍛鍊한 選手들의 生理的 特性을 究明하는 등 興味있는 結果를 얻었기에 報告하는 바이다.

研究對象 및 方法

研究對象中 選手群은 16~19歲의 健康한 大邱市內 男

子高等學校 排球選手 8名과 陸上選手 11名을 選定하였고, 對照群은 同一年齡의 運動經歷이 없는 男子高等學生 20名을 任意로 選定하였다.

測定種目は 心電圖, 肺機能, 心搏數, 血壓, 呼吸數, 血液가스, 血中 glucose 濃度, 血中 乳酸濃度 및 前腕筋群의 筋電圖로 하였다.

心電圖描記는 Fukuta 會社製 FJC-7110 Electrocardiograph 를 使用하여 標準四肢誘導法(standard limb lead) 中 lead II와 單極胸部誘導法(unipolar precordial lead) 中 V_1 및 V_6 를 描記하였으며, lead II는 心電圖 時間間隔(time interval)을 測定하는데 利用하였고, V_1 및 V_6 는 心電圖 波高(amplitude)를 測定하는데 利用하였다. 여러 lead 中에 lead II와 V_1 및 V_6 를 定한 것은 選手群과 非選手群의 心電圖所見의 뚜렷한 差異를 알 수 있기 때문이다. 그리고 心電圖 判讀에서 心電圖時間間隔은 R-R 間隔, P-R 間隔, QRS 間隔 및 T-P 間隔을 定했으며, 心電圖波高는 P波高, R波高, S波高 및 T波高를 算定하였다.

肺機能 測定은 Cavitron 會社製인 SC-20A Spirometric Computer 를 使用하여 努力性 肺活量法^{53,54}(forced vital capacity maneuver)에 의해서 測定하였다. 여기서 얻은 肺機能指數는 努力性 肺活量(forced vital capacity, FVC), 努力性 呼氣量 0.5秒值(forced expiratory volume for 0.5second, FEV 0.5) 및 0.5秒率(FEV 0.5%), 1秒值(FEV 1) 및 1秒率(FEV 1%), 3秒值(FEV 3) 및 3秒率(FEV 3%), 最大呼氣流速(peak expiratory flow PEF), 努力性呼氣流速 200~1200 ml (forced expiratory flow 200~1200 ml), 20~75%值(FEF 25~75%) 75~85%值(FEF 75~85%), 25%值(FEF 25%), 50%值(FEF 50%), 75%值(FEF 75%)와 最大吸氣流速(peak inspiratory flow, PIF)의 15種이다.

心搏數는 心電圖上의 R-R 間隔으로 算定하였고 血壓은 聽診法으로 했으며, 呼吸數는 胸廓運動을 目測하였다.

血液가스中에 靜脈血의 酸素分壓(P_{vO_2}) 및 炭酸가스分壓(P_{vCO_2})의 測定은 Corning 會社製 Model 175 自動血液가스 分析器를 利用하였다.

血中 glucose 濃度는 日本 日水製藥會社製 V-Glucose 를 使用한 酵素法으로 定量하였고, 血中乳酸濃度는 Barker 및 Summerson 法⁵⁵으로 定量하였다.

筋電圖測定은 Narco-Bio System 會社製 MK-IVP Physiograph 와 Narcotrace TM Oscilloscope 를 使用하여 前腕筋群의 筋電圖를 描記하여 그 振幅을 測定하

였으며, 이때 握力計를 使用하여 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg 및 50 kg 으로 負荷를 增加하였다.

運動負荷는 Quinton Instrument 會社製인 treadmill 를 利用하여 速度 5MPH, 傾斜 15%로, 3分間 走行토록 하였다.

成 績

研究對象인 運動選手와 非選手들의 身體의 特性은 Table 1에서 보는 바와 같이 選手群의 身長 및 體重은 非選手群에 비해 다소 높았으며 年齡은 選手群이 17.2 歲로 非選手群의 17.9歲에 비해 다소 낮았다.

選手群과 非選手群의 心電圖 時間間隔은 Table 2 및 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 卽 R-R 間隔은 選手群이 1.066 ± 0.053 秒로서 非選手群의 0.781 ± 0.038 秒에 비해 有意하게 ($p < 0.001$) 길었다. 따라서 心搏數도 選手群이 56.3 ± 2.6 回로서 非選手群의 79.8 ± 3.5 회에 비해 有意하게 ($p < 0.001$) 낮았다. Q-T 間隔은 選手群이 0.418 ± 0.013 秒로서 非選手群의 0.371 ± 0.008 秒에 비해 有意하게 ($p < 0.01$) 길었고, T-P 間隔도 選手群이 0.489 ± 0.043 秒로서 非選手群의 0.254 ± 0.036 秒에 비해 有意하게 ($p < 0.001$) 길었다. 이에 反해 P-R 間隔 및 QRS 間隔은 兩群 사이에 別 差異가 없었다.

兩群의 心電圖波高는 Table 3 및 Fig. 2에서 보는 바와 같이 R波高는 選手群이 28.96 ± 2.35 mm 로서 非選手群의 19.76 ± 1.16 mm 에 비해 有意하게 ($p < 0.001$) 높았고, T波高도 選手群이 8.44 ± 0.82 mm 로서 非選手群의 6.14 ± 0.39 mm 에 비해 有意하게 ($p < 0.05$) 높았으며, R_{vs} 波高와 S_{v1} 波高의 合도 選手群이 45.27 ± 3.16 mm 로서 非選手群의 32.97 ± 1.80 에 비해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다. P波高와 S波高는 兩群 사이에 別 差異가 없었다.

肺機能의 成績中 兩群의 努力性呼氣量은 Table 4 및 Fig. 3圖에서 보는 바와 같이 選手群이 全般的으로 非選手群에 비해 높은 값을 나타내었다. 이 中에 FVC 는 選手群이 4.49 ± 0.11 L 로서 非選手群의 4.34 ± 0.14 L 에 비해 다소 높았으나 有意한 差異는 아닌데 비해 FEV 0.5秒值는 選手群이 3.02 ± 0.10 L 로서 非選手群의 2.68 ± 0.11 L 에 비해 有意하게 ($p < 0.05$) 높았으며, 이로 因해 FEV 0.5%는 選手群이 67.0 ± 2.5 로서 非選手群의 62.0 ± 1.9 에 비해 높았다.

한편 努力性肺流速은 Table 5 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 全般的으로 選手群이 높았으며, 特히 PEF, FEF 25%, PIF 및 FEF 200~1200 ml 値는 有意하게

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Age(yr)	Height(cm)	Body weight(kg)	Career(yr)	No. of subjects
Non-athletes	17.9	167.9	60.4	—	20
	0.07	1.02	1.57		
Athletes	17.2	173.0	63.4	3.2	19
	0.09	1.39	1.38	0.50	

Values are means and standard errors.

Table 2. Electrocardiographic time intervals in non-athletic groups

	R-R	(Heart rate)	P-R	QRS	Q-T	T-P	N.o of subjects
Non-athletes	0.781	(79.8)	0.155	0.081	0.371	0.254	19
	0.038	(3.5)	0.005	0.003	0.008	0.036	
Athletes	1.066***	(56.3)***	0.159	0.083	0.418**	0.489***	14
	0.053	(2.6)	0.005	0.007	0.013	0.043	

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes: **p<0.01, ***p<0.001.

Table 3. Electrocardiographic amplitudes in non-athletic and athletic groups

	Pv ₅	Rv ₅	Sv ₁	Tv ₅	Rv ₅ +Sv ₁	No. of subjects
Non-athletes	0.83	19.76	13.21	6.14	32.97	19
	0.13	1.16	1.26	0.39	1.80	
Athletes	0.61	28.96***	16.31	8.44*	45.27**	14
	0.07	2.35	2.19	0.82	3.16	

Values are means and standard errors.

Significantly different from non-athletes: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

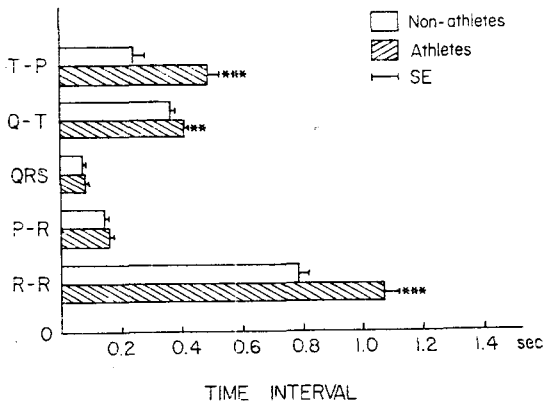


Fig. 1. Electrocardiographic time intervals in non-athletic and athletic groups.

Significantly different from non-athletes: **p<0.01, ***p<0.001.

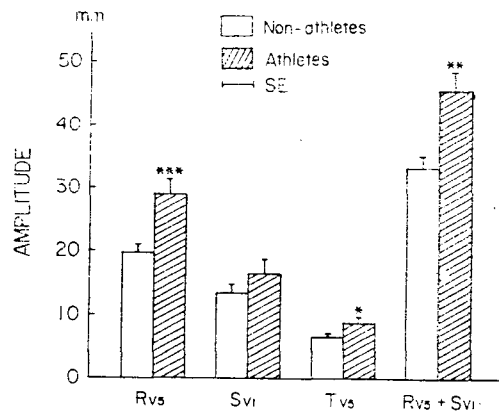


Fig. 2. Electrocardiographic amplitudes in non-athletic and athletic groups.

Significantly different from non-athletes: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Table 4. Forced expiratory volumes in non-athletic and athletic groups L

	FVC	FEV 0.5(FEV 0.5%)	FEV1(FEV 1%)	FEV3(FEV 3%)	No. of subjects
Non-athletes	4.34	2.68(62.0)	3.75(86.0)	4.34(100.0)	16
	0.14	0.11(1.9)	0.14(1.8)	0.14(0.2)	
Athletes	4.49	3.02*(67.0)	4.08(90.0)	4.49(100.0)	15
	0.11	0.10(2.5)	0.10(2.1)	0.11(0.0)	

Values are means and standard errors.

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

FVC: forced vital capacity.

EEV 0.5: forced expiratory volume for 0.5 second.

$$FEV\ 0.5\% = \frac{FEV\ 0.5}{FVC} \times 100.$$

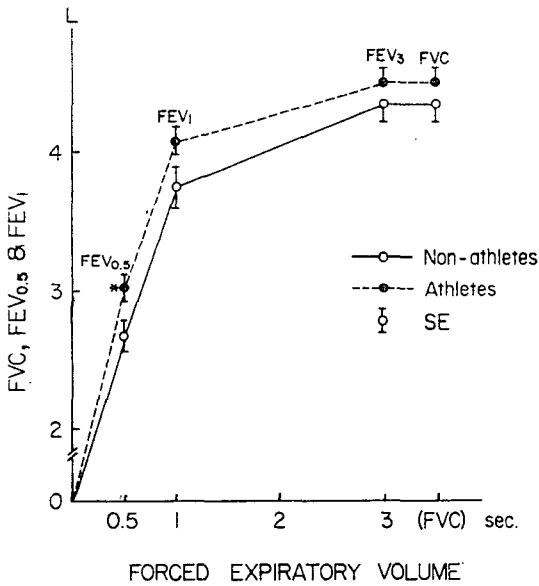


Fig. 3. Forced expiratory volumes in non-athletic and athletic groups.

Significantly different from non-athletes:

* $p < 0.05$.

FVC: forced vital capacity.

FEV 0.5: forced expiratory volume for 0.5 second.

($p < 0.01$) 높았다. PEF는 選手群이 8.67 ± 0.38 L/sec로서 非選手群의 6.61 ± 0.25 L/sec에 비해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았고, FEF 25%値는 選手群이 7.46 ± 0.33 L/sec로 非選手群의 6.11 ± 0.26 L/sec에 비해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았으며, PIF도 選手群이 7.41 ± 0.47 L/sec로서 非選手群의 3.91 ± 0.31 L/sec에 비해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다. 그리고 FEF 200~1200 ml值도 選手群이 7.72 ± 0.33 L/sec로서 非選手群의 $5.71 \pm$

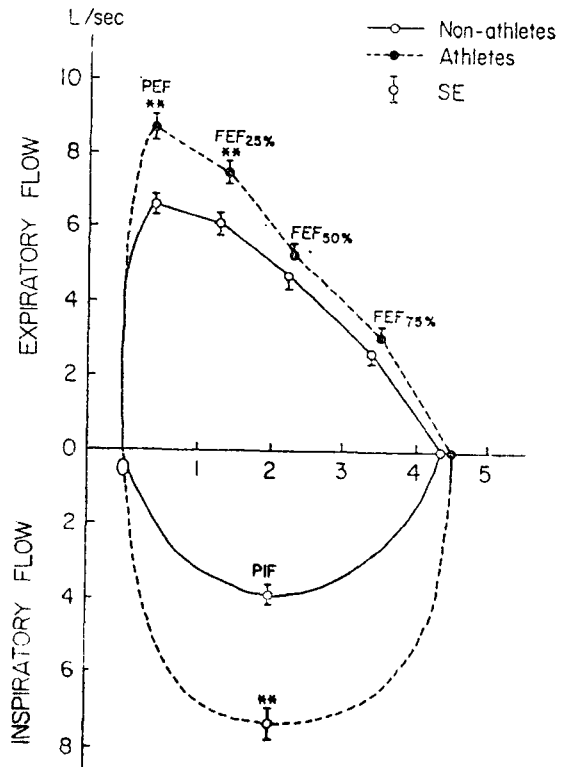


Fig. 4. Expiratory and inspiratory flow rates during FVC maneuver in non-athletic and athletic groups.

Significantly different from non-athletes:

** $p < 0.01$.

PEF: peak expiratory flow.

FEF 25%: forced expiratory flow 25%.

PIF: peak inspiratory flow.

0.24 L/sec에 비해 有意하게 ($p < 0.01$) 높았다.

Table 6 및 Fig. 5는 選手群과 非選手群의 心搏數, 血壓 및 呼吸數의 變化樣相을 나타낸 것으로서 非選手

Table 5. Expiratory and inspiratory flow rates during FVCmaneuver in non-athletic and athletic groups L/sec

	PEF	FEF _{25%}	FEF _{50%}	FEF _{75%}	PIF	FEF _{200~1200ml}	FEF _{25~75%}	FEF _{65~85%}	No. of subjects
Non-athletes	6.61	6.11	4.71	2.62	3.91	5.71	4.16	1.95	16
	0.25	0.26	0.39	0.23	0.31	0.24	0.29	0.17	
Athletes	8.67**	7.46**	5.23	3.01	7.41*	7.72**	4.73	2.51	15
	0.38	0.33	0.34	0.32	0.47	0.33	0.33	0.28	

Values are means and standard errors.

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

PEF: peak expiratory flow.

FEF 25%: forced expiratory flow 25%.

PIF: peak inspiratory flow.

Table 6. Changes of heart rate, blood pressure and respiratory rate after treadmill exercise in non-athletic and athletic groups

	Heart rate(/min)		Blood pressure(mmHg)		Respiratory rate(/min)		No. of subjects
	Rest	Exercise	Rest	Exercise	Rest	Exercise	
Non-athletes	79.8	152.1***	116.2	175.3***	19.0	34.8***	20
	3.47	4.07	3.57	6.29	0.99	2.25	
Athletes	56.9***	118.2*****	119.9	198.3*****	17.8	23.9***	19
	2.55	7.21	2.35	4.25	0.48	2.00	

Values are means and standard errors.

Significantly different from the rest: **p<0.01, ***p<0.001.

Significantly different from non-athletes: **p<0.001, ***p<0.001.

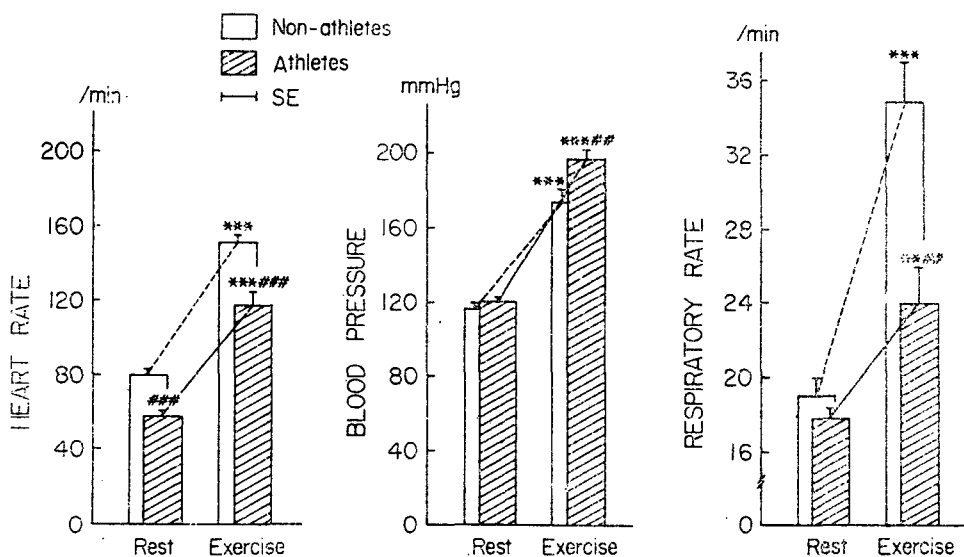


Fig. 5. Changes of heart rate, blood pressure and respiratory rate after treadmill exercise in non-athletic and athletic groups.

Significantly different from the rest: **p<0.01, ***p<0.001.

Significantly different from non-athletes: **p<0.01, ***p<0.001.

Table 7. Changes of Pvo₂ and Pvc_o₂ after treadmill exercise in non-athletic and athletic groups mmHg

	Pvo ₂		Pvc _o ₂		No. of subjects
	Rest	Exercise	Rest	Exercise	
Non-athletes	20.83	15.32*	52.23	64.64**	20
	1.22	1.94	0.80	1.63	
Athletes	21.14	15.73	53.02	59.63*	19
	1.26	2.34	0.87	2.46	

Values are means and standard errors.
Significantly different from the rest: *p<0.05, **p<0.01.

Table 8. Changes of blood glucose and blood lactate concentration after treadmill exercise in non-athletic and athletic groups mg/dl

	Blood glucose		Blood lactate		No. of subjects
	Rest	Exercise	Rest	Exercise	
Non-athletes	90.21	94.72	16.52	75.14***	20
	1.76	1.48	1.88	3.39	
Athletes	84.04	88.41	11.34	64.93***	19
	1.39	3.17	1.21	4.78	

Values are means and standard errors.
Significantly different from the rest: ***p<0.001.
Significantly different from non-athletes: *p<0.05.

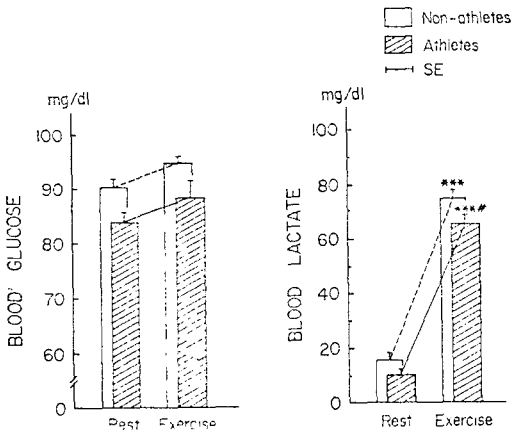


Fig. 6. Changes of Pvo₂ and Pvc_o₂ after treadmill exercise in non-athletic and athletic groups. Significantly different from the rest: *p<0.05, **p<0.01.

群의 心搏數는 安靜時 79.8±3.47회에서 運動後 152.1±4.07회로 有意하게 (p<0.001) 增加했으며 選手群에서도 安靜時 56.9±2.55회에서 運動後 118.2±7.21회

로 有意하게 (p<0.001) 增加하였다. 再群을 比較하면 選手群이 安靜時 및 運動後心搏數가 非選手群에 比較 有意하게 (p<0.001) 낮았다.

血壓은 非選手群이 安靜時 116.2±3.57 mmHg에서 運動後 175.3±6.29 mmHg로 有意하게 (p<0.001) 增加하였고, 選手群에서도 安靜時 119.9±2.35 mmHg에서 運動後 198.3±4.25 mmHg로 有意하게 (p<0.001) 增加하였다. 兩群을 比較하면 安靜時는 別差異가 없었으나 運動後는 選手群의 血壓이 非選手群에 比較 有意하게 (p<0.01) 높은 값을 나타내었다.

呼吸數는 非選手群이 安靜時 19.0±0.99회에서 運動後 34.8±2.25회로 有意하게 (p<0.001) 增加하였고, 選手群에서도 安靜時 17.8±0.48회에서 運動後 23.9±2.00회로 有意하게 (p<0.01) 增加하였으며, 選手群의 呼吸數가 安靜時에는 非選手群에 比較 別差異가 없었으나 運動後에는 有意하게 (p<0.01) 낮았다.

Table 7 및 Fig. 6은 兩群에 있어서 運動前後에 靜脈血의 酸素分壓(Pvo₂) 및 炭酸가스分壓(Pvc_o₂)의 變化를 나타낸 것으로, 먼저 Pvo₂는 非選手群이 安靜時 20.83±1.22 mmHg에서 運動後 15.32±1.94mmHg

Table 9. Electromyographic voltages in forearm muscles of dominant side in non-athletic and athletic groups μV

	Work load					No. of subjects
	10	20	30	40	50 kg	
Non-athletes	211.35	312.35*	398.47**	512.00***	640.25***	8
	19.79	49.06	60.17	49.58	50.17	
Athletes	336.22**	817.62***	1007.37****	1475.25*****	2422.53*****	10
	34.89	121.30	124.74	103.83	253.00	

Values are means and standard errors.

Significantly different from the 10 kg: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Significantly different from non-athletes: ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

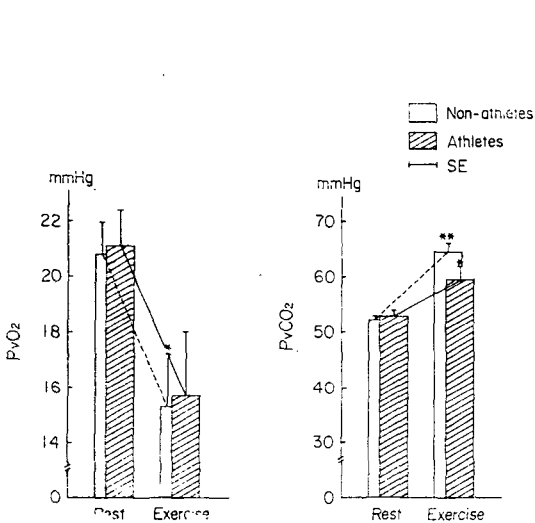


Fig. 7. Changes of blood glucose and blood lactate concentration after treadmill exercise in non-athletic and athletic groups. Significantly different from the rest:

*** $p < 0.001$.

Significantly different from non-athletes:

* $p < 0.05$.

로 有意하게 ($p < 0.05$) 減少했으며, 選手群은 安靜時 21.14 ± 1.26 mmHg에서 運動後 15.73 ± 2.34 mmHg로 減少했으나 有意한 差異는 아니었다. $PvCO_2$ 는 非選手群이 安靜時 52.23 ± 0.80 mmHg에서 運動後 64.64 ± 1.63 mmHg로 有意하게 ($p < 0.01$) 增加되었으며, 選手群에서 安靜時 53.02 ± 0.87 mmHg에서 運動後 59.63 ± 2.46 mmHg로 有意하게 ($p < 0.05$) 增加되었다.

運動前後 血中 glucose 濃도와 血中乳酸濃度の 變化樣相은 Table 8 및 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 卽 血中 glucose 濃度は 非選手群이 安靜時 90.21 ± 1.76 mg/dl에서 運動後 94.72 ± 1.48 mg/dl로 다소 增加했으

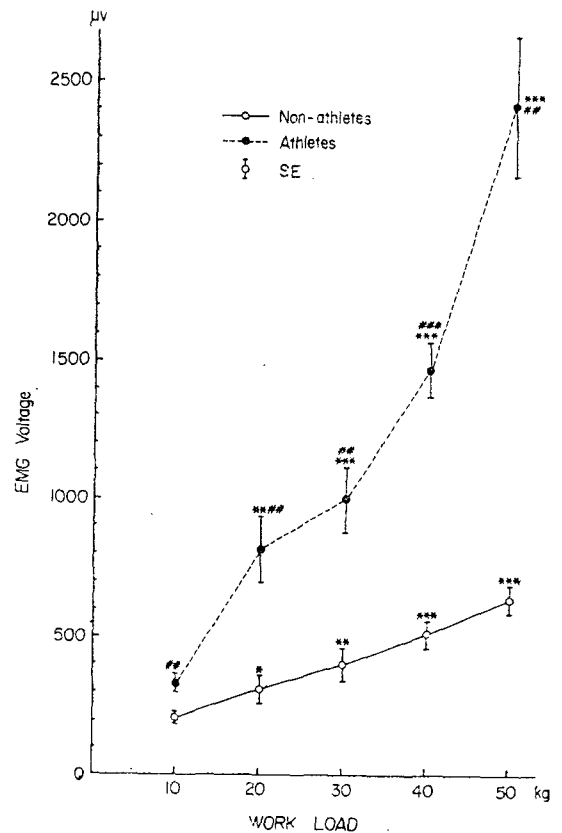


Fig. 8. Electromyographic voltage in forearm muscles of dominant side in non-athletic and athletic groups.

Significantly different from the 10 kg:

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Significantly different from non-athletes:

** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

며, 選手群에서 安靜時 84.04 ± 1.39 mg/dl에서 運動後 88.41 ± 3.17 mg/dl로 增加했으나 兩群 모두 運動前後 有意한 差異는 아니었다. 한편 血中乳酸濃度の 變化는

非選手群이 安靜時 16.52±1.88 mg/dl에서 運動後 75.14±3.39 mg/dl로 有意하게 ($p < 0.001$) 増加했으며, 選手群에서도 安靜時 11.34±1.21 mg/dl에서 運動後 64.93±4.78 mg/dl로 有意하게 ($p < 0.001$) 増加했다. 兩群을 比較하면 選手群의 運動後 血中乳酸濃度가 非選手群에 比해 有意하게 ($p < 0.05$) 낮았다.

Table 9 및 Fig. 8은 選手群과 非選手群에 있어서 運動負荷增加에 따른 前腕筋群의 筋電圖振幅의 變化를 나타낸 것으로서 非選手群은 10 kg 負荷時에 211.35±19.79 μ V에서 20 kg, 30 kg, 40 kg 및 50 kg으로 負荷가 增加함에 따라 振幅의 增加도 各各 312.35±49.06 μ V ($p < 0.05$), 398.47±60.17 μ V ($p < 0.01$), 512.00±49.58 μ V ($p < 0.001$) 및 640.25±50.17 μ V ($p < 0.001$)로 有意하게 増加하였다. 選手群에서도 10 kg 負荷時에 336.22±34.89 μ V에 比하여 20 kg, 30 kg, 40 kg 및 50 kg의 負荷增加에 따라서 振幅의 增加도 817.62±121.30 μ V ($p < 0.01$), 1007.37±124.74 μ V ($p < 0.001$), 1475.25±103.83 μ V ($p < 0.001$) 및 2422.53±253.00 μ V ($p < 0.001$)로 有意하게 増加하였다. 兩群을 比較하면 運動負荷 10~50 kg 全般에 걸쳐서 選手群의 振幅이 有意하게 높은 값을 보였다.

考 察

長期間 體力鍛鍊을 한 運動選手の 生理的인 特徵인 心肺機能과 血液成分 및 筋電圖上의 變化樣相을 綜合 考察해 보면 다음과 같다.

心電圖은 心機能의 評價에 널리 利用되고 있으며, 特히 運動生理學分野에서 長期間 訓練을 쌓은 運動選手の 心機能을 心電圖의 時間間隔과 波高를 通해서 把握하는 것은 重要한 意味를 갖는다고 본다.

먼저 心電圖時間間隔을 보면 一心週期인 R-R 間隔은 正常範圍가 0.6~1.0秒⁹⁾이며, 이것으로 心搏數를 알 수 있는 것으로 非選手群은 0.781秒(心搏數 79.8回)로서 正常範圍內에 屬하나 選手群은 1.006秒(心搏數 56.3回)로서 이 範圍보다 延長됨을 알 수 있다. 選手群에서 이와같이 徐脈을 나타낸 것은 Plas⁵⁾가 밝힌 바와 같이 長期間 體力鍛鍊을 통한 迷走神經의 亢進에 의한 것으로 보며, 소위 스포츠心臟이 되어 心筋의 收縮力이 強하므로 驅血量이 增大되기 때문에 徐脈으로서도 心搏數가 오히려 增大되는 것이다. R-R 間隔이 延長되는 것은 心室의 脫分極과 再分極時間인 Q-T 間隔²⁹⁾과 心臟의 電氣의 休止期인 分極狀態에 있는 期間인 T-P 間隔³⁰⁾이 非選手에 比해서 有意하게 긴 때문으로

나타났다. 이 중에 특히 T-P 間隔인 心臟의 [休止期]에 의해 R-R 間隔이 주로 延長되는 것을 알 수 있었다.

心電圖波高를 보면 選手群의 心電圖波高의 大部分이 非選手群보다 더 높았으며 이 中心室의 脫分極時의 波高인 Rv₆波高³¹⁾와 心室의 再分極時의 波高인 Tv₅波高³²⁾가 有意하게 높았다. 特히 R波高는 左心室機能을 評價하는 重要한 指標로서의 意義를 갖고 있는 것이다⁹⁾. 左心室肥大時에는 Rv₆波高가 27 mm 以上이 된다⁹⁾고 하므로 本研究에서도 選手群이 28.95 mm로서 左心室이 肥大된 것으로 보아야 할 것이다. 이와같이 Rv₆가 높다는 것은 心臟의 收縮力이 強함을 뜻하며 이로서 驅血量이 增大되어 心搏數가 增大되므로 心機能이 優秀함을 立證하게 되는 것이다.

肺機能檢査는 肺疾患의 診斷 및 그 豫後 判定에 重要하지만 運動選手の 肺機能의 評價에도 또한 重要視되고 있다. 努力性呼氣量을 보면 選手群이 全般的으로 非選手群에 比해 높으며 特히 努力性 呼氣量 0.5秒値 (FEV 0.5)는 有意하게 높았다. FEV 0.5秒値는 最大呼出 첫 0.5秒間의 呼出容積으로 呼出氣速을 評價하는 重要한 指標가 되는 것³²⁾으로서, 이의 增大는 바로 肺機能이 優秀함을 나타내는 것이다. 이는 또한 閉鎖性肺疾患時에 減少함¹³⁾으로 肺疾患의 診斷에도 有用한 情報를 提供해준다. 이에 反해 努力性肺活量(FVC)은 最大呼氣를 한 다음에 最短時間에 最大速度로 呼出되는 最大量을 말하며 이는 肺機能을 靜的으로 評價하는 指標³³⁾가 되는 것으로 이것은 20歲 前後에 가장 높다³⁴⁾고 하며 南等³⁷⁾과 Asmussen 및 Christensen³⁴⁾의 報告에서 運動選手群과 非選手群 사이에 別 差異가 없다는 것이 本 研究에서도 立證되었다.

努力性肺流速의 모든 指數가 選手群이 더 높았으며 特히 最大呼氣流速(PEF), 努力性呼氣流速 25%値(FEF 25%), 最大吸氣流速(PIF) 및 努力性呼氣流速 200~1200 ml 値(FEF 200~1200 ml)가 有意하게 높은 것은 選手群과 非選手群을 區別하는 重要한 資料가 될 것이다. 이 努力性肺流速은 氣道兩端의 氣壓의 差 卽 呼出時에는 肺內的 陽壓에 比例하고 氣道抵抗에 反比例한다³⁵⁾고 한다. 여기서 PEF와 PIF는 呼出努力의 影響을 크게 받는 努力依存性(effort dependent)³⁶⁾이고 FEF 25%와 FEF 200~1200 ml는 最大 呼出 初期의 平均氣速으로서 이 모두가 呼出氣速과 氣道閉鎖程度를 評價하는 指標³⁶⁾가 되는 바다. 卽 選手群은 長期間 訓練을 通해서 肺 및 胸廓의 容壓率이 增加되고 氣道抵抗이 減少되며, 橫隔膜等 呼吸筋의 發達로 胸廓의 伸縮性이 強해지므로 肺機能이 向上된 것³⁷⁾으로 思

料된다.

心搏數의 變化로 보면, 같은 運動負荷에서도 選手群의 心搏數의 增加가 非選手群의 增加에 비해 緩慢한데 이는 心臟의 豫備能力이 選手群에서 더 良好함⁶⁾을 證明해 준다.

血壓의 變動은 選手群이 運動後에 198.3 mmHg 로서 非選手群의 175.3 mmHg 에 비해 有意하게 높은 結果는 Karvovich 와 Sinning³⁹⁾의 報告와 一致되는 것으로 選手群의 心筋의 發達로 心臟收縮力이 促進되고, 이에 따라 驅血量이 增大되므로 血壓이 더 높음을 알 수 있다.

呼吸數도 心搏數의 變化와 마찬가지로 運動後 選手群의 呼吸이 非選手群에 비해 有意하게 낮은 것은 訓練의 效果를 評價하는데 또한 指針이 되는 것이다.

運動直後에 靜脈血中酸素分壓(PvO_2)이 減少하는 것은 末梢組織에 많은 酸素를 利用하기 때문에 解釋되나, 安靜時 값이 20 mmHg 程度로 正常值 40mmHg¹¹⁾에 비해 낮은 値를 보인 것은 究明하기 어려우며 앞으로 追求해야 할 課題로 생각되는 바다.

運動直後에 靜脈血中炭酸가스分壓($PvCO_2$)이 增加되는 것은 代謝가 旺盛해짐에 따라 組織內에 炭酸가스生成이 增加되기 때문이며, 이 $PvCO_2$ 의 增加는 바로 pH와 重碳酸이온(HCO_3^-) 및 鹽基過剩(base excess, BE)를 減少시키며, 이로 인해 다시 呼吸이 增大되어 CO_2 의 排出을 돕게 되고 HCO_3^- 와 BE를 增加시키게 되는 것⁴⁰⁾이다. 運動時에 CO_2 의 增加는 血色素(Hb)와 酸素의 親和力을 減少시켜 組織에 보다 많은 酸素를 供給⁴¹⁾할 수 있게 된다.

血中 glucose 濃度の 變化를 보면 運動中에 肝이나 筋肉에서 glycogenolysis가 活潑히 進行되어 運動初期에 血中 glucose 濃도가 增加되는데 이것은 glucagon 및 catecholamine 等の 分泌가 增加^{42,43)}되는 것에 起因되는 것이다. Winder 等⁴⁴⁾에 依하면 長期間 訓練을 하면 運動中에 肝이나 筋肉에서의 glycogen 利用이 遲延되며, 이것은 筋肉의 mitochondria에 依해서 脂肪酸의 酸化가 增加되어 脂肪이 energy 源으로 많이 利用되므로 glucose 利用이 遲延된다고 한다. 本研究에서도 運動後 血中 glucose 濃도가 增加되고, 選手群이 다소 낮은 것은 이와같은 機轉에 依한 것으로 解釋되는 것이다.

乳酸의 蓄積은 脂肪酸의 活動을 抑制하고⁴⁵⁾ 解糖酵素인 lactic dehydrogenase⁴⁶⁾와 phosphofructokinase⁴⁷⁾의 活動을 抑制하므로 筋의 疲勞가 오게 되는데, 長期間 訓練을 하면 乳酸의 蓄積이 減少한다는 報告들⁴⁸⁾과

같이 本研究에서 運動後 選手群의 血中乳酸濃도가 非選手群보다 有意하게 낮았다. Gleser 와 Vogel⁴⁹⁾은 最大酸素消費量의 50%以上부터는 運動의 強度에 따라 乳酸이 指數의으로 增加한다고 하며, Kaijser⁵⁰⁾은 乳酸의 增加로 pH가 減少하게 되며 낮은 pH는 細胞의 代謝를 制限하는 主要한 要因이라고 하였다. 이와같이 乳酸의 蓄積程度로 運動負荷의 強度를 알 수 있을 뿐 아니라 訓練의 效果를 究明하는데 指標가 될 것으로 思料되는 바이다.

筋電圖振幅이 運動負荷增加에 따라 有意하게 增加하고 특히 選手群의 振幅이 非選手群보다 有意하게 높은 것은 鍛鍊의 效果를 評價하는 하나의 指標가 되는 것으로 注目되는 바이다. 이것은 Lippald 等⁵¹⁾의 報告에서 振幅은 筋收縮時의 筋力과 거의 比例하므로, 運動負荷를 增加하면 振幅이 따라서 增加한다는 것과 一致하며, 또한 Cogshall 및 Bekey⁵²⁾에 依하면 筋力の 增加는 運動單位(motor unit)의 動員과 刺戟頻度の 增加에 의해서 이루어진다고 했고, 李等²⁸⁾은 運動單位에 動員되는 筋纖維의 數에 比例한다는 것으로 보아 50kg 負荷時에 運動單位의 發散頻도가 增加되고 運動單位가 가장 많이 動員된 것으로 보며, 選手群에서도 發散頻度の 增加와 運動單位의 動員이 增加되었음을 알 수 있다.

要 約

高等學校 運動選手의 心肺機能과 筋電圖 및 血液成分의 特性을 究明하고자 16~19歲의 高等學生 選手群 19名과 非選手群 20名을 對象으로 하여 實施한 本研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 心電圖時間間隔은 選手群이 길었으며 특히 R-R, Q-T 및 T-P 間隔이 有意하게 길었다. 安靜時 選手群의 心搏數는 非選手群에 비해 徐脈을 나타내었다. 心電圖波高도 選手群이 Rv_5 波高와 Tv_5 波高에서 有意하게 높았다.

2) 肺機能中에 努力性呼吸氣量指數는 選手群이 높았으며, 특히 FEV 0.5秒値가 有意하게 높았고, 努力性肺流速에서도 選手群이 높았으며 특히 PEF, FEF 25%, PIF 및 FEF 200~1200 ml 値가 有意하게 높았다.

3) 心搏數, 血壓 및 呼吸數는 運動後 有意하게 增加하였으며, 이中에 心搏數 및 呼吸數는 非選手群이 더 增加하였는데 비해 血壓은 選手群이 더 增加하였다.

4) 靜脈血의 酸素分壓(PvO_2)은 運動後 減少하였고 炭酸가스分壓($PvCO_2$)는 增加하였으며, 兩群사이에는

別 差異가 없었다.

5) 血中 glucose 濃度 및 乳酸濃度는 運動後增加하였고 특히 血中乳酸濃度가 有意하게 增加하였으며, 非選手群이 選手群에 비해 그 增加가 더 컸다.

6) 筋電圖波高가 運動負荷의 增加에 따라 繼續增加되었으며 이 中 選手群의 振幅의 增加가 非選手群에 비해 더 컸다.

參 考 文 獻

- 1) Shephard, R.J.: *Physiology and biochemistry of exercise*, New York, Praeger, 1982, pp. 1-244.
- 2) Clarke, D.H.: *Exercise physiology*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975, pp. 16-217.
- 3) Harper, H.A., Rodwell, V.W. and Mayes, P.A.: *Review of physiological chemistry*, 18th Ed., Singapore, Lange, 1981, pp. 294-383.
- 4) Karlsson, J.: *Lactate and phosphagen concentration in working muscles of man*. *Acta Physiol., Scand., Suppl.*: 358, 1971.
- 5) Plas, F.: *Electrocardiography*. In: *Basic book of sports medicine*, Lacava, G. (Ed.), Rome, International Olympic Committee, 1978, pp. 61-65.
- 6) 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.
- 7) 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*, 스포오즈科學研究報告書, 20:79-101, 1983.
- 8) 金起鎬: 스포오즈의 疾病管理와 도우핑, 大韓醫學協會誌, 25:223-228, 1982.
- 9) Goldman, M.J.: *Principles of clinical electrocardiography*, 10th Ed., Los Altos, Lange, 1979, pp. 1-415.
- 10) Chung, E.K.: *Electrocardiography*, 2nd Ed., Hagers-Town, Harper & Row, 1980.
- 11) Guyton, A.C.: *Textbook of medical physiology*, 5th Ed., Philadelphia, W.B. Saunders, 1976, pp. 516-525.
- 12) Selkurt, E.E.: *Basic physiology for the health sciences*, Boston, Little and Brown, 1975, pp. 415-420.
- 13) Harvey, A.M., John, R.J., Owens, A.H. and Ross, R.S.: *The principles and practice of medicine*, 8th Ed., New York, Appleton-Century-Crofts, 1972, pp. 397-400.
- 14) Stuart, D.H. and Collins, W.D.: *Comparison of vital capacity and maximal breathing capacity of athletes and non-athletes*. *J. Appl. Physiol.*, 14:507-509, 1959.
- 15) Gaensler, E.A.: *Clinical pulmonary physiology*. *N. Engl. J. Med.*, 252:17-19, 1955.
- 16) 金炳吉, 朴海根, 吉殷鎬, 朴喆斌, 南淑賢, 吳亨錫: *體育選手의 心肺機能檢査*, 스포오즈科學研究報告書, 1:65-70, 1964.
- 17) Ashford, J.R., Duffield, D.P. and Fay, J.W.J.: *A search for simple combinations of FEV₁ and FVC independent of age and physique in coalminers*. *Ann. Occup. Hyg.*, 4:68-81, 1961.
- 18) Cumming, G.R.: *Correlation of physical performance with laboratory measures of fitness*, Shephard, R.J., Springfield, III., C.C. Thomas, (Eds.), 1971, pp. 265-279.
- 19) Stegemann, J.: *Exercise physiologic basis of work and sport*, Chicago, Year Book Medical Publishers, Inc., 1981, pp. 90-96.
- 20) Pruett, E.D. R.: *Glucose and insulin during prolonged work stress in men living on different diets*. *J. Appl. Physiol.*, 28:199-208, 1970.
- 21) Mathews, D.K. and Fox, E.L.: *The physiological basis of physical education and athletics*, Philadelphia, Saunders, 1971, pp. 16-160.
- 22) Costill, D.L.: *Metabolic responses during distance running*. *J. Appl. Physiol.*, 28:457-464, 1970.
- 23) Davis, J.A., Pauvvodak, J., Wilmore, H., Vodak, T. and Kurtz, P.: *Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise*. *J. Appl. Physiol.*, 41:544-550, 1976.
- 24) 朝比奈一男, 中川功哉: *運動生理學*, 東京, 大修館書店, 1969, pp. 133-140.
- 25) 宮畑虎彦, 猪飼道夫, 石河利實, 高木公三郎, 松井秀治, 小林一每, 正木健雄: *身體運動의 科學*, 5th Ed., 京都, 學藝出版社, 1969, pp. 41-79.
- 26) 柳治佑, 黃樹寬, 朱永恩, 許垠: *空氣拳銃射擊訓練*

- 이 上肢筋의 筋電圖에 미치는 影響, 韓國體育學會誌, 22:167-184, 1983.
- 27) Gottlieb, G.L. and Agarwal, G.C.: *Dynamic relation between isometric muscle tension and electromyogram in man. J. Appl. Physiol.*, 30: 345-351, 1971.
- 28) 이숙자, 박경희, 강세윤, 안용팔: 정상하지근육의 작은등 단위 전위의 평균진폭 및 지속시간, 人間科學, 6:829-834, 1982.
- 29) Coester, N., Ellicott, J.C. and Luft, U.C.: *Plasma electrolytes, pH, and ECG during and after exhaustive exercise. J. Appl. Physiol.*, 34:677-682, 1973.
- 30) Burch, G.E. and Wirsor, A.: *Primer of electrocardiography, Philadelphia, Lea & Febiger, 1972, pp.127-130.*
- 31) Morganroth, J. and Maron, B.J.: *The athlete's heart syndrome. Ann. N.Y., Acad. Sci.*, 301: 931-939, 1977.
- 32) 朴喆斌, 洪礎基: 運動選手의 心肺機能 및 運動代謝, 스포오즈科學研究報告書, 1:51-64, 1964.
- 33) 任百仁: 韓國人의 肺活量 및 最大換氣量에 관한 研究, 스포오즈科學研究報告書, 2:53-67, 1965.
- 34) Asmussen, E. and Christensen, H.: *Die Mittelkapazität der Lungen bei erhöhten O₂-Bedarf. Skand. Arch. Physiol.*, 82:201-211, 1939.
- 35) Altose, M.D.: *The physiological basis of pulmonary function testing. Clinical Symposia, CIBA*, 31:3-39, 1979.
- 36) Hyatt, R.E., Schilder, D.P. and Fry, D.L.: *Relationship between maximal expiratory flow and the degree of lung inflation. J. Appl. Physiol.*, 13:331-336, 1958.
- 37) 南八守, 黃樹寬, 金亨鎮, 朱永恩: 體力鍛鍊이 肺機能에 미치는 效果, 대한생리학회지, 15:37-43, 1981.
- 38) Zoneraich, S., Rhee, J.J., Zoneraich, O., Jordan, D. and Appel, J.: *Assessment of cardiac function in marathon runners by graphic noninvasive techniques. Ann. N.Y., Acad. Sci.*, 301: 900-917, 1977.
- 39) Karpovich, P.V. and Sinning, W.E.: *Physiology of muscular activity, Philadelphia, W.B. Saunders, 1971, pp.15-19.*
- 40) Shapiro, B.A., Harrison, R.A. and Walton, J.R.: *Clinical application of blood gas, 3rd Ed., Chicago, Year Book Medical Publishers, Inc., 1982, pp.77-177.*
- 41) 姜斗熙: 生理學, 成政社, 1979, pp.118-338.
- 42) Wahren, J., Felig, P., Hendler, R. and Ahlberg, G.: *Glucose and amino acid metabolism during recovery after exercise. J. Appl. Physiol.*, 34: 838-845, 1973.
- 43) Galbo, H., Holst, J.J. and Christensen, N.J.: *Glucagon and plasmacatecholamine responses to graded and prolonged exercise in man. J. Appl. Physiol.*, 38:70-76, 1975.
- 44) Winder, W.W., Holman, R.T. and Garhart, S.J.: *Effect of endurance training on liver CAMP response to prolonged submaximal exercise. Am. J. Physiol.*, 240:330-334, 1981.
- 45) Issekuta, B. Jr. and Miller, H.: *Plasma free fatty acids during exercise and the effect of lactic acid. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, 110: 237-239, 1962.
- 46) Karlsson, J. Hulten, B. and Sjodin, B.: *Substrate activation and product inhibition of LDH activity in human skeletal muscle. Acta Physiol. Scand.*, 92:21-26, 1974.
- 47) Danforth, W.H.: *Activation of glycolytic pathway in muscle. In: Control of energy metabolism, Chance, B., Estabrook, R.W. and Williamson, J.R.(Eds.), New York, Academic, 1965, pp.287-297.*
- 48) 徐石柱: 長期間體力鍛鍊이 Glucose 吸收에 미치는 影響, 慶北大學校醫學博士學位論文, 1983.
- 49) Gleser, M.A. and Vogel, J.A.: *Effects of acute alteration of VO₂ max. On endurance capacity of men. J. Appl Physiol.*, 34:445-452, 1973.
- 50) Kaijser, L.: *Limiting factors for aerobic muscle performance. The influence of varying oxygen pressure and temperature. Acta Physiol. Scand., Suppl. 346:1-96, 1970.*
- 51) Lippold, O.C.J., Redfearn, J.W.T.T. and Vuco J.: *The electromyography of fatigue. Ergonomics*, 3:121-131, 1960.
- 52) Cogshall, J.C. and Bekey, G.A.: *A stochastic*

- skeletal muscle based on motor unite properties. Math. Bioscience, 7:405-419, 1970.*
- 53) Tiffeneau, R. and Pinell: *Air circulant et air captif dans l'exploration de la fonction ventilatrice pulmonaire. Paris Med., 133:624-628, 1947.*
- 54) Gaensler, E.A.: *Analysis of the ventilatory defect by timed capacity measurements. Am. Rev. Tuberc., 64:256-278, 1951.*
- 55) Barker, S.B. and Summerson, W.H.: *The colorimetric determination of lactic acid in biological material. J.Biol. Chem., 138:535-554, 1941.*