

運動訓練에 對한 心肺機能의 適應에 關한 研究*

延世大學校 醫科大學 生理學敎室

(指導 李 炳 熙 教授)
洪 碼 基 敎 授)

趙 江 河

I. 緒 論

生體는 끊임없이 活動을 繼續하고 있는 바 이를 뒷받침하는 가장 重要한 要素로서 活動筋肉에 對한 酸素供給을 들 수 있겠으며, 따라서 이 酸素供給能力 如何에 따라 生體의 運動能力이 左右된다고 할 수 있을 것이다. 活動筋肉에 對한 酸素供給能力은 여러 要因에 依하여 決定되는데, 그 中에서도 特히 肺換氣, 肺毛細血管內로의 酸素의 擴散, 血液의 酸素飽和能, 活動筋에 對한 血流(Hermansen 및 Andersen, 1965), 活動組織 自體의 酸素攝取能 및 心搏出量等を 생각할 수 있다(Taylor et al., 1955; Åstrand, 1956; Hettinger et al., 1961; Åstrand et al., 1964). 그러므로 運動能力이 向上됐다 함은 上述한 여러 因子 中 하나 或은 그 以上の 能力이 向上됨을 意味하는 것으로 解釋할 수 있다. 勿論 이 以外에도 筋肉自體의 肥大 即 筋力의 發達이 앞서야함은 再言의 餘地도 없다.

한편 生體는 周圍環境의 變化에 敏感하며 變化된 環境에 一定期間 以上 曝露될 때에는 所謂 適應現象이 일어나며, 그 結果 새로운 環境에 쉽사리 견디어 나가게 되는 널리 알려진 事實이다. 그 中에서 特히 生體가 甚한 運動訓練을 長期間 施行할 境遇 나타나는 運動能力의 向上은 참으로 놀랄만한 것이다.

이와같은 運動能力의 增大는 繼續的인 訓練의 結果 얻어진 것이겠으나 果然 上述한 酸素供給能力을 左右하는 많은 要素 中 特히 어떠한 因子가 運動能力 增大에 重要한 關係를 가지고 있는가에 關하여는 아직도 異論이 많다. 現在까지 알려진 바에 依하면 肺換氣量이 運動能力을 制限하는 主要素가 되지는 못 한다고 하며 (Robinson, 1938; Åstrand et al., 1959; Åstrand, 1960; Riley, 1960; Andersen 및 Hermansen, 1965; Auchincloss et al., 1966), 따라서 酸素를 活動筋肉에 運搬하여 주는 血流가 運動能力을 規定하는데 큰 比重을 가진 要素라고 할 수 있겠다(Barger et al., 1956; Stainsby, 1961). 實際로 運動選手들은 非選手에 比하여 運動 中의

分時 心搏出量이 크고, 心搏數는 오히려 적으며, 따라서 一回心搏出量이 一層 增大되어 있음이 알려져 있다(Bock et al., 1928; Asmussen 및 Nielsen, 1955; Åstrand, 1956; Bevegard et al., 1960; Åstrand et al., 1965). 이와같은 事實들을 綜合하여 생각할 때, 運動能力 增大를 爲하여는 心臟 및 脈管系의 適應을 必要로 한다고 하겠다. 이를 뒷받침하는 證據로서는 繼續的인 運動訓練에 依하여 活動筋肉의 肥大뿐만 아니라 筋毛細血管의 數가 增加되고, 또 心臟容積이 增大된다는 報告가 있다 (Petren et al., 1936; Åstrand, 1956; Bevegard et al., 1963). 한편 同一한 運動을 遂行할 때 運動選手는 非運動選手에 比하여 運動効率が 增加되어 있으며(Knehr et al., 1942), 따라서 同一한 運動負荷時의 酸素消費量은 運動選手에서 적다고 한다(Knehr et al., 1942; Johnson, 1946; Margaria et al., 1963; 吳, 1963; Richardson, 1965).

以上과 같은 生體의 여러 生理的 變化들은 모두가 運動訓練의 結果로 생각될 수 있으며, 이는 結局 運動能力을 增大시키는 方向으로 作用할 것이다. 그러나 이와같은 諸變化는 運動選手와 非選手를 比較 觀察하여 얻은 成績들이며, 따라서 運動訓練의 經過와 더불어 일어나는 一連의 適應過程을 把握할 수는 없는 것이다. 따라서 이와같은 訓練에 따르는 生體의 適應過程을 全般的으로 把握하기 爲하여서는 非選手를 擇하여 그 自身이 對照群의 役割을 하면서 所定의 訓練을 遂行하는 동안에 上記한 運動能力을 規定하는 諸要素들의 變化樣相을 觀察함이 極히 必要한 것이다. 그러나 이와같은 種類的 實驗報告는 別로 찾아볼 수 없는 實情이며, 다만 斷片的인 報告들 - 例를 들면 訓練에 따르는 心循環系의 機能變化(Boothby, 1915; Bock et al., 1928; Brouha 및 Savage, 1945; Cogswell et al., 1946; Elsner, 1960; Bevegard et al., 1963), 혹은 肺換氣能의 變化(Taylor et al., 1955; Åstrand, 1956; Hettinger et al., 1961; Tabakin et al., 1965; Auchincloss et al., 1966) - 이 있을 뿐이다.

따라서 著者는 走行速度를 緩速의 두가지로 區分하여

* 本 論文의 要旨은 1965年度 第 17次 大韓生理學會에서 發表한 것임.

訓練시켰을 때 全身持久力의 向上度에 差가 있는가를 究明함과 同時에 運動訓練에 따르는 諸生理的變化를 全般的으로 觀察함으로써 運動能力 向上에 寄與하는 要因들 中 어떤것이 優先적으로 作用하는 가를 究明하고 또 各種 要因들의 變化程度를 把握하기 爲하여 本實驗에 着手하여 그 成績을 이에 報告하는 바이다.

II. 實驗方法

實驗對象으로는 平素에 運動에 從事하지 아니하는 健康한 男子大學生 6名(年齡 22 乃至 24歲)을 任意로 擇하였으며 이들의 體格은 第1表에 提示한 바와 같다.

第1表 被檢者의 年齡 및 體格

		姓名	性別	年齡	身長 (cm)	體重 (kg)	體表面積 (M ²)
A 群	A ₁	김○홍	男	24	170.0	60.0	1.70
	A ₂	김○배	男	22	179.0	67.0	1.88
	A ₃	이○근	男	23	178.0	63.0	1.80
	平 均			23	175.7	63.3	1.79
B 群	B ₁	백○인	男	22	172.0	58.0	1.68
	B ₂	이○녕	男	22	182.0	64.0	1.84
	B ₃	김○균	男	22	171.0	59.0	1.70
	平 均			22	175.0	60.3	1.74

이들 被檢者들에게는 每週 6회씩 4週日間에 걸쳐 treadmill 上에서 走行케하는 運動訓練을 시켰는데, 이때 이들을 2群(A群 3名, B群 3名)으로 나누어 同一한 運動量(第2表 參照)을 負荷시키되 그 走行速度를 달리하여 A群은 treadmill 傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min 에서 每回 總 10分間, 그리고 B群은 傾斜度 8.6%, 速度 200 m/min 의 treadmill 上에서 每回 總 6分間 走行케 하였다. 運動訓練에 따르는 諸生理的 變化過程을 觀察하기 爲하여 다음과 같은 生理機能을 運動訓練 開始 前 및 開始 後 每週 測定하였다.

A. 走行持久力의 測定 :

Treadmill 을 使用하여 傾斜度 8.6%(約 5度), 速度 127 m/min 및 200 m/min 의 兩速度 下에서 最大走行持續時間을 各各 測定함으로써 實施하였다.

B. 肺換氣能의 測定 :

傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min 의 treadmill 上에서 5分間 走行케하여, 走行 始作 後 1分時, 1~2分時, 3~5分時 및 走行完了 後에는 完了 直後부터 2分時 및 2~5分時의 呼氣를 Douglas 袋에 各各 採取한 後 dry gas meter (5-B-150, American Meter Co., Boston)로 呼氣의 容

第2表 Treadmill 및 bicycle ergometer 上에서의 運動量

Treadmill				
被檢者	運動負荷時間(分)	分時運動量 (kg-m/min)	總運動量 (kg-m)	
A 群	A ₁	10	951	9,514
	A ₂	10	1,062	10,624
	A ₃	10	989	9,889
	平 均	10	1,000	10,009
B 群	B ₁	6	1,448	8,690
	B ₂	6	1,598	9,589
	B ₃	6	1,473	8,839
	平 均	6	1,506	9,039
Bicycle ergometer				
被檢者	運動時間(分)	分時運動量 (kg-m/min)	總運動量 (kg-m)	
訓練前	A ₁	4½	948.4	4,030.7
	A ₂	5½	908.6	5,224.5
	B ₁	5½	976.5	5,126.6
	B ₂	11.0	934.8	10,282.8
平 均	6分 34秒	942.0	6,166.0	
2週訓練	A ₁	6½	904.4	6,029.3
	A ₂	8½	951.2	7,739.8
	B ₁	8½	903.4	7,453.1
	B ₂	11½	935.1	10,909.5
平 均	8分 46秒	923.0	8,033.0	
4週訓練	A ₁	11 ※	901.4	9,915.4
	A ₂	11 ※	916.8	10,084.8
	B ₁	11 ※	928.3	10,211.3
	B ₂	11 ※	918.6	10,104.6
平 均	11分 ※	916.0	10,079.0	

※11分에 運動中止시킴

積을 測定하여 分時換氣量을 算出하였다. 分時 O₂ 消費量과 CO₂排出量은 呼氣를 Scholander microgas analyzer 로 分析하여 算出하였다(Scholander, 1947).

C. 心臟 및 循環機能의 測定 :

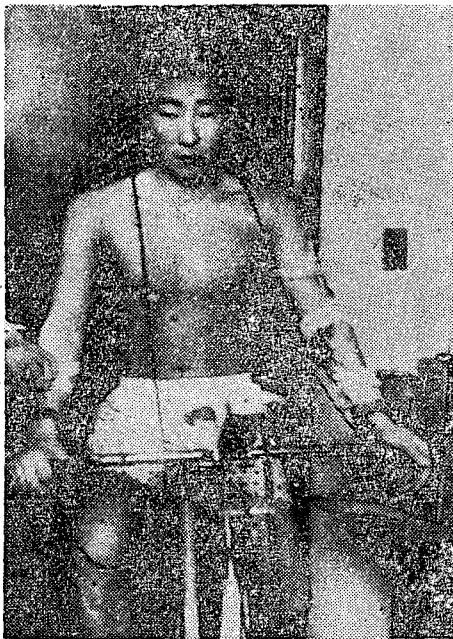
大別하여 두가지 種類의 測定을 實施하였는데 하나는 treadmill 走行 中 및 恢復期의 心搏數의 觀察이며, 또 하나는 bicycle ergometer (mechanical brake 型) 上에서 運動할 때의 血壓, 心搏數 및 心搏出量의 觀察이다. 後者의 境遇에는 treadmill 走行 中 實施하기가 技術的으로 困難함으로 不得已 bicycle ergometer 를 使用하였다.

1. Treadmill 上 走行時의 心搏數 測定 : 傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min 의 treadmill 上에서 5分間 走行 中

및 走行 完了 後 5 分間에 걸쳐 每分 心搏數를 測定하였다. 心搏數의 測定은 2 個의 電極을 胸骨의 上下部에 附着시키고 이를 Offner R.S. Dynograph 에 連結하여 描記한 心電圖上의 R-R 間隔을 計算함으로써 算出하였다.

2. Bicycle ergometer 上에서 運動時의 血壓 및 心搏出量 測定: 實驗對象者 中 A 및 B 群에서 各各 2 名씩의 志願者를 對象으로 하여 運動訓練 前, 訓練 第 2 週 및 第 4 週에 다음과 같은 一連의 實驗을 實施하였다.

即 被檢者를 寢臺에 仰臥位로 눕힌後 一側 上膊動脈에 Cournand 動脈針(No. 19)을 挿入 固定하여 動脈壓과 心搏出量測定 및 分析用 動脈血 採取 等에 對備하였으며 他側 前膊部 靜脈에 注射針(19 gauge)을 挿入 固定하여 心搏出量測定을 爲한 色素 注入에 對備하였다. 이와같은 操作이 끝난 後 心電圖(第 1 標準誘導) 描記를 爲한 電極을 所定의 位置에 附着 固定하였다(第 1 圖). 곧 이어서 被檢者를 bicycle ergometer 上에 運動할 수 있는 姿



第 1 圖 Bicycle ergometer 上에서 運動時의 心臟 및 循環機能의 測定光景.

勢로 앉힌 다음, 다음과 같은 安靜時의 諸測定을 實施하였다.

動脈壓; Pressure transducer (Statham, model P₂₃AA) 의 一端을 Cournand 動脈針에 連結하고 他端은 PR-7 Research Recorder (Electronics for Medical Co.製) 에 連結하여 monitor 를 通하여 보면서 血壓值를 記錄하였다.

心搏數; 標準 第 1 誘導에 依한 心電圖를 上記한 바와 같

은 電子記錄器에 描記한 後 R-R 間隔을 土臺로 心搏數를 算出하였다.

心搏出量; 色素稀釋法(Asmussen 및 Nielsen, 1952; Dow, 1956; Fox et al., 1957; Mitchell et al., 1958; Miller et al., 1962)에 依據하였는데 이때 5 mg 의 Cardio-green (Hynson, Westcott & Dunning, Inc., Baltimore)을 前膊部 靜脈內로 急速히 注入함과 同時에 他側 上膊動脈血을 cuvette densitometer (Gilford et al., 1953)를 通하여 constant withdrawing pump(Harvard Apparatus Company, Inc.)를 使用하여 20 ml/min 의 速度로 採取하면서 上記한 電子記錄器로 色素稀釋曲線을 記錄한 後 planimeter 로 그 面積을 求하여 心搏出量을 算出하였다.

動脈血의 O₂ 및 CO₂ 含量, 血漿血球比率 및 pH; 上述한 諸測定이 끝난 後 動脈血을 採取하고 곧 Van Slyke manometric blood gas apparatus (Van Slyke 및 Neil, 1924)로 O₂ 및 CO₂ 의 含量을 測定하고, 또 pH electrode(pH and blood gas analyzing system, model 113, Instrumentation Lab. Inc.)를 使用하여 pH 를 測定하였으며 血漿血球比率은 microcapillary 法으로 測定하였다.

以上과 같은 安靜時의 諸測定이 끝난 後 動脈壓 및 心電圖를 繼續 描記하면서 平均 916 乃至 942 kg-m/min (第 2 表 參照)의 運動을 氣盡할 때 까지 bicycle ergometer 上에서 施行케 하였는데, 이때의 總運動量은 第 2 表에 提示한 바와 같다.

運動 開始 後 6 分間에 安靜時에 施行한 모든 測定을 다시 實施하였다. 또 運動 完了 後 恢復期에는 10 分間에 걸쳐 繼續 血壓 및 心電圖를 描記하였고, 恢復期 3 分時에 動脈血을 採取하여 氣體成分 및 pH 를 測定하였다.

以上の 測定成績을 利用하여 平均色素循環時間

$$\left(\frac{\int_{t_a}^{t_d} c t dt}{\int_{t_a}^{t_d} c dt} + t_a; \begin{array}{l} t_a; \text{色素出現時間} \\ t_d; \text{色素消失時間} \\ c; \text{色素濃度} \end{array} \right)$$

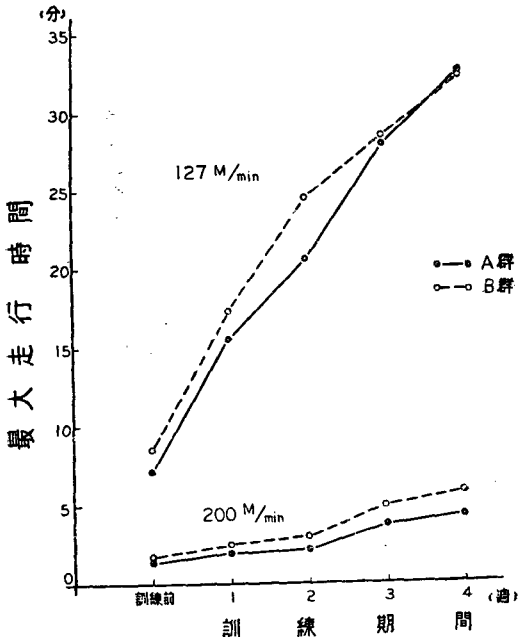
總體循環系抵抗 $\left(\frac{\text{平均動脈壓} \times 1.332 \times 60}{\text{分時心搏出量}} \right)$; 單位는 dyne-sec/cm⁵, 一回心搏出量, 動脈血 CO₂ 分壓(Henderson-Hasselbalch equation 에 依據 算出) 및 血漿[HCO₃⁻] (Van Slyke 및 Sendroy, 1928)等을 算出하였다.

III. 實驗成績

A. Treadmill 上에서 走行時의 心肺機能

1. 走行持久力

訓練 前과 訓練期間 中 每週 一回씩 走行持久力을 測定하였던 바, 傾斜度 8.6 %, 速度 127 m/min 인 treadmill 上에서의 最大走行持續時間은 A, B 兩群 共히 訓練期間



第2圖 訓練에 따른 最大走行持續時間의 變化.

中 繼續 增加함을 볼 수 있었다(第2圖). 即 127 m/min의 速度下에서 運動訓練을 시킨 A群은 訓練 前 平均 7 分 5 秒에서 4 週 訓練 後에는 32 分 23 秒로서 約 4.6 倍의 增加를 表示한 反面, 200 m/min의 速度下에서 訓練을 받은 B群은 訓練前에 8 分 39 秒였던 것이 4 週 訓練 後에는 平均 32 分 19 秒로서 約 3.7 倍의 增加를 보였다. 한

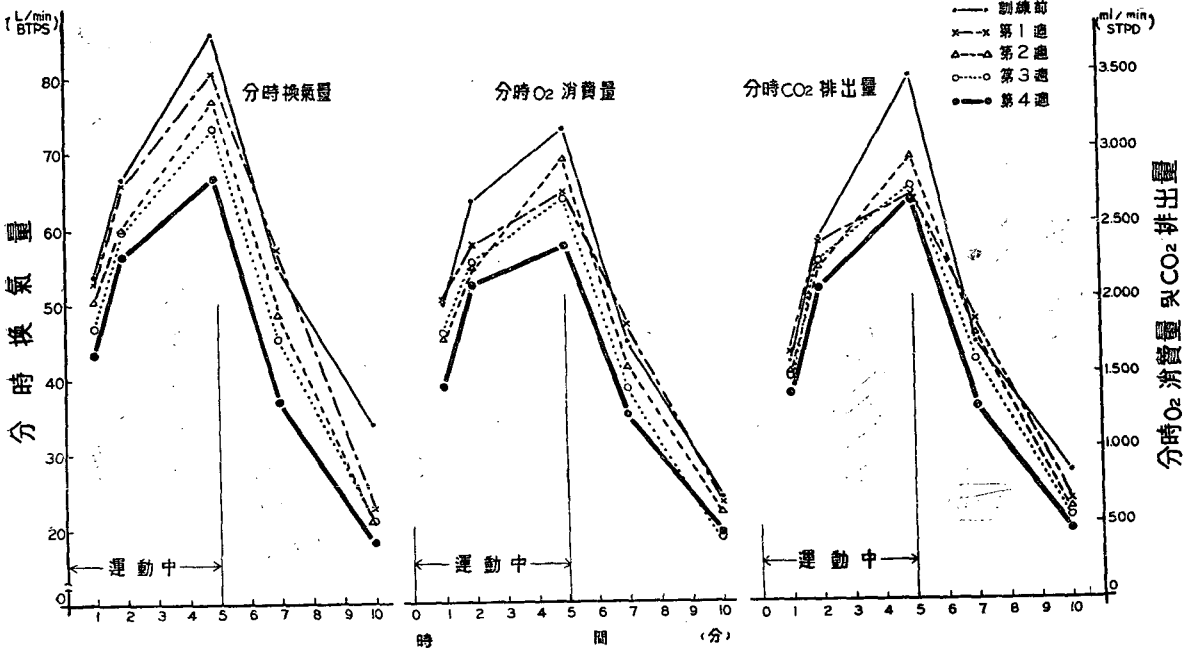
편 傾斜度 8.6%, 速度 200 m/min 인 treadmill 上에서 의 最大走行持續時間은, A群에서는 訓練 前 1 分 28 秒에서 4 週 訓練 後에는 4 分 2 秒로서 約 2.8 倍의 增加를 보인데 反하여, B群에서는 1 分 34 秒에서 5 分 41 秒로서 約 3.6 倍의 增加를 보였다.

2. 分時換氣量

Treadmill(傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min)上에서 5 分間 走行時의 分時換氣量의 變化는 A, B 兩群 間에 意義있는 差異가 없었으므로 兩群에서 얻은 值를 統合 平均하여 第3圖(左圖)에 提示하였다. 訓練 前後를 通하여 처음 2 分間은 急激히 增加하였으나 그後 3 分間은 緩慢하게 增加하였다. 走行 5 分時의 分時換氣量은 A, B 兩群에서 共히 走行訓練日의 經過와 더불어 漸次 減少하여, A群에서는 訓練 前에 平均 83 L/min에서 4 週 訓練 後에 74 L/min로 約 11%의 減少를, 또 B群에서는 各各 88 L/min에서 59 L/min로 約 33%의 減少를 表示하였다. 恢復期 分時換氣量도 訓練에 依하여 減少하였는데 訓練 前과 4 週 訓練 後에 分時換氣量을 比較하여 보면 兩群 共히 約 28%의 減少를 보였다.

3. 分時 O₂消費量

Treadmill(傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min)上에서 5 分間 走行時의 分時 O₂ 消費量의 變化는 A, B 兩群間에 意義있는 差異가 없었으므로 兩群에서 얻은 值를 統合, 平均하여 第3圖(中間圖)에 提示한 바와 같이 訓練 前後



第3圖 訓練에 따른 分時換氣量, 分時 O₂消費量 및 分時 CO₂排出量의 變化.

를 통하여 처음 2分間은 急激히 增加하였으나 다음 3分間은 緩慢한 增加를 表示하였다. 走行 5分時의 分時 O₂ 消費量을 보면 兩群間에 意義있는 差는 없었고, 다만 運動訓練의 經過에 따라 大體의 減少하는 傾向을 볼 수 있었던 바, 訓練 前에 約 3100 ml/min 이었던 것이 訓練 4週末에는 約 2400 ml/min 로 約 22.6%의 減少를 表示하였다. 한편 恢復期에 있어서도 兩群間에 意義있는 差異는 볼 수 없었으나 亦是 訓練에 依하여 分時 O₂ 消費量이 減少하는 傾向은 뚜렷하였다.

4. 分時 CO₂ 排出量

傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min 의 treadmill 上에서 5分間 走行時의 分時 CO₂ 排出量의 變化는 A,B 兩群間에 意義있는 差異가 없었으므로 兩群에서 얻은 值를 統合 平均하여 第3圖(左圖)에 提示한 바와 같이 定常狀態에 達했을 때(即 走行 5分時)의 分時 CO₂ 排出量은 運動訓練에 依하여 漸次的으로 減少함을 알 수 있었으며, 訓練完了時에는 訓練 前에 比하여 約 30% 減少함을 觀察할 수 있었다. 이와같은 傾向은 走行完了後 恢復期에 있어서도 볼 수 있었다.

5. 心搏數

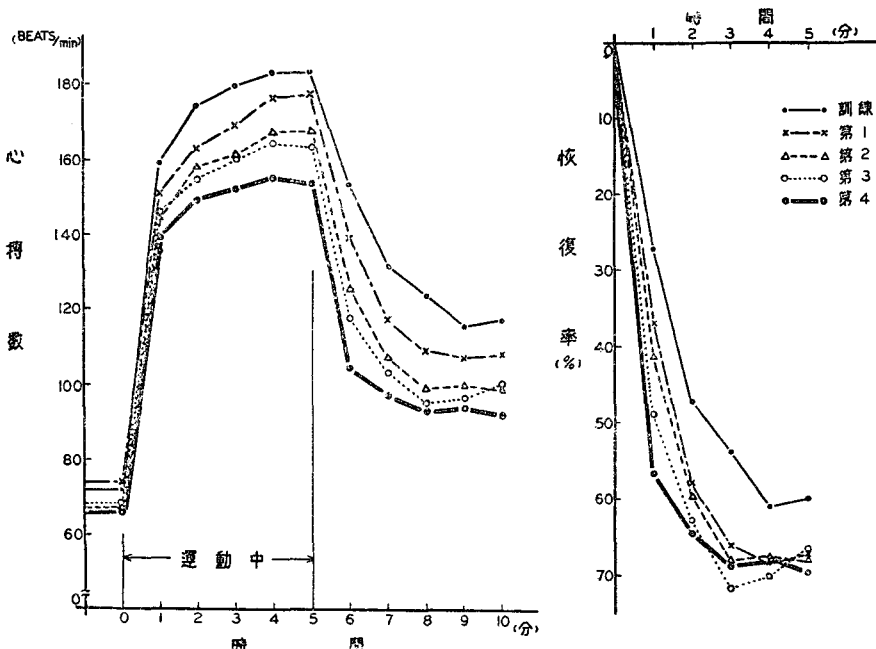
Treadmill(傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min)上에서 5分間 走行時의 心搏數의 變化는 A,B 兩群間의 意義있는 差異가 없었으므로 兩群에서 얻은 值를 統合 平均하여 第4圖에 提示하였다. 安靜時의 分時心搏數는 A群에서는 訓練 前에 72에서 4週訓練 後에 68로, 그리고

B群에서는 73에서 64로 各各 減少하였으며, 走行 始作 後 最高心搏數에 達하는 時間이 訓練에 따라 短縮됨을 알 수 있었다. 한편 走行 5分時의 平均 最高分時心搏數는 A,B 兩群 共히 訓練 前에 183 이었던 것이 2週 訓練 後에는 166, 그리고 4週訓練 後에는 153 으로 되어 漸次 意義있게 減少하였다. 한편 走行完了後 恢復期의 分時心搏數 亦是 訓練에 依하여 漸次的으로 減少하는 傾向이 뚜렷하여 恢復 1分時의 分時心搏數를 보면 A群에서는 訓練 前에 159에서 4週訓練 後에 106으로, 그리고 B群에서는 各各 146에서 102로 意義있는 減少(p<0.05)를 表示하였다. 恢復期 分時心搏數의 恢復率을 다음 式(心搏數 恢復率(%) = $\frac{\text{走行中最高心搏數} - \text{測定時心搏數}}{\text{走行中最高心搏數}} \times 100$)에 依하여 計算하였던 바, 1分時 恢復率은 訓練과 더불어 漸次 增加하여 訓練 前 27%에서 4週 後에는 56%로 顯著히 增加하였다(第4圖).

B. Bicycle Ergometer 上에서 運動時의 心臟 및 循環機能

1. 運動持續時間

實驗方法에서 記述한 바와 같이 訓練 前, 訓練 2週 및 4週에 bicycle ergometer 上에서 約 900 kg-m/min 의 運動을 氣盡할 때까지 負荷하였던 바, 運動持續時間은 訓練 前에 平均 6分 34秒이었으나 訓練 2週에는 8分 46秒로 또 訓練 4週에는 11分以上으로 顯著히 增加하였다(第2表).



第4圖 訓練에 따른 分時心搏數 및 分時心搏數 恢復率의 變化.

第3表

訓練에 따른 血壓(mmHg)의 變化

被檢者	訓 練 前			2 週 訓 練			4 週 訓 練			
	收縮期	弛緩期	平均脈壓	收縮期	弛緩期	平均脈壓	收縮期	弛緩期	平均動脈壓	
安 靜 時	A ₁	139	91	107	115	67	83	122	67	85
	A ₂	122	80	94	112	71	85	120	61	81
	B ₁	120	68	85	122	58	79	112	61	78
	B ₂	122	72	89	118	64	82	116	55	75
	平均	126	78	94	117	65	82	117	61※	80
運 動 時 (4 分 5 分 6 分 時 值)	A ₁	211	108	142	204	84	124	227	86	133
	A ₂	181	98	126	231	96	141	195	86	122
	B ₁	170	103	125	215	85	128	208	86	127
	B ₂	211	88	129	188	82	117	201	77	118
	平均	193	99	130	210	87	127	208	84※	125
恢 復 時 (5 分 時 值)	A ₁	112	83	93	102	54	70	109	64	79
	A ₂	119	55	76	96	52	67	105	45	65
	B ₁	112	64	80	—	—	—	109	55	73
	B ₂	122	64	33	118	61	80	103	54	70
	平均	116	67	83	105	56	72	107	54	72

※ 訓練前 該值에 比하여 意義있게 낮음(P<0.05)

2. 動脈壓

收縮期血壓은 運動始作 後 20 乃至 30 秒에 거의 最高 値에 到達하였으며, 그 後에는 別로 큰 變化를 보이지 않았다. 運動時 定常狀態에 達한 때(即 4 分以後)의 收縮期血壓은 訓練 前에 平均 193 mmHg, 2 週訓練 後에 210 mmHg 그리고 4 週 後에는 208 mmHg 로서, 訓練에 依한 別變化를 볼 수 없었다.

弛緩期血壓 亦是 運動始作 30 秒 前後에 거의 最高 値에 到達하였으며 그 後에는 大體로 固定되었다. 이와 같 은 樣相은 訓練 前後를 通하여 共通되는 現象이었으나 弛緩期血壓의 運動中 最高値는 訓練에 따라 減少하는 傾向이 뚜렷하여, 訓練 前에는 99 mmHg 였던 것이 4 週 訓練 後에는 84 mmHg 로 意義있는 減少를 表示하였다 (第3表).

運動時의 平均動脈壓의 最高値는 訓練 前에 130 mmHg 에서 2 週訓練 後에는 127 mmHg 로, 그리고 4 週 後에는 125 mmHg 로 各各 減少하였다(第3表).

한편 恢復期の 血壓을 보면 收縮期血壓은 運動完了後 大體로 3 分만에 安靜時의 値로 復歸됨을 알 수 있었으나, 訓練 前에는 좀 더 오랜 時間이 所要되었다. 弛緩期 血壓은 訓練 前後를 通하여 恢復 30 秒時에 急激한 減少를 表示하였고 그 後에는 거의 固定됨을 알 수 있었는데, 이때에 安靜時 보다도 더욱 낮은 値를 보였다. 訓練에 따른 影響을 보면 訓練前에는 弛緩期血壓이 訓練

後에 比하여 높음을 알 수 있었다. 恢復 5 分時의 平均 動脈壓値를 比較하여 보면 訓練 前에 83 mmHg, 2 週 訓練 後에 72 mmHg, 그리고 4 週 後에 72 mmHg 로서 大體로 訓練에 依하여 若干 減少하는 傾向을 볼 수 있었다(第3表).

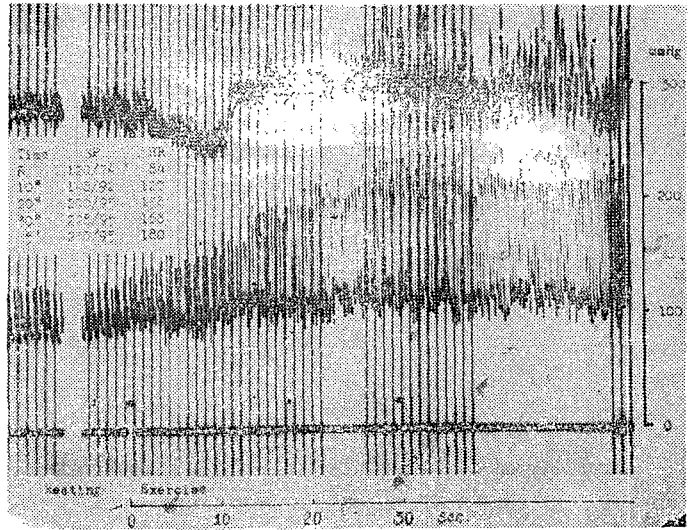
3. 分時心搏出量, 一回心搏出量 및 心搏數

Bicycle ergometer 上에서 運動始作 後 5 乃至 6 分된 때에 測定한 分時心搏出量, 一回心搏出量 및 分時心搏數의 成績은 第4表에 提示한 바와 같다. 前述한 바와 같이 訓練前의 運動持續時間이 짧았으므로 4 名의 被檢者 中 2 名(A₂ 및 B₁)에서는 資料를 얻을 수가 없었다.

訓練 前의 安靜時 分時心搏出量, 一回心搏出量 및 分時心搏數는 各各 5.49 L/min, 62 ml 및 88 이었던 것이 運動中에는 各各 13.00 L/min 78 ml 및 174 로써 約 133 %, 25.8% 및 96%의 增加를 各各 表示하였다. 2 週 訓練 後에는 安靜時 分時心搏出量, 一回心搏出量 및 分時心搏數는 各各 5.04 L/min, 69 ml 및 74 였던 것이 運動中에는 各各 15.63 L/min, 98 ml 및 161 로써 約 210%, 42% 및 118%의 增加를 各各 보였다. 4 週 訓練 後에는 安靜時 分時心搏出量, 一回心搏出量 및 分時心搏數가 各各 4.75 L/min 73 ml 및 66 에서 運動中에는 各各 14.70 L/min, 91 ml 및 162 로써 約 210 %, 24.5 % 및

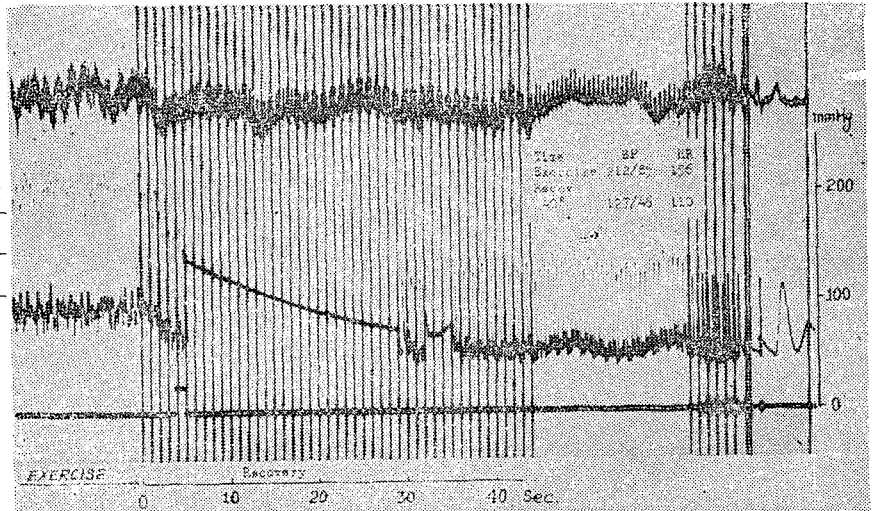
血壓(收縮期/弛緩期, mmHg) 分時心搏數

安靜時	120/74	84
運動時	10秒	148/92
	20秒	200/95
	30秒	228/95
	5分	230/95



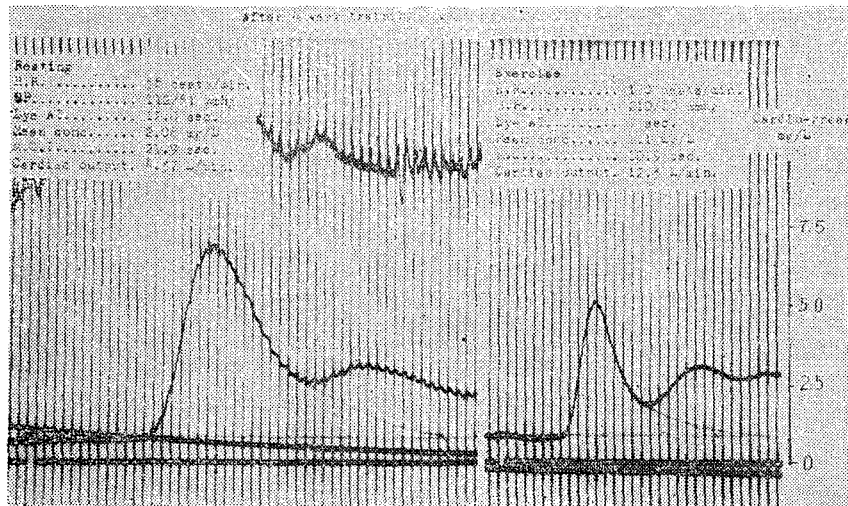
血壓(mmHg)分時心搏數

運動時	212/85	156
恢復時40秒	127/46	110



安靜時

分時心搏數	58
血壓(mmHg)	112/61
色素出現時間(sec)	12.0
平均色素濃度(mg/L)	2.08
平均循環時間(sec)	21.9
分時心搏出量(L)	4.39



運動時

170
210/80
7.0
1.10
10.9
12.30

第 5 圖 血壓, 心搏數變化 및 色素稀釋曲線의 實寫圖.

第4表 Bicycle ergometer 上에서 運動時(4~6分時)의 分時心搏出量, 一回心搏出量 및 分時心搏數

被檢者		訓 練 前			2 週 訓 練			4 週 訓 練		
		分 時 心搏出量 (L/min)	一 回 心搏出量 (ml)	分 時 心搏數 (beats/min)	分 時 心搏出量 (L/min)	一 回 心搏出量 (ml)	分 時 心搏數 (beats/min)	分 時 心搏出量 (L/min)	一 回 心搏出量 (ml)	分 時 心搏數 (beats/min)
安 靜 時	A ₁	5.17	62	83	5.22	67	78	3.90	59	66
	A ₂	4.40	49	90	5.37	64	84	5.00	66	76
	B ₁	4.40	55	80	4.00	67	60	4.37	75	58
	B ₂	5.81	62	93	5.55	77	72	5.72	91	63
	平均	4.95	57	87	5.04	69	74	4.75	73	66
運 動 時	A ₁	8.10	59	167	13.90	93	150	13.30	83	160
	A ₂	—※	—※	200	17.20	96	180	16.20	100	162
	B ₁	—※	—※	176	12.40	75	165	12.30	72	170
	B ₂	13.00	78	180	19.00	127	150	17.00	109	156
	平均	10.60	69	181	15.63	98	161	14.70	91	162

※ 血液 採取를 못하였거나 혹은 測定을 못한 것임.

第5表 Bicycle ergometer 上에서 運動時(4~6分時)의 總 體循環系抵抗, 平均 循環時間 및 左心室作業量

被檢者		訓 練 前			2 週 訓 練			4 週 訓 練		
		總 體 循 環系抵抗 (dyne-sec/cm ⁵)	平 均 循 環時間 (sec)	左 心 室 作 業 量 (kg-m/min)	總 體 循 環系抵抗 (dyne-sec/cm ⁵)	平 均 循 環時間 (sec)	左 心 室 作 業 量 (kg-m/min)	總 體 循 環系抵抗 (dyne-sec/cm ⁵)	平 均 循 環時間 (sec)	左 心 室 作 業 量 (kg-m/min)
安 靜 時	A ₁	1,650	25.7	7.65	1,270	35.5	5.90	1,740	23.9	5.50
	A ₂	1,700	17.9	5.63	1,270	24.0	6.80	1,300	20.7	6.18
	B ₁	1,540	20.4	5.15	1,570	24.3	4.85	1,420	21.9	5.57
	B ₂	1,220	27.7	7.02	1,120	32.5	5.45	1,050	26.4	7.15
	平均	1,528	22.9	6.36	1,308	29.1	5.75	1,378	23.3	6.10
運 動 時	A ₁	1,410	17.4	10.5	690	11.9	22.6	670	10.4	19.6
	A ₂	—※	—※	—※	700	10.8	31.6	600	9.8	27.2
	B ₁	—※	—※	—※	820	12.7	21.4	800	10.9	22.5
	B ₂	780	16.7	22.6	500	16.0	31.6	530	14.1	26.5
	平均	1,095	17.1	16.6	678	12.9	26.8	650	11.3	24.0

※ 血液採取를 못하였거나 혹은 測定을 못한 것임.

146%의 增加를 各各 表示하였다. 即 運動 中의 分時心搏出量 및 一回心搏出量이 모두 訓練 2週에 最高值에 到達한 뒤 4週에는 오히려 若干 減少하는 傾向을 表示하였음에 反하여 心搏數는 訓練에 따라 減少하였다.

4. 總 體循環系抵抗

總 體循環系抵抗은 第5表에 提示한 바와 같이 訓練 前 bicycle ergometer 上에서 坐位 安靜時에는 1,528 dyne-sec/cm⁵ 였는데 運動中에는 780로 減少하였다. 運動中 抵抗은 2週 訓練 後에는 678 그리고 4週訓練 後에는 650로써, 訓練에 依하여 若干 減少하는 傾向이 明白하

였다. 또 安靜時의 總 體循環系抵抗 亦是 訓練 前에 1,528, 2週訓練 後에 1,307, 그리고 4週訓練 後에는 1,378로써 訓練에 따라 若干 減少하는 傾向을 볼 수 있었다.

5. 平均循環時間

平均循環時間 測定成績은 第5表에 提示한 바와 같이 訓練 前 bicycle ergometer 上에서 坐位 安靜時에는 22.9秒였는데, 2週訓練 後에는 29.1秒 그리고 4週訓練 後에는 23.3秒로써 意義있는 變化를 보이지 않았다. 그러나 運動中 平均循環時間은 訓練 前에 平均 17.4秒였던 것이

第 6 表 Bicycle ergometer 運動時의 血液 pH, 血漿, 血球比率 및 氣體 組成의 變化

	被檢者	訓 練 前			2 週 訓 練			4 週 訓 練		
		安靜時	運動時	恢復時	安靜時	運動時	恢復時	安靜時	運動時	恢復時
pH	A ₁	7.20	—	7.30	7.46	7.35	7.35	7.48	7.36	—
	A ₂	7.46	—	7.23	7.46	7.30	7.23	7.44	7.36	7.26
	B ₁	7.44	7.29	7.27	7.49	7.36	7.35	7.47	7.33	7.22
	B ₂	7.47	—	7.35	7.49	7.41	7.37	7.47	7.42	7.43
	平 均	7.39	7.29	7.29	7.48	7.36	7.33	7.47	7.37	7.30
血漿[HCO ₃ ⁻](mM/L)	A ₁	24.8	—	15.7	24.5	12.8	14.6	24.7	15.1	—
	A ₂	22.9	—	8.9	23.3	12.8	8.8	—	15.4	9.1
	B ₁	20.1	11.8	9.6	24.8	17.0	—	23.5	14.2	8.5
	B ₂	22.4	17.3※	15.4	26.7	17.7	15.1	25.3	19.7	17.1
	平 均	22.2	14.5	12.4	24.8	15.1	12.8	24.5	16.1	11.6
CO ₂ 分壓 (mmHg)	A ₁	33.1	—	33.4	35.3	24.3	27.5	36.4	27.4	—
	A ₂	33.1	—	21.4	33.8	26.8	23.2	—	27.9	22.5
	B ₁	31.0	22.3	21.3	33.5	31.2	—	33.0	28.0	20.4
	B ₂	32.1	—	29.2	36.2	29.0	27.3	35.2	31.8	26.8
	平 均	32.4	22.3	26.3	34.7	27.8	26.0	34.8	28.8	2.32
血漿血球比率 (%)	A ₁	40.0	—	40.0	40.7	47.2	48.0	42.0	44.0	—
	A ₂	36.0	—	42.2	39.2	45.3	46.0	—	42.0	43.0
	B ₁	34.4	41.0	40.0	40.0	44.2	—	37.0	40.0	43.0
	B ₂	38.0	40.0	41.2	37.0	38.0	38.0	36.0	38.0	40.0
	平 均	37.1	40.5	41.0	39.2	43.7	44.0	38.3	41.0	42.0
O ₂ 含量 (vols. %)	A ₁	—	—	20.1	19.4	21.8	16.8	18.9	19.5	—
	A ₂	—	—	15.5	18.0	18.9	18.9	—	19.5	18.5
	B ₁	—	—	14.7	17.0	19.3	—	16.5	17.5	18.0
	B ₂	15.6	17.5	16.5	16.1	16.5	16.7	17.0	16.5	17.5
	平 均	15.6	17.5	17.5	17.6	19.1	17.5	17.5	18.3	18.0

※ pH 測定の失敗로 因하여 總 CO₂量을 記入하였음.
空欄은 血液採取를 못하였거나 혹은 測定을 못한 것임.

2週訓練 後에 12.9秒, 4週訓練 後에는 11.3秒로써 訓練에 依하여 減少하는 傾向이 明白하였다.

6. 左心室作業量

左心室作業量은 第 5 表에 表示한 바와 같이 訓練 前 bicycle ergometer 上에서 坐位 安靜時에는 6.36 kg-m/min 였으며 2週 後에는 5.75, 4週 後에는 6.10 로써 別로 큰 變化를 볼 수 없었다. 그러나 運動中의 左心室作業量은 訓練 前에 22.6 kg-m/min 였음에 比하여 2週 後에 26.8, 그리고 4週 後에는 24.0 로써 訓練에 따라 若干 增加하는 傾向을 볼 수 있었다.

7. 運動時의 動脈血 pH, 血漿[HCO₃⁻], CO₂ 分壓, 血漿血球比率 및 O₂ 含量

訓練 前 bicycle ergometer 上에서 安靜時의 pH는 7.39

였으며, 運動 中 6分時의 pH는 訓練 前에 7.29 이었고, 2週訓練 後에는 7.36, 그리고 4週訓練 後에는 7.37 이었다. 即 運動을 實施함으로써 大體로 動脈血의 pH는 減少하였으나 訓練의 經過에 따라 運動中 動脈血 pH의 減少程度가 漸次 輕微하여짐을 알 수 있었다(第 6 表).

血漿 [HCO₃⁻]는 訓練 前 bicycle ergometer 上에서 坐位 安靜時에는 22.2mM/L 였던 것이 運動 中에는 訓練 前에 14.5mM/L 였고, 2週訓練 後에는 15.1mM/L, 그리고 4週訓練 後에는 16.1mM/L 로써, 運動時 血漿 [HCO₃⁻]가 顯著히 減少되기는 하나 訓練에 따라 그 減少程度가 漸次 輕微하여짐을 알 수 있었다(第 6 表).

CO₂ 分壓은 訓練 前 bicycle ergometer 上에서 坐位 安靜時 32.4 mmHg 였던 것이 運動 中에는 訓練 前에 22.3 mmHg 였고, 2週訓練 後에는 27.8, 그리고 4週訓練 後

에는 28.8 mmHg 로써, 運動時 動脈血內 CO₂ 分壓은 大體로 減少하나 訓練의 經過와 더불어 그 程度가 輕하여 짐을 알 수 있었다(第6表).

訓練 前 bicycle ergometer 上에서 安靜時의 血漿血球比率은 平均 37.1% 였던 것이 運動 中에는 訓練前에 40.5, 2週訓練 後에는 43.7, 그리고 4週訓練 後에는 41.0 % 로써, 運動 中에 血漿血球比率이 若干 增加하는 傾向을 보였다(第6表).

動脈血內 O₂ 含量은 訓練 前 bicycle ergometer 上에서 安靜時 15.6 vols% 였던 것이, 運動 中에는 訓練 前에 17.5, 2週訓練 後에는 19.1, 그리고 4週訓練 後에는 18.3 vols% 로써 大體로 運動 中에는 安靜時에 比하여 O₂ 含量이 多少 增加함을 알 수 있었다(第6表).

IV. 考 察

運動訓練의 生理學的 影響을 究明함에는 大體로 두가지 方法을 들 수 있겠는데 그 하나는 日常 運動을 하지 않는 사람들과 積極인 運動에 參與하고 있는 運動選手들을 相互 比較觀察하는 方法이고, 다른 하나는 非運動選手들에게 一定한 運動을 一定期間동안 繼續 荷重시키면서 各種機能을 比較하는 方法이다. 特히 運動訓練에 따른 生體의 反應에는 個人差가 不得已 介在되며, 따라서 訓練의 影響을 評價하기 爲하여서는 그 自身이 對照群의 役割을 하는 實驗方法(即 들찌方法)이 理想的이라 하겠다. 따라서 本 實驗에서는 平素에 過激한 運動에 從事하지 아니하는 健康한 大學生들을 對象으로하여 訓練效果를 多角으로 觀察하려고 試圖하였다. 本 研究에서는 對象者를 두 群으로 大別하여 運動訓練으로써는 傾斜度 8.6%(約 5度)의 treadmill 上에서 每分 127 m(A群)와 200 m(B群)의 兩速度下에서 每日 各各 總 10分 및 6分間씩 走行케 하는 方法을 擇하였는데, 이와같은 走行運動量은 訓練前에 被檢者들이 견딜 수 있는 最大走行持續時間 보다도 훨씬 큰 것이었다. 訓練時 treadmill의 速度를 緩, 速의 두가지로 區別한 것은 訓練時의 走行速度에 따라 全身持久力 培養에 或種의 差異가 있는지 그 與否를 알기 爲하여서 였다(猪飼, 1961).

全身持久力の 指標로써는 treadmill 上에서의 最大走行持續時間을 擇하였던 바, 이는 訓練期間에 比例하여 直線的으로 延長되었다(第2圖 參照). 即 傾斜度 8.6%의 treadmill 上에서 分速 127 m로 走行케한 境遇, 走行持續時間은 訓練 4週 後에 A群에서는 平均 4.6倍, 또 B群에서는 平均 3.7倍나 增加하였음에 反하여 同一 傾斜度 下에서 分速 200 m로 走行케한 境遇 A群에서는 平均 2.8倍 그리고 B群에서는 平均 3.6倍로 增加하였다. 다시 말하면, 走速 127 m 下에서 訓練을 받은 A群은

該 速度下에서의 走行時間이 B群에 比하여 一層 그 增加도가 컸으며, 또 200 m/min 下에서 訓練을 받은 B群은 該 速度下에서의 走行時間의 延長이 加一層 顯著하였다.

運動中 및 恢復期의 分時換氣量, O₂ 消費量 및 CO₂ 排出量은 大體로 訓練에 따라 비슷한 樣相으로 減少하는 傾向을 表示하였는 바(第3圖 參照), 이와 같은 現象은 많은 研究者들의 報告와 一致하는 바이다(Schneider 및 Ring, 1929; Knehr et al., 1942; Johnson, 1946; Margaria et al., 1963; 吳, 1963; Richardson, 1965). 이와같이 同一한 運動을 遂行함에도 不拘하고 訓練에 따라 O₂ 消費量 및 CO₂ 排出量이 減少함은 매우 意義있는 事實로써 이것은 訓練으로 말미암아 運動能力이 向上됨을 立證하는 것으로 생각된다. 그 理由로써는 運動負荷量과 O₂ 消費量과는 거의 直線的인 比例關係에 있으며(Margaria et al., 1963; Cerretelli et al., 1964), 따라서 所定의 運動을 遂行할 때의 O₂ 消費량이 減少하였음은 비록 最大 O₂ 攝取量에 變化가 없을 지라도 運動能力이 向上되었음을 意味한다. 이와 같은 反復訓練에 따르는 運動能率 및 運動能力의 向上은 여러가지 原因에 依하여 招來된 것이 겠으나 同一한 運動을 反復施行할 때에는 그 運動을 實施함에 반드시 必要한 筋肉만이 作用하는데 反하여, 訓練을 받지 않은 境遇에는 所定運動에 積極으로 參與하지 아니 하여도 支障이 없는 여러 다른 筋肉들 까지도 參與하기 때문이 아닌가 생각된다(Johnson, 1946; Buskirk 및 Taylor, 1954; Richardson, 1965). 換言하면 同一한 運動負荷時의 O₂ 消費량은 訓練 與否 또는 專門인 運動技術 習得 與否에 따라 決定되는 것이라 하겠다.

分時換氣量과 O₂ 消費量과의 사이에는 大體로 直線的인 關係가 存在함은 이미 많은 研究者들이 報告한 바이나, 이와 같은 比例關係는 一定한 O₂ 消費량의 範圍內에서만 成立하는 것이며 이 範圍를 벗어났을 때는 所謂 過度換氣의 出現을 볼 수 있는 것이다(Mitchell et al., 1958; 吳, 1963; Naimark et al., 1964; Andersen 및 Hermansen, 1965; Hermansen 및 Andersen, 1965). 本 研究에서 分時換氣량이 訓練에 따라 漸次的으로 減少한 事實은 O₂ 消費量과 分時換氣量 사이의 上述한 相互關係를 考慮하면 容易하게 理解할 수 있다. 한편 運動中의 CO₂ 排出量은 嚴格히 따져 볼 때 組織에서 生産되는 CO₂ 量을 그대로 反映한다고 할 수는 없는데, 그 理由로써는 激甚한 運動을 遂行할 때에는 所謂 嫌氣性 解糖過程이 促進되어 酸素負債를 지게 마련이며, 그 結果 活動筋肉內에서 生成된 乳酸은 循環血中으로 擴散되어 結局 血中緩衝劑(主로 NaHCO₃)에 依하여 緩衝될 것이며 그 結果 附加的인 CO₂가 生成되기 때문이다(Christensen 및 Hansen, 1939; Issekutz 및 Rodahl,

1961; Naimark, et al., 1964). 따라서 본 研究에서 觀察한 바와 같은 呼吸分析方法에 依하여 CO₂ 排出量을 測定한 成績은 運動遂行中 實際로 組織에서 形成된 CO₂의 絶對量을 그대로 反映하지는 못하나, 所定 運動時의 CO₂ 排出量이 訓練經過와 더불어 減少했음은 O₂ 消費量의 減少現象과 함께 생각할 때 意義있는 事實이라 하겠다.

運動을 遂行할 때에는 初期부터 急激히 分時換氣量이 增加함은 여러 研究者에 依하여 觀察된 現象이다(Bannister et al., 1954; Malhotra et al., 1962; Liddell, 1963). 이와 같은 分時換氣量의 增加는 여러 因子에 依하여 決定되는 것으로써, 運動初期에는 運動筋肉으로부터의 求心性 神經刺激에 依하여(Comroe 및 Schmidt, 1942~1943), 또 運動實施 後 1 乃至 2 分時에는 活動筋肉으로부터 遊離된 或種의 化學的物質이 呼吸中極을 刺戟함으로써 分時換氣量이 增加한다고 하는데, 이러한 物質의 遊離時間은 運動量의 增加와 더불어 短縮되는 傾向이 있다고 한다(Hickam et al., 1951; Bannister et al., 1954; Krumholz 및 Ross, 1965). 그 외에도 CO₂ 및 H⁺에 依한 呼吸中樞의 興奮에 따른 分時換氣量의 增加 可能性 亦是 考慮하여야 할 것이다. 分時換氣量 增大를 招來할 수 있는 以上과 같은 一連의 要因들 中, 特히 訓練에 따른 O₂ 消費量의 減少, CO₂ 生産量 및 H⁺의 減少及 前述한 바 活動筋肉에서 遊離된 化學的物質 生成의 減少 可能性 등을 綜合적으로 考慮할 때 訓練의 經過와 더불어 運動實施에 따른 分時換氣量의 增大程度의 減少는 充分히 納得될 만한 現象이다.

訓練에 따른 分時心搏數의 變化를 보면, 運動時의 最高心搏數뿐만 아니라 安靜時의 心搏數도 漸次的으로 減少하는 傾向을 볼 수 있었으며, 또 運動後의 心搏數恢復도 빨라짐을 알 수 있었다(第 4 圖 參照). 이와 같은 訓練에 따르는 心搏數의 變化에 關하여는 이미 本 實驗의 成績과 一致되는 많은 研究 成績이 報告되어 있다(Schneider 및 Crampton, 1940; Knehr et al., 1942; Cogswell et al., 1946; Bergren 및 Christensen, 1950; Elsner, 1960; Malhotra et al., 1963; 吳, 1963; Maxfield, 1964; 朴等, 1964). 所定 運動時의 最高心搏數는 訓練 時日이 經過함에 따라 漸次 減少되어, 訓練前에 每分 183 였던 것이 訓練 2 週 後에는 166 內外로, 그리고 4 週訓練 後에는 153 程度였다. 現在까지 알려진 바에 依하면 每分 心搏數 120 乃至 180 範圍內에서는 心搏出量은 心搏數 增加에 比例하여 增加된다고 한다(Holmgren et al., 1960; Bailie et al., 1961; Cerretelli et al., 1964; Tabakin et al., 1964; Smulyan et al., 1965). 따라서 訓練의 結果 運動中의 心搏數가 減少하였음은 매우 意義있는 事實으로써 同一運動을 遂行함에 있어서 心臟의 負擔이 그만큼 輕減되었음을 意味하는

것이며, 그 結果 運動能率 및 能力이 顯著히 向上되었음을 暗示하는 것이라 하겠다(猪飼, 1961; Hermansen 및 Andersen, 1965).

運動選手와 非選手의 安靜時 心搏數를 比較할 때 運動選手의 心搏數가 훨씬 낮다는 報告는 相當히 있다(Henderson et al., 1927; Schneider 및 Crampton, 1940; Knehr et al., 1942; Maxfield, 1964). 本 實驗에서 觀察한 바에 依하면 訓練 4 週 後의 安靜時 心搏數가 訓練前보다 낮은 傾向은 있었으나 意義있는 變化는 아니었으며 이는 訓練期間이 짧았기 때문이 아닌가 생각된다.

動脈壓을 보면, bicycle ergometer 上에서 運動을 始作하는 即時 收縮期 및 弛緩期血壓이 모두 上昇하여 20 乃至 30 秒 後에는 거의 最高에 達한 後 거의 變化없이 固定되었고(第 5 圖 參照), 恢復期에 있어서는 收縮期血壓은 約 3 分만에, 弛緩期血壓은 30 秒만에, 그리고 平均動脈壓은 1 乃至 2 分만에 各各 正常值로 復歸하였는데, 特異한 것은 弛緩期血壓과 平均動脈壓은 恢復期에 있어서 正常 以下로 減少하였다는 點이다. 이와같은 運動時의 血壓上昇에 關與하는 要因으로서는 O₂ 消費量의 增加, 心搏出量의 增加, 運動中 活動筋肉을 除外한 內臟 및 皮膚 血管의 收縮(Bishop et al., 1957; Buskirk 및 Bass, 1960; Blair et al., 1961; Wade 및 Bishop, 1962; Bevegard et al., 1966) 및 運動에 依한 下肢筋의 律動的 收縮으로 인한 靜脈血 環流量的 增加에 따른 心收縮力의 增加 등을 들 수 있겠다(Guyton et al., 1962; Åstrand et al., 1965). 이를 뒷받침하는 證據로써는 同一運動을 遂行하더라도 上肢만을 運動시킬 때 보다는 下肢만을 運動시키는 境遇에 血壓의 上昇이 더욱 顯著하며, 이것은 上肢에 比하여 下肢의 筋肉量이 越等할 뿐만 아니라 運動中에는 非活動筋肉의 血管이 收縮하기 때문이라는 實驗報告가 있다(Bishop et al., 1957; Åstrand et al., 1965). 한편 訓練에 따라 平均動脈壓이 下降하는 傾向을 볼 수 있었는데, 이것은 主로 訓練에 依한 弛緩期血壓의 下降에 起因하는 것으로써, 이와 같은 弛緩期血壓의 下降은 活動筋肉內의 血管擴張에 依한 總體循環系抵抗의 減少(第 4 表 參照)에 依한 것이라고 하겠다. 實際로 運動訓練에 依하여 活動筋肉內의 毛細血管數가 增加하며 同時에 擴張現象이 增大된다는 報告가 있다(Petren et al., 1936; Barger et al., 1956). 한편 訓練에 依하여, 同一運動 遂行時의 血壓 上昇度가 低下함은 그만큼 心臟의 負擔이 적을 것이며, 따라서 訓練에 依한 末梢抵抗의 減少와 더불어 活動筋肉에 對한 血流供給을 잘 維持시켜 줄 것임을 能히 推測할 수 있다.

運動中의 心搏出量 및 一回心搏出量은 모두 訓練에 依하여 增加하였는데 이는 前述한 바 運動中 心搏數가 訓練에 依하여 減少한다는 事實과 더불어 매우 意義있

는事實이다. 이와 같은一回心搏出量の 訓練에 따른 增加 傾向은 運動中뿐만 아니라 安靜時에도 볼 수 있는 現象으로서 그 機轉으로써는 總 體循環抵抗의 減少 및 血液循環時間의 短縮(第4表 參照)에 따른 弛緩期의 心室 血液 充滿度의 增大로 인한 心臟收縮力의 增加 등을 들 수 있겠으나, 本 研究만으로는 明確히 結論짓기 困難하다. 이와같은 訓練에 따른 一連의 心臟機能의 變化는 運動에 對한 心臟機能의 機械的 效率이 訓練에 따라 向上됐음을 暗示하는 것이며, 總體的인 運動能力의 向上에 至대한 影響을 미치는 要因이 된다고 하겠다. 이와 같은 事實로 미루어 보아 運動中 增大된 O₂ 需要는 肺換氣能의 增加보다는 오히려 訓練에 따른 心搏出量の 增大에 依하여 充足된다고 하겠다(Krogh 및 Lindhard, 1912; Guyton et al., 1962; Gilbert et al., 1966). 安靜時의 一回心搏出量 增加에 對하여는 訓練期間이 짧은 關係로 어떠한 決定的인 結論을 내리기는 困難하나, 文獻에 報告된 바 運動選手에 있어서는 安靜時의 一回心搏出量 및 心臟容積이 非選手에 比하여 一層 크다는 事實(Petren et al., 1936; Bevegard et al., 1963; Astrand et al., 1965)을 考慮할 때, 이 亦是 訓練에 依한 效果가 아닌가 推測된다.

動脈血의 pH를 보면 運動中 大體로 減少하지마는 그 減少度는 訓練에 따라 漸次 輕微하여지는 傾向이 있었다(第6表 參照). 激甚한 運動時 血液 pH가 下降함은 活動筋肉에 對한 O₂ 供給의 不足으로 因하여 嫌氣性解糖作用이 促進된 結果 生成된 乳酸에 起因하는 것이며, 따라서 血液 pH의 下降程度는 O₂ 負債의 間接的인 尺度가 된은 이미 實證된 바이다(Bouhuys et al., 1966). 따라서 訓練에 따라 血液 pH의 減少程度가 輕微해진것은 活動筋肉에 對한 O₂ 供給이 그만큼 圓滑하여졌음을 暗示하는 것으로 解釋된다.

動脈血 CO₂ 分壓이 運動中 減少한 것은(第6表 參照) 運動에 따른 過度換氣의 結果로 생각될 수 있겠으며, 訓練에 따라 이 減少程度가 輕微해진 것은 그만큼 過度換氣의 程度가 減少하였음을 意味한다고 하겠다. 이와 같은 CO₂ 分壓의 減少 및 乳酸量의 增加는 血漿[HCO₃⁻]의 減少를 招來할 것이며, 實際로 運動時 [HCO₃⁻]는 減少하였으나 그 減少程度는 訓練에 따라 輕微해지는 傾向을 볼 수 있었다.

安靜時에 比하여 運動中에 動脈血 O₂ 含量이 增加하는 傾向을 볼 수 있었는데(第6表 參照), 이것은 運動中에 血漿血球比率이 上昇하였음에 起因하는 것으로 생각되며, 이와같은 事實은 先進 諸氏들에 依하여 이미 報告된 바 있다(Knehr et al., 1942; Rowell et al., 1964).

以上에서 考察한 바와 같이 每日 6 乃至 10 分間 所定의 運動을 負荷하더라도 이에 對한 訓練效果를 觀察

할 수 있다는 事實은 그 意義가 매우 크다고 하겠으며, 特히 平素에 身體運動을 하지 않는 者라도 每日 短時間이나마 所定의 運動을 함으로써 心肺機能 및 運動適性을 越等하게 維持할 수 있음을 實證하였다고 著者は 생각한다. 이와같은 各種 訓練效果의 出現時間은 勿論 訓練量에 依하여 左右될 것이나 本 研究에서 採擇한 方法에 依하면 安靜時 心搏數의 減少는 出現하지 않았으나 運動時의 心搏數 및 CO₂ 排出量 變化는 2 週 以內에, 또 運動時의 O₂ 消費量 및 分時換氣量과 運動後의 心搏數 恢復率 變化 등은 3 乃至 4 週 後에야 出現함을 알 수 있었다(第7表 參照). 다시 말하면 訓練效果를 얻기 爲하

第7表 訓練에 따른 換氣能 및 心搏數의 變化
(平均値±標準誤差)

(Treadmill)

	運動 5 分時의 分時換氣量 (L/min, BTPS)	運動 5 分時의 分時O ₂ 消費量 (ml/min, STPD)	運動 5 分時의 分時 CO ₂ 排出量 (ml/min, STPD)
訓練前	85.0±2.2	3,119±136	3,426±183
1週訓練	81.0±2.3	2,696±153	2,627±118※
2週訓練	76.5±5.2	2,927±113	2,912±103※
3週訓練	72.8±4.8※	2,667±136※	2,704±132※
4週訓練	66.3±3.7※	2,371±92※	2,611±95※

	安靜時心搏數 (beats/min)	運動 5 分時의 分時心搏數 (beats/min)	恢復 1 分時의 心搏數恢復率 (%)
訓練前	72.3±1.6	183.1±2.3	27.2±6.9
1週訓練	74.0±3.7	177.0±1.7	36.9±6.8
2週訓練	67.5±2.4	166.8±2.9※	41.4±5.2
3週訓練	68.5±4.2	162.8±2.9※	48.8±6.9※
4週訓練	66.0±2.7	152.8±5.1※	56.5±5.1※

※ 訓練前値에 比하여 意義있게 變化하였음을 意味함(P<0.05)

여는 訓練을 最少限 2 週 以上 持續하여야만 所期의 目的을 達成할 수 있다고 생각된다.

V. 結 論

著者は 平素 運動에 從事하지 아니하는 健康한 男子 大學生 6 名을 A, B 두群으로 나누어 每週 6 回씩 4 週日 間에 걸쳐 一回 總運動量이 約 1,000 kg·m 가 되도록 treadmill 上에서 走行케 하여(A群은 傾斜度 8.6%, 速度 127 m/min 에서 總 10 分間, B群은 傾斜度 8.6%, 速度 200 m/min 에서 總 6 分間) 每週末에 訓練效果를 觀察하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. Treadmill 上에서의 最大走行持續時間은 訓練에 따

라 顯著히 增加하였다.

2. 運動時 分時換氣量, 分時 O₂消費量 및 分時 CO₂排出量 等 모두 訓練에 依하여 減少하였다.

3. 運動時 分時心搏數는 訓練日의 經過와 더불어 減少 하였으며 恢復期 1分時의 分時心搏數의 恢復率은 漸次 增加하였다.

4. 運動中 및 恢復期의 平均 動脈壓은 訓練에 依하여 漸次 減少하는 傾向이 있었다.

5. 運動中の 分時心搏出量 및 一回心搏出量은 모두 訓練에 依하여 增加하여 訓練 2週에 最高值에 到達하였다.

6. 運動中の 總體循環系抵抗은 訓練에 依하여 漸次 減少하였다.

7. 運動中の 平均循環時間은 訓練에 依하여 顯著히 短縮되었다.

8. 運動中 動脈血의 pH는 安靜時에 比하여 減少하였으나 그 減少程度가 訓練의 經過에 따라 輕微하여 짐을 觀察하였다.

9. 血漿[HCO₃⁻]는 運動時에 顯著히 減少하기는 하나 訓練에 따라 그 減少程度가 漸次 輕微하여 졌다.

10. 動脈血 CO₂分壓은 運動時에 大體로 減少하나 訓練의 經過와 더불어 그 程度가 輕하여 짐을 觀察하였다.

11. 運動中 動脈血 O₂含量은 安靜時에 比하여 多少 增加하였다.

以上的 成績으로 미루어 보아 非運動選手를 비록 6乃至 10分間의 짧은 時間일지라도 所定의 運動을 每日 實施하면 訓練에 對한 心肺機能面의 適應이 出現할 수 있으며 同時에 여러 適應現象의 出現時間이 비록 相異하기는 하나 意義있는 適應現象이 出現하기 爲하여는 적어도 2週日이 所要됨을 알 수 있다.

參 考 文 獻

Andersen, K.L., and Hermansen, L.: *Aerobic work capacity in middle-aged Norwegian men. J. Appl. Physiol.* 20:432, 1965.

Asmussen, E., and Nielsen, M.: *Cardiac output during muscular work and its regulation. Physiol. Rev.* 35:778, 1955.

Asmussen, E., and Nielsen, M.: *The cardiac output in rest and work determined simultaneously by the acetylene and the dye injection methods. Acta Physiol. Scand.* 27:217, 1952.

Asmussen, E., and Nielsen, M.: *The cardiac output in rest and work at low and high oxygen pressures. Acta Physiol. Scand.* 35:73, 1955.

Åstrand, I.: *Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physiol. Scand.* 49:Suppl. 169, 1960.

Åstrand, I., Åstrand, P.O., and Rodahl, K.: *Maximal heart rate during work in older men. J. Appl. Physiol.* 14:562, 1959.

Åstrand, P.-O.: *Human physical fitness with special reference to sex and age. Physiol. Rev.* 36:307, 1956.

Åstrand, P.-O., Cuddy, T.E., Saltin, B., and Stenberg, J.: *Cardiac output during submaximal and maximal work. J. Appl. Physiol.* 19:268, 1964.

Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Messin, R., Saltin, B., and Stenberg, J.: *Intraarterial blood pressure during exercise with different muscle groups. J. Appl. Physiol.* 20:253, 1965.

Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Messin, R., Saltin, B., Stenberg, J. and Wallstrom, B.: *Effect of training on circulation during exercise. Intern. Congr. Physiol. Sci., 23rd, Tokyo, 1965.*

Auchincloss, J.H., Jr., Gilbert, R., and Baule, G.H.: *Effect of ventilation on oxygen transfer during early exercise. J. Appl. Physiol.* 21:180, 1966.

Bailie, M.D., Robinson, S., Rostorfer, H.H., and Newton, J.L.: *Effect of exercise on heart output of the dog. J. Appl. Physiol.* 16:107, 1961.

Bannister, R.G., Cunningham, D.J.C., and Douglas, C.G.: *The carbon dioxide stimulus to breathing in severe exercise. J. Physiol.* 125:90, 1954.

Barger, A.C., Richards, V., Metcalfe, J., and Funther B.: *Regulation of the circulation during exercise; cardiac output (direct Fick) and metabolic adjustments in the normal dog. Am. J. Physiol.* 184:613, 1956.

Bergren, G., and Christensen, E.H.: *Heart rate and body temperature as indices of metabolic rate during work. Arbeitsphysiologie.* 14:255, 1950.

Bevegard, S., Freyschuss, U., and Strandell, T.: *Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position. J. Appl. Physiol.* 21:37, 1966.

Bevegard, S., Holmgren, A., and Jousson, B.: *The effect of body posture on the circulation at rest and during exercise with special reference*

- to the influence on the stroke volume. *Acta Physiol. Scand.* 49:279, 1960.
- Bevegard, S., Holmgren, A., and Jousson, B.: *Circulatory studies in well trained athletes at rest and during heavy exercise with special reference to stroke volume and the influence of body position. Acta Physiol. Scand.* 57:26, 1963.
- Bishop, J.M., Donald, K.W., Taylor, S.H., and Wormald, P.N.: *The blood flow in the human arm during supine leg exercise. J. Physiol.* 137:294, 1957.
- Blair, D.A., Glover, W.E., and Roddie, I.C.: *Vasomotor responses in the human arm during leg exercise. Circ. Res.* 9:264, 1961.
- Bock, A.V., Vancaulaert, C., Dill, D.B., Fölling, A. and Hurxthal, L.M.: *Studies in muscular activity. III. Dynamical changes occurring in man at work. J. Physiol.* 66:136, 1928.
- Boothby, W.M.: *A determination of the circulation rate in man at rest and at work. Am. J. Physiol.* 37:383, 1915.
- Bouhuys, A., Pool, J., Binkhorst, R.A., and Leeuwen, P.V.: *Metabolic acidosis of exercise in healthy males. J. Appl. Physiol.* 21:1040, 1966.
- Brouha, L., and Savage, B.M.: *Variability of physiological measurements in normal young men at rest and during muscular work. Rev. Canad. Biol.* 4:131, 1945.
- Buskirk, E.R., and Bass, D.E.: *Climate and exercise. In; Science and Medicine of Exercise and Sports, edited by W.R. Johnson, New York; Harper, 1960, pp. 311.*
- Buskirk, E.R., and Taylor, H.L.: *Relationships between maximal O_2 intake and components of body composition. Federation Proc.* 13:21, 1954.
- Cerretelli, P., Piiper, J., Mangili, F., Cuttica, F., and Ricci, B.: *Circulation in exercising dogs. J. Appl. Physiol.* 19:29, 1964.
- Cerretelli, P., Piiper, J., Mangili, F., and Ricci, B.: *Aerobic and anaerobic metabolism in exercising dogs. J. Appl. Physiol.* 19:25, 1964.
- Christensen, E.H., und Hansen, O.: *Respiratorischer Quotient and O_2 -aufnahme. Skand. Arch. Physiol.* 81:180, 1939.
- Cogswell, R.C., Henderson, C.R., and Berryman, C. H.: *Some observations of the effects of training on pulse rate, blood pressure and endurance in humans, rising the step test(Harvard), treadmill and electrodynamic brake bicycle ergometer. Am. J. Physiol.* 146:422, 1946.
- Comroe, J.H., Jr., and Schmidt, C.F.: *Reflexes from limbs as a factor in the hyperpnea of muscular exercise. Am. J. Physiol.* 138:536, 1942-1943.
- Dow, P.: *Estimation of cardiac output and central blood volume by dye dilution. Physiol. Rev.* 36:77, 1956.
- Elsner, R.W.: *Changes in peripheral circulation with exercise training. Alaskan Air Command, Arctic Aeromedical Laboratory, Ladd AFB, 1960, Technical Report 59-16.*
- Fox, I.J., Brooker, L.G.S., Heseltine, D., Essex, H. E., and Wood, E.H.: *A tricarboamine dye for continuous recording of dilution curves in whole blood independent of variations in blood oxygen saturation. Fed. Proc.* 16:39, 1957.
- Gilbert, R., Baule, G.H., and Anchinloss, J.H., Jr.: *Theoretical aspects of oxygen transfer during early exercise. J. Appl. Physiol.* 21:803, 1966.
- Gilford, S.R., Gregg, D.E.M., Shad, D.W., Ferguson, T.B., and Mrzetta, L.A.: *An improved cuvette densitometer for cardiac output determination by the dye dilution method. Rev. Sci. Instru.* 24:696, 1953.
- Guyton, A.C., Douglas, B.H., Langston, J.B., and Richardson, T.Q.: *Instantaneous increase in mean circulatory pressure and cardiac output at onset of muscular activity. Circ. Res.* 11:431, 1962.
- Henderson, Y., Haggard, H.W., and Dolley, F.S.: *The efficiency of the heart and the significance of rapid and slow pulse rates. Am. J. Physiol.* 82:512, 1927.
- Hermansen, L., and Andersen, K.L.: *Aerobic work capacity in young Norwegian men and women. J. Appl. Physiol.* 20:425, 1965.
- Hettinger, T., Birkhead, N.C., Horvath, J.M., Isselkutz, B., and Rodahl, K.: *Assessment of physical work capacity. J. Appl. Physiol.* 16:153, 1961.

- Hickam, J.B., Dryor, W.W., Page, E.B., and Atwell, R.J.: *Respiratory regulation during exercise. J. Clin. Invest.* 30:503, 1951.
- Holmgren, A., Mossfeldt, I., Sjöstrand, T., and Strom, G.: *Effect of training on work capacity, total Hb, blood volume, heart volume and pulse rate in recumbent and upright positions. Acta Physiol. Scand.* 50:72, 1960.
- 猪飼道夫, 杉本良一, 石河利寛: *スポーツの生理學. p.83. 同文書院, 東京, 1961.*
- Issekutz, B., and Rodahl, K.: *Respiratory quotient during exercise. J. Appl. Physiol.* 16:606, 1961.
- Johnson, H.E.: *Applied Physiology. Ann. Rev. Physiol.* 8:355, 1946.
- Knehr, C.A., Dill, D.B., and Neufeld, W.: *Training and its effects on man at rest and work. Am. J. Physiol.* 136:148, 1942.
- Krogh, A., and Lindhard, J.: *Measurement of the blood flow through the lungs of man. Skand. Arch. Physiol., Leipzig,* 27:100, 1912.
- Krumholz, R.A., and Ross, J.C.: *Secondary ventilatory response to exercise; modification by agents which alter cerebral blood flow. J. Appl. Physiol.* 20:257, 1965.
- Liddell, F.D.K.: *Estimation of energy expenditure from expired air. Appl. Physiol.* 18:25, 1963.
- Malhotra, M.S., Ramaswamy, S.S., Ray, S.N., and Shrivastay, T.N.: *Minute ventilation as a measure of energy expenditure during exercise. J. Appl. Physiol.* 17:775, 1962.
- Malhotra, M.S., Sen Gupta, J., and Ral, R.M.: *Pulse count as a measure of energy expenditure. J. Appl. Physiol.* 18:994, 1963.
- Maxfield, M.E.: *Use of heart rate for evaluating cardiac strain during training in women. J. Appl. Physiol.* 19:1139, 1964.
- Margarita, R., Cerretelli, P., Aghemo, P., and Sassi, G.: *Energy cost of running. J. Appl. Physiol.* 18:367, 1962.
- Margarita, R., Cerretelli, P., diPrampiero, P.E., Mas-sari, C., and Torelli, G.: *Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. J. Appl. Physiol.* 18:371, 1963.
- Miller, D.E., Gleason, W.L., and McIntosh, H.D.: *A comparison of the cardiac output determination by the direct Fick method and the dye-dilution method using indocyanine green dye and a cuvette densitometer. J. Lab. Clin. Med.* 59:345, 1962.
- Mitchell, J.H., Sproule, B.J., and Chapman, C.B.: *The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. J. Clin. Invest.* 37:538, 1958.
- Naimark, A., Wasserman, K., and McIlroy, M.B.: *Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. J. Appl. Physiol.* 19:644, 1964.
- 吳亨錫: *運動選手의 生理的變化에 관한 研究. 中央醫學* 5:169, 1963.
- 朴喆斌, 李鍾璠, 尹貞愛, 宋世勳, 洪碭基: *長距離走破 時의 生理學的 變化. 스포츠科學研究報告書* 1:8, 1964.
- Petren, T., Sjöstrand, T., and Sylvén, B.: *Der Einfluss des Trainings auf die Häufigkeit der capillaren in Herz- und Skelettmuskulatur. Arbeitsphysiol.* 9:376, 1936.
- Richardson, M.: *Effect of repetition on the energy expenditure of women performing selected activities. J. Appl. Physiol.* 20:1312, 1965.
- Riley, R.L.: *In: Science and Medicine of Exercise and Sports. edited by W.R. Johnson, New York; Harper, 1960, p. 162.*
- Robinson, S.: *Experimental studies of physical fitness in relation to age. Arbeitsphysiol.* 10:251, 1938.
- Rowell, L.B., Taylor, H.L., Wang, Y., and Carlson, W.S.: *Saturation of arterial blood with oxygen during maximal exercise. J. Appl. Physiol.* 19:284, 1964.
- Schneider, E.C., and Crampton, C.B.: *A comparison of some respiratory and circulatory reactions of athletes and non-athletes. Am. J. Physiol.* 129:165, 1940.
- Schneider, E.C., and Ring, G.C.: *The influence of a moderate amount of physical training on the respiratory exchange and breathing during physical exercise. Am. J. Physiol.* 91:103, 1929.
- Scholander, P.E.: *Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem.* 167:235,

1947.

- Smulyan, H., Cuddy, R.P., Vincent, W.A., Kashe-
msant, U., and Eich, R.H.: *Initial hemody-
namic responses to mild exercise in trained
dogs. J. Appl. Physiol. 20:437, 1965.*
- Stainsby, W.N.: *Effect of muscle contraction on au-
toregulation of blood flow through skeletal
muscle. Fed. Proc. 20:103, 1961.*
- Tabakin, B.S., Hanson, J.S., and Levy, A.M.: *Effects
of physical training on the cardiovascular
and respiratory response to graded upright
exercise in distance runners. Brit. Heart. J.
27:205, 1965.*
- Tabakin, B.S., Hanson, J.S., Merriam, T.W., Jr., and
Caldwell, E.J.: *Hemodynamic response of nor-
mal men to graded treadmill exercise. J.
Appl. Physiol. 19:457, 1964.*
- Taylor, H.L., Buskirk, E., and Henschel, A.: *Maximal
oxygen intake as an objective measure of the
cardio-respiratory performance. J. Appl. Phy-
siol. 8:73, 1955.*
- Van Slyke, D.D., and Sendroy, J., Jr.: *Studies of gas
and electrolyte equilibria in blood. XV. Line
charts for graphic calculations by the Hen-
derson-Hasselbalch equation and for calcula-
ting plasma carbon dioxide content from whole
blood content. J. Biol. Chem. 79:781, 1928.*
- Van Slyke, D.D., and Neill, J.M.: *The determination
of gases in blood and other solutions by vaccum
extractions and manometric measurement. J.
Biol. Chem. 61:523, 1924.*
- Wade, O.L., and Bishop, J.M.: *Cardiac output and
regional blood flow. Oxford, England: Blas-
kwell, 1962, p. 107.*

:Abstract=

Cardio-pulmonary Adaptation to Physical Training**Kang Ha Cho***Department of Physiology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

(Directed by Drs. P.H. Lee and S.K. Hong)

As pointed out by many previous investigators, the cardio-pulmonary system of well-trained athletes is so adapted that they can perform a given physical exercise more efficiently as compared to non-trained persons. However, the time course of the development of these cardio-pulmonary adaptations has not been extensively studied in the past. Although the development of these training effects is undoubtedly related to the magnitude of an exercise load which is repeatedly given, it would be practical if one could maintain a good physical fitness with a minimal daily exercise. Hence, the present investigation was undertaken to study the time course of the development of cardio-pulmonary adaptations while a group of non-athletes was subjected to a daily 6 to 10 minutes running exercise for a period of 4 weeks.

Six healthy male medical students (22 to 24 years old) were randomly selected as experimental subjects, and were equally divided into two groups (A and B). Both groups were subjected to the same daily running exercise (approximately 1,000 kg-m) 6 days a week for 4 weeks, but the rate of exercise was such that the group A ran on treadmill with 8.6% grade for 10 min daily at a speed of 127 m/min while the group B ran for 6 min at a speed of 200 m/min. In order to assess the effects of these physical trainings on the cardio-pulmonary system, the minute volume, the O_2 consumption, the CO_2 output and the heart rate were determined weekly while the subject was engaged in a given running exercise on treadmill (8.6% grade and 127 m/min) for a period of 5 min. In addition, the arterial blood pressure, the cardiac output, the acid-base state of arterial blood and the gas composition of arterial blood were also determined every other week in 4 subjects (2 from each group) while they were engaged in exercise on a bicycle ergometer at a rate of approximately 900 kg-m/min until exhaustion. The maximal work capacity was also determined by asking the subject to engage in exercise on treadmill and ergometer until exhaustion. For the measurement of minute volume, the expired gas was collected in a Douglas bag. The O_2 consumption and the CO_2 output were subsequently computed by analyzing the expired gas with a Scholander micro gas analyzer. The heart rate was calculated from the R-R interval of ECG tracings recorded by an Offner RS Dynograph. A 19 gauge Cournand needle was inserted into a brachial artery, through which arterial blood samples were taken. A Statham P₂₃AA pressure transducer and a PR-7 Research Recorder were used for recording instantaneous arterial pressure. The cardiac output was measured by indicator (Cardiogreen) dilution method.

The results may be summarized as follows:

- (1) The maximal running time on treadmill increased linearly during the 4 week training period at the end of which it increased by 2.8 to 4.6 times. In general, an increase in the maximal running time was greater when the speed was fixed at a level at which the subject was trained. The maximal exercise time on bicycle ergometer also increased linearly during the training period.
- (2) In carrying out a given running exercise on treadmill (8.6% grade, 127 m/min), the following changes in cardio-pulmonary functions were observed during the training period:
 - (a) The minute volume as well as the O_2 consumption during steady state exercise tended to

- decrease progressively and showed significant reductions after 3 weeks of training.
- (b) The CO_2 production during steady state exercise showed a significant reduction within 1 week of training.
 - (c) The heart rate during steady state exercise tended to decrease progressively and showed a significant reduction after 2 weeks of training. The reduction of heart rate following a given exercise tended to become faster by training and showed a significant change after 3 weeks. Although the resting heart rate also tended to decrease by training, no significant change was observed.
- (3) In carrying out a given exercise (900 kg-m/min) on a bicycle ergometer, the following changes in cardio-vascular functions were observed during the training period:
- (a) The systolic blood pressure during steady state exercise was not affected while the diastolic blood pressure was significantly lowered after 4 weeks of training. The resting diastolic pressure was also significantly lowered by the end of 4 weeks.
 - (b) The cardiac output and the stroke volume during steady state exercise increased maximally within 2 weeks of training. However, the resting cardiac output was not altered while the resting stroke volume tended to increase somewhat by training.
 - (c) The total peripheral resistance during steady state exercise was greatly lowered within 2 weeks of training. The mean circulation time during exercise was also considerably shortened while the left heart work output during exercise increased significantly within 2 weeks. However, these functions at rest were not altered by training.
 - (d) Although both pH, Pco_2 and (HCO_3^-) of arterial plasma decreased during exercise, the magnitude of reductions became less by training. On the other hand, the O_2 content of arterial blood decreased during exercise before training while it tended to increase slightly after training. There was no significant alteration in these values at rest.

These results indicate that cardio-pulmonary adaptations to physical training can be acquired by subjecting non-athletes to brief daily exercise routine for certain period of time. Although the time of appearance of various adaptive phenomena is not identical, it may be stated that one has to engage in daily exercise routine for at least 2 weeks for the development of significant adaptive changes.