

장거리 (마라톤) 선수에서의 전 경기중 심박동수의 변화*

연세대학교 의과대학 생리학교실 및 스포츠과학연구소

김 인 교 · 이 중 우 · 하 중 식
유 연 희 · 최 정 옥 · 김 기 호**

≡ Abstract ≡

Changes of Heart Rate During Marathon Running

Dept. of Physiology and Institute of Sports Science, Yonsei Univ. College of Medicine

In Kyo Kim, Jung Woo Lee, Jong Sik Hah, Yun Hee Ryu,
Jung Ok Choi and Ki Ho Kim

To evaluate the present status of physical fitness of Korean long distance runners, body fat, pulmonary functions, maximal oxygen intake and oxygen debt were measured in 5 elite marathoners (A group), 6 college student runners (B group) and 3 middle school student runners (C group). After laboratory tests, full course marathon running was performed in 2 elite marathoners during which their heart rates were monitored continuously.

The results are summarized as follows:

- 1) Total body fat in all three groups are in the range of 13-15% of their body weight.
- 2) In all three groups, average values of various pulmonary functions were within the normal limits, but those of tidal volume were higher and respiratory rate were lower in comparison to normal values. These phenomena may represent respiratory adaptations against training. The average resting oxygen consumptions in A, B and C were 322 ± 23 , 278 ± 14 and 287 ± 16 ml/min, respectively.
- 3) In all three groups, resting blood pressures were in the normal range, but the resting heart rate was slightly lower in groups A (56 ± 3 beats/min) and B (64 ± 2 beats/min) and higher in group C (82 ± 9 beats/min) in comparison to normal values. These changes in cardiovascular functions in marathoners may also represent adaptive phenomena.
- 4) During treadmill running the minute ventilation and oxygen consumption of the runners increased lineally with work load in all three groups. When the oxygen consumption was related to heart rate, it appeared to be an exponential function of the heart rate in all three groups.
- 5) The average maximal heart rates during maximal work were 196 ± 3 , 191 ± 3 and 196 ± 5 beats/min for groups A, B and C, respectively. Maximal oxygen intakes were 84.2 ± 3.3 ml/min/kg in group A, 65.2 ± 1.1 ml/min/kg in group B and 58.7 ± 0.4 ml/min/kg in group C.
- 6) In all three groups, oxygen debts and the rates of recovery of heart rate after treadmill running were lower than those of long distance runners reported previously.
- 7) The 40 km running time in 2 elite marathoners was recorded to be $2^{\circ}42'25''$, and their mean speed was 243 m/min (ranged 218 to 274 m/min). The heart rate appeared to increase

* 본 연구는 1978년도 문교부 학술연구비의 지원으로 이루어졌음.

**연세대학교 의과대학 흉곽내과학교실

lineally with running speed, and the total energy expenditure during 40 km running was approximately 1360.2 Calories. From these it can be speculated that if their heart rates were maintained at 166 beats/min during the full course of marathon running, their records would be around 2°15'.

Based on these results, we may suspect that a successful long distance running is, in part, dependent on the economical utilization of one's aerobic capacity.

I. 서 론

마라톤은 42.195 km를 주자의 최선의 노력으로 계속 달려야하는 경기이므로 선수자신의 강인한 체력과 정신력의 뒷받침이 있어야 되고 또 장기간 반복적인 훈련을 통하여 여러 생리학적 적응현상이 잘 나타나야 좋은 기록향상을 기대할 수 있다.

운동선수들은 지속적인 훈련을 통하여 안정시 심박동수의 저하, 심박출량의 증가 및 안정시 호흡횟수 저하 및 일회호흡량의 증가등의 적응현상이 나타난다^{1,9,16}. 이러한 적응현상때문에 운동선수와 비선수간에는 동일한 운동량부하시에도 그 반응에 차이가 나타나는 것은 이미 잘 알려진 사실이다¹². 그러므로 일정량의 운동량을 부하했을때 나타나는 여러가지 생리적인 기능을 분석함으로써 선수들의 운동적성 여부를 판정할 수도 있다.

더구나 마라톤경기는 장시간의 유기성운동에 의하여 수행되는 운동이므로 이에 는 특히 심폐기능이 경기수행에 결정적인 역할을 한다. 이는 최대산소섭취능을 측정함으로써 평가될 수 있으며 이것은 또한 개인의 최대운동능력을 결정하는 요소이다^{5,6,17,20,22,23}.

이러한 이유로 가까운 일본의 육상경기연맹에서는 과학위원회를 두어 각 선수들의 체력을 정기적으로 검사하여 각 경기종목에 알맞는 체력수준을 결정하였고 모든 선수들에게 이 수준 이상이 되도록 요구하고 있다³³. 그러나 현재 우리나라 실정을 살펴보면 과거 10여년간 마라톤 선수들의 체력에 관한 연구가 하나도 없으며 현재 마라톤 증흥을 위하여 설치된 마라톤 재건 강화위원회에서도 실제로 중요한 선수들의 체격, 체력에 대해서는 무관심한 상태이다. 이에 본 저자들은 장거리 및 마라톤 선수들의 체격, 체력 및 특히 유기성 운동능력의 정도를 평가하는 최대산소섭취능을 측정하고 또 일부 선수들에서는 마라톤 전 코스를 주파하게 하여 이때 생리적인 변화를 측정하여 과거 10여년간 마라톤 선수들의 체력과 비교하였으며 또한 침체상태를 벗어나지 못하는 한국 마라톤경기의 기록 향

상에 도움이 될 수 있는 자료를 얻고자 본 연구에 착수하였다.

II. 실험대상 및 방법

가. 피검자

피검자는 한국 대표급이라 할 수 있는 실업팀의 기성 마라톤선수 5명(A군)과 6명의 대학 장거리 마라톤선수(B군) 및 3명의 중학교 육상부 장거리(3000 m) 선수들(C군)을 대상으로 하였다. 이들의 평균 연령은 각각 20.8세, 19.8세 및 15.0세이며 평균 운동경력은 A군에서 7.1년, B군이 7.5년이며 중학선수들인 C군은 2.8년이었다.

이들의 총 지방량은 Lange 회사제 skin caliper를 사용하여 박¹⁴이 얻은 4부위(triceps, shoulder, abdomen, waist) 피부 두겹집기법에 의하여 측정하였는데, 이들의 평균값은 A군에서 체중의 14.4%, B군에서 13.5% 및 C군에서 15.2%이었다. 제 1 표는 이들의 신체 특성을 나타낸 도표이다.

나. 실험방법

1. 폐용적 및 폐기능

Collins 회사제 7 l spirometer를 사용하여 좌위에 서 각 폐용적을 측정하였으며 이와 동시에 시간폐활량(timed vital capacity, forced expiratory volume per second, FEV_{1.0})과 최대환기능(maximal breathing capacity, MBC)을 측정하였다. 또한 잔기량(residual volume)은 Rahn 등³³의 3회 호흡법에 의하여 측정하였다.

모든 폐용적은 체내상태(BTPS)로 환산하였고, 폐활량과 MBC의 정상 표준치는 각각 Kory 등¹¹과 Baldwin 등²²의 표준치 측정 수식으로 계산하여 실측치를 표준치에 대한 백분율로 나타내었다.

2. 폐포환기능

피검자를 약 30분동안 좌위에서 충분히 휴식을 취하게 한 후 안정시 혈압과 심박동수를 측정한 다음 피검

제 1 표 피검자의 신체 특성

	나 이 (세)	신 장 (cm)	체 중 (kg)	체표면적 (m ²)	fat (%)	fat (kg)	LBM (kg)	운동경력 (년)
A군 선수(n=5)	20.8±0.4	170.2±0.8	61.7±2.1	1.71±0.03	14.4±0.5	8.8±0.2	52.9±2.1	7.1±0.6
B군 선수(n=6)	19.8±0.3	171.5±1.5	58.9±1.6	1.69±0.03	13.5±0.5	8.0±0.3	51.0±1.6	7.5±1.1
C군 선수(n=3)	15.0±0.0	169.3±4.3	53.3±2.1	1.60±0.05	15.2±0.6	8.1±0.3	45.2±1.9	2.8±1.3

평균±표준오차

자의 호기를 Collins 회사제 180 l 들이 gasometer 에 채취하여 분시환기량(minute ventilation, \dot{V}_E)과 호흡횟수를 측정하였으며 이 호기중에서 O₂ 및 CO₂의 농도를 측정하여 분시산소섭취량($\dot{V}O_2$)과 분시탄산가스배설량($\dot{V}CO_2$)을 계산하였다. 계산에 의하여 얻어진 $\dot{V}O_2$ 및 $\dot{V}CO_2$ 는 모두 표준상태(STPD)로 환산하였다. 또한 폐포기체를 채취하여 산소 및 탄산가스의 농도를 측정하였고 이에 의하여 호흡사강(respiratory dead space, \dot{V}_D)과 폐포환기량(alveolar ventilation, \dot{V}_A)를 계산하였다.

3. 최대산소섭취능 및 산소부채

피검자를 약 30분동안 충분히 휴식시켜 폐포환기능을 측정한 다음 준비운동으로 A군 및 B군에서는 treadmill 속도를 시속 5 mile, 경사도 12%에서 3분간 주행시켰으며 C군 선수들은 시속 3 mile, 경사도 8%에서 3분간 주행시켰다. 준비운동이 끝난 다음 3분간 휴식시킨 후 treadmill 속도를 시속 5 mile 로 고정하고 경사도를 16%(A군 및 B군), 혹은 8%(C군)에서부터 2%씩마다 증가시켜 최대운동량에 달하도록 하였으며, 각 경사도마다 3분 주행 후 3분 휴식시키면서 주행시에는 마지막 30초간, 즉 2분 30초에서 3분사이의 호기를 180 l 들이 gasometer 에 채취하여 산소섭취량을 측정하고 산소섭취량이 최대에 달할 때를 최대산소섭취능으로 하였는데 대개 최대운동시의 산소섭취량이 최대산소섭취능이었다.

산소부채를 측정하기 위하여 최대운동이 끝난 직후부터 앉은 상태에서 10분간의 호기를 Douglas bag 에 채취하였으며 이때의 산소섭취량으로부터 산소부채를 산출하였다. 이와같은 방법으로 얻은 산소섭취량 및 산소부채량도 역시 표준상태로 환산하였다.

전 실험기간동안 심박동수는 Grass 회사제 EKG pulse preamplifier(model 796 A)를 이용하여 Grass model 7 polygraph 에 기록하여 측정하였다.

4. 옥외실험

옥외실험은 육상연맹 공인 마라톤구간인 한독약품앞

에서 의정부사이를 왕복하는 코스이었다. 이들의 주행시 심박동수는 이들의 가슴에 부착된 EKG telemetry transmitter(Narco, FM-1100-E₂, E₄)에서 송신되는 심음을 FM 수신기로 수신하여 측정하였고 매 5 km 마다 구간기록을 측정하였다.

III. 실험 성적

1. 폐용적 및 폐기능

A군선수들의 폐활량은 4866±209 ml 이고 B군선수 및 C군선수들은 각각 5188±145 ml 및 4018±165 ml 로써 표준치에 대한 백분율은 각각 100%, 117% 및 82%로써 대개 정상범위이었다. 이들의 MBC는 A군 선수들에서 170.4±11.1 l, B군선수가 150±8.2 l, C군선수가 151.7±0.9 l 이며 표준치에 대한 백분율은 각각 131%, 111% 및 128%로써 정상범위보다 약간 높았다. 또한 1회 호흡량은 A군선수 및 B군선수들은 각각 884±33 ml 및 717±41 ml 로써 정상인(약 450~550 ml)보다 현저히 높았는데 이것은 장기간의 훈련효과라고 생각되며 C군선수에서는 552±51 ml 로써 정상범위이었다. C군선수들이 나이가 적고 운동경력이 적으므로(제 1 표 참조) 이들에서는 훈련효과가 아직 충분히 나타나지 않았다고 생각할 수 있다.

기도저항의 크기를 나타내는 FEV_{1.0}와 기속계수³⁵⁾도 모두 정상범위이었다. 이들의 성적은 제 2 표에 나타내었다.

2. 폐포환기능

피검자들의 안정시 폐포환기능은 제 3 표에 나타낸 바와 같다.

안정시 분시환기량은 A군선수에서 11.2±0.4 l/min 이고 B군선수에서 12.8±1.0 l/min, C군선수에서 9.9±1.6 l/min 인데 이들의 호흡사강은 각각 3.2±0.5 l/min, 4.7±0.6 l/min 및 4.7±1.2 l/min 로써 안정시 폐포환기량은 각각 8.0±0.3 l/min, 8.2±0.7 l/min 및 5.2±0.3 l/min 이었다.

제 2 표 폐용적 및 폐기능

	일회호흡량 (ml)	호흡기예비량 (ml)	호흡기예비량 (ml)	잔기량 (ml)	흡기용량 (ml)	기능적잔기량 (ml)	폐활량		전용폐용량 (ml)	잔기량/전용폐용량 (%)	최대환기능		시간폐활량 (%)	시간계속수
							실측치 (ml)	표준치에 대한 %			실측치 (l/min)	표준치에 대한 %		
A군 선수	844 ±33	2225 ±137	1809 ±98	1231 ±92	3068 ±153	3049 ±176	4866 ±209	100±3	6097 ±270	20.1 ±1.0	170.4 ±11.1	131±7	89.6 ±0.8	1.30 ±0.07
B군 선수	717 ±41	2265 ±109	2207 ±147	1575 ±167	2982 ±106	3782 ±214	5188 ±145	117±2	6763 ±248	23.1 ±1.7	150.2 ±8.2	111±6	84.4 ±0.7	1.11 ±0.05
C군 선수	552 ±51	1926 ±243	1442 ±309	1928 ±308	2580 ±156	3373 ±244	4018 ±165	82±4	5950 ±267	32±4	151.7 ±0.9	127±4	91.2 ±3.6	1.48 ±0.04

평균±표준오차

제 3 표 안정시 폐포 환기능

	분시환기량 \dot{V}_E (l/min)	호흡횟수 f(회/min)	분시환기량 \dot{V}_D (l/min)	분시폐포환기량 \dot{V}_A (l/min)	\dot{V}_D/\dot{V}_E	산소섭취량 $\dot{V}O_2$ (ml/min)	탄산가스배설량 $\dot{V}CO_2$ (ml/min)	기체교환율 R	폐포 환기	
									산소맥 ml/beat	O ₂ beat ml/beat/kg
A군 선수	11.2 ±0.4	13.2 ±0.5	3.2 ±0.5	8.0 ±0.3	0.30 ±0.03	322±23	274±17	0.85 ±0.021	5.81 ±0.50	0.094 ±0.007
B군 선수	12.8 ±1.0	21.7 ±2.1	4.7 ±0.6	8.2 ±0.7	0.35 ±0.03	278±14	233±7	0.85 ±0.05	4.36 ±0.25	0.07 ±0.01
C군 선수	9.9 ±1.6	20.0±4.0	4.7 ±1.2	5.2 ±0.3	0.45 ±0.06	287±16	206±29	0.71 ±0.09	3.63 ±0.62	0.07 ±1.01

평균±표준오차

제 4 표 최대운동시의 심폐기능

	최대운동량 kg·m/min	최대심박수 beats/min	최대환기량 l/min	최대산소섭취능		최대 산소맥		산소부채
				ml/min	ml/min/kg	ml/beat	ml/beat/kg	
A군	2123±127	196±3	133.6±4.9	5169±32	84.2±3.3	26.45±0.40	0.43±0.02	5.81±0.30
B군	1898±67	191±3	111.6±4.7	3835±63	65.2±1.1	20.11±0.42	0.34±0.01	4.41±0.28
C군	1287±50	196±5	76.6±9.0	3132±136	58.7±0.4	16.03±0.80	0.30±0.006	3.74±0.44

평균±표준오차

안정시 산소섭취량은 A군선수에서 322±23 ml/min 이고 B군선수에서 278±14 ml/min, C군선수에서는 287±17 ml/min 이었고 탄산가스배설량은 각각 274±17 ml/min, 233±7 ml/min 및 206±29 ml/min 로써 이들의 기체교환율(R)은 각각 0.85, 0.85 및 0.71이었다. 이들의 안정시 산소맥은 A군선수에서 5.81±0.50 ml/beat, B군선수에서 4.36±0.25 ml/beat 이며 C군선수에서 3.63±0.62 ml/beat 이었다.

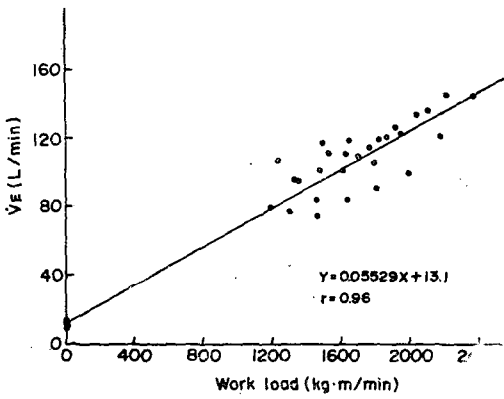
3. Treadmill 주행시 산소섭취량, 최대 산소섭취능 및 산소부채

각 피검자를 모두 운동량이 증가함에 따라 분시환기량이 증가하였는데 운동량의 증가에 따른 분시환기량의 변화는 제 1, 2 및 3도에 나타낸 바와 같이 각 선수군에서 직선적으로 증가하였으며 양자사이의 상관계

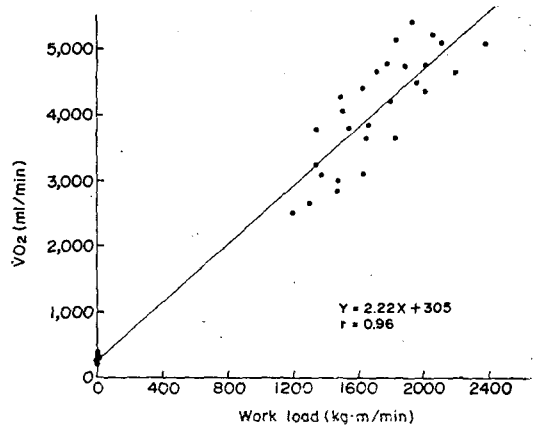
수는 A군선수에서 0.96, B군선수에서 0.94이고 C군선수에서 0.93이었고 최대 운동시의 최대환기량은 각각 133.6±4.9 l/min, 111.6±4.7 l/min 및 76.6±9.0 l/min 이었다(제 4 표).

또한 A군선수나 B군선수 및 C군선수 모두 운동량이 증가함에 따라 산소섭취량이 직선적으로 증가하였는데 이 관계는 제 4, 5 및 6도에 나타난 바와 같으며 상관계수는 각각 0.96, 0.96 및 0.97이었다.

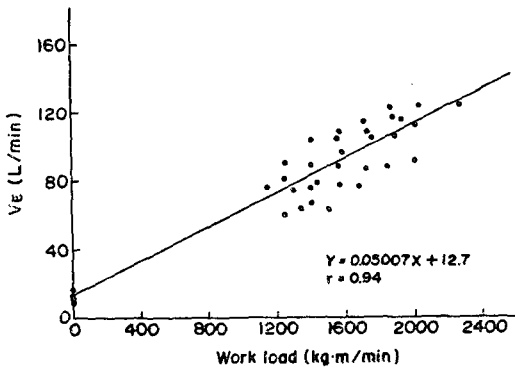
이들은 모두 최대 운동시에 최대산소섭취능을 나타내었는데 최대산소섭취능은 A군선수에서 5169±32 ml/min, B군선수에서 3835±63 ml/min, C군선수에서 3132 ml/min 로써 이것을 체중당으로 환산하면 각각 84.2±3.3 ml/min/kg, 65.2±1.1 ml/min/kg, 및 58.7±0.4 ml/min/kg 이었다(제 4 표).



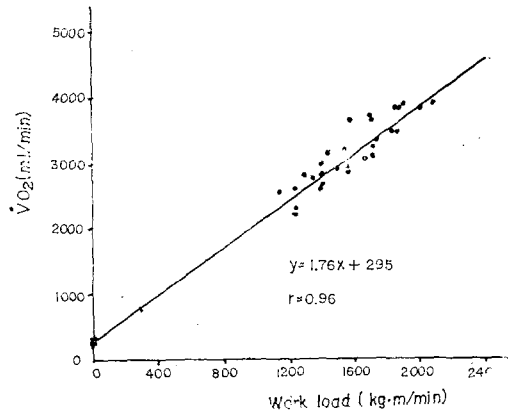
제 1 도 A군선수에서 운동량변화에 따른 분시환기량의 변화



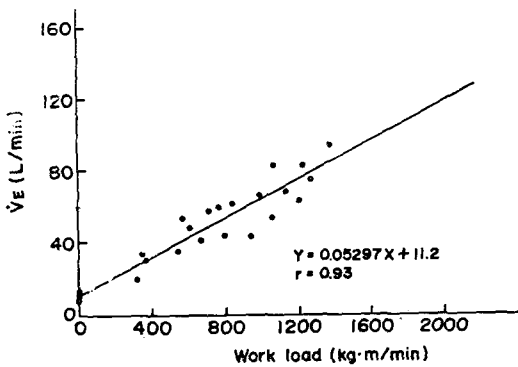
제 4 도 A군선수에서 운동량변화에 따른 산소섭취량의 변화



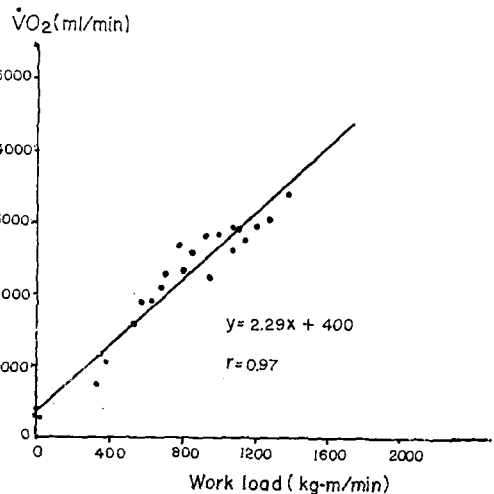
제 2 도 B군선수에서 운동량변화에 따른 분시환기량의 변화



제 5 도 B군선수에서 운동량변화에 따른 산소섭취량의 변화



제 3 도 C군선수에서 운동량변화에 따른 분시환기량의 변화



제 6 도 C군선수에서 운동량변화에 따른 산소섭취량의 변화

—김인교 외 5인 : 장거리(마라톤)선수에서의 전 경기중 심박동수의 변화—

제 5 표 안정시, 최대운동시 및 운동이 끝난후의 심박동수 및 혈압

	안정시	최대운동시	운동 후						
			1'	2'	4'	6'	8'	10'	
A군	혈압 (mmHg)	124±5/ 58±6	—	183±11/ 73±11	155±7/ 62±10	134±6/ 54±6	125±2/ 53±6	120±3/ 57±6	118±5/ 56±6
	심박동수 (회/min)	56±3	196±3	117±3	103±3	95±2	94±3	92±3	90±3
	회복율(%)	—	—	56.7±2.4	66.4±2.6	72.6±2.9	73.3±3.8	75.0±3.9	76.5±4.0
B군	혈압	120±3/ 65±2	—	174±2/ 80±6	158±2/ 75±6	143±4/ 69±4	133±4/ 67±4	125±4/ 66±3	117±3/ 62±2
	심박동수	64±2	191±3	139±7	114±5	107±4	104±5	102±5	100±5
	회복율	—	—	41.8±4.0	61.0±3.0	66.3±2.0	68.9±2.1	70.6±2.3	72.5±2.6
C군	혈압	127±9/ 88±4	—	—	—	—	—	—	—
	심박동수	82±9	196±5	140±12	120±10	118±11	116±9	114±10	112±11
	회복율	—	—	48.8±5.0	66.5±2.7	68.3±3.7	70.1±2.0	71.8±2.6	73.5±3.6

평균±표준오차

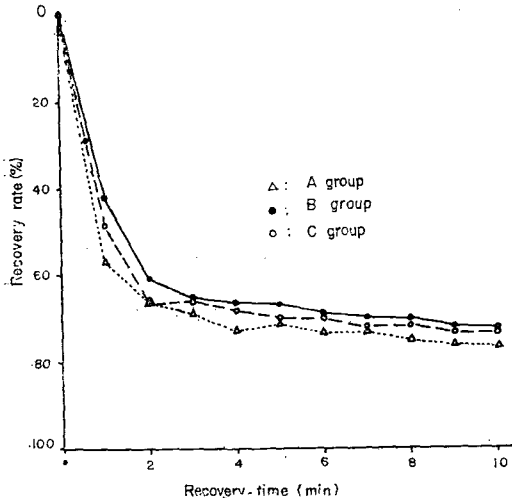
또한 최대 운동시 산소맥은 A군선수에서 26.45±0.40 ml/beat, B군선수에서 20.11±0.42 ml/beat, C군선수에서 16.03±0.80 ml/beat 이었다. 한편 최대 운동이 끝난 후 10분 동안의 산소부채는 A군선수에서 5.81±0.30 l(4.73~6.56 l)이었고 B군선수에서는 4.41±0.28 l(3.47~5.51 l)이었고 C군선수에서는 3.74±0.44 l(3.25~4.63 l)이었다(제 4 표).

4. 안정시, 운동시 및 회복시의 심박동수 변화와 산소섭취량과의 관계

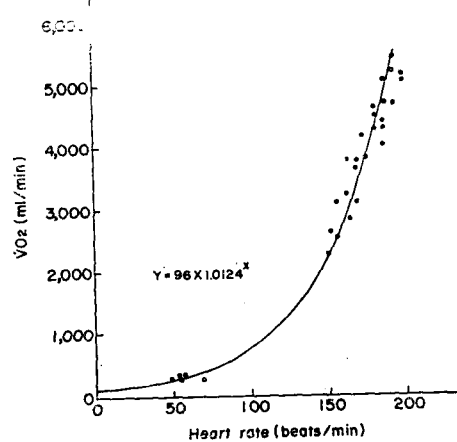
제 5 표에서 보는 바와 같이 A군선수의 안정시 혈압 및 심박동수는 각각 124±5/58±6 mmHg 와 56±3회/min 이었고 B군선수에서는 각각 120±3/65±2 mmHg, 64

±2회/min 이었으며 C군선수에서는 각각 127±9/88±4 mmHg, 82±9회/min 이었다.

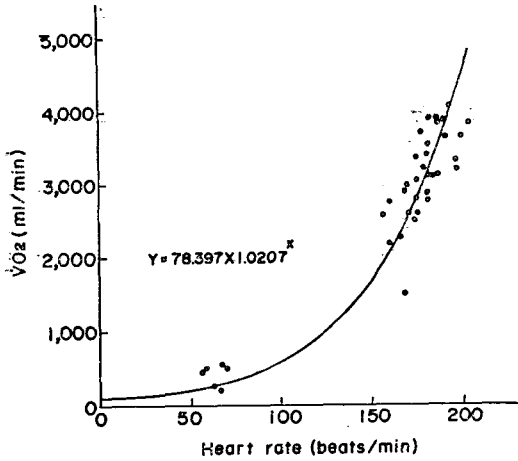
심박동수도 운동량의 증가에 따라 증가하였는데 최대 운동량 부하시의 최대심박동수는 A군선수에서 196±3회/min, B군선수에서 191±3회/min였고, C군선수에서 196±5회/min 이었다. 운동이 끝난 후의 심박동수의 회복은 운동후 4분 및 10분에 A군선수에서 각각 72.6%, 76.5%가 회복되었고 B군선수에서 각각 66.3%, 72.5%, C군선수에서 68.3%, 73.5%가 회복되어 이들의 심박동수 회복이 비교적 느린 것을 알 수 있다(제 5 표). 제 7 도는 최대운동이 끝난 후 심박동수의 회복율을 도시한 것이다.



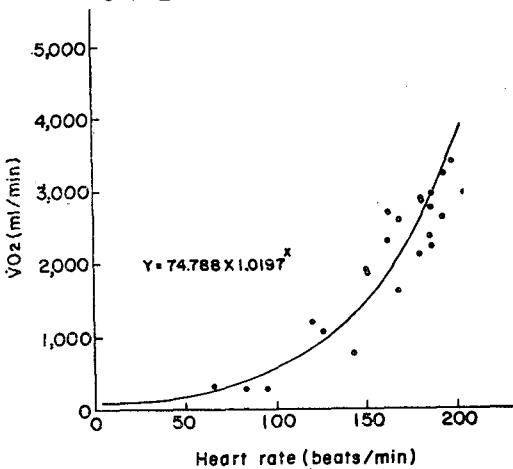
제 7 도 최대운동후 심박동수의 회복율의 변화



제 8 도 A군선수에서 심박동수의 변화에 따른 산소섭취량의 변화



제9도 B군선수에서 심박동수 변화에 따른 산소섭취량의 변조.



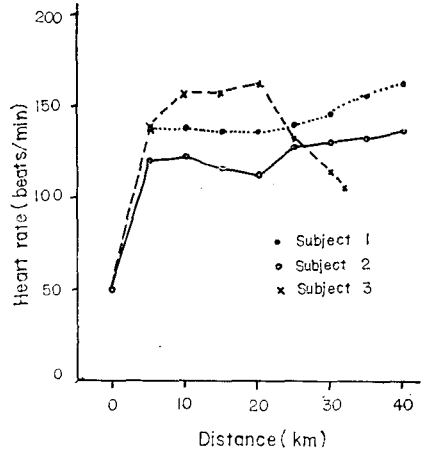
제10도 C군선수에서 심박동수의 변화에 따른 산소섭취량의 변화

피검자들의 treadmill 운동시 심박동수와 산소섭취량과의 관계는 제 8, 9 및 10도에 도시하였는데 그림에서 보는 바와 같이 심박동수가 증가함에 따라 산소섭취량이 지수함수적으로 증가하였다.

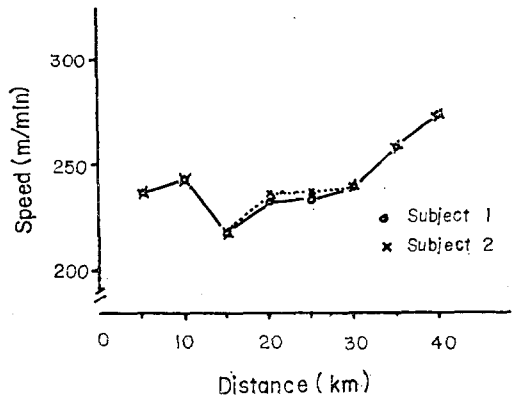
5. 마라톤 전 코스 주파시의 심박동수의 변화

A군 선수(n=2)에서 40 km 주파시의 기록은 2시간 42분 25초였으며 구간기록(5 km)은 평균 20분 48초(18분 16초~22분 55초)이었다. 이 날의 기상 조건은 기온이 -8°C에 심한 눈보라가 몰아쳤고 길에는 눈이 쌓이고 얼어 길이 매우 미끄러웠기 때문에 road condition은 거의 최악이었다.

다른 A군선수 1명과 B군선수 1명은 다른날 태능선수



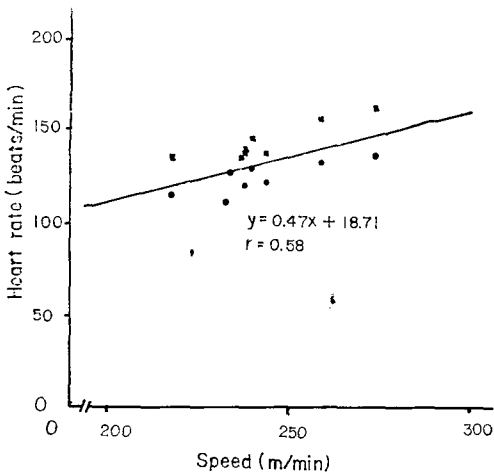
제11도 마라톤 전코스의 구간별 심박동수의 변화. subject 3 선수는 20 km까지는 제대로 뛰다가 20 km 이후부터 급격히 pace가 떨어져 33 km 지점에서 기권하였다.



제12도 마라톤 전코스의 구간별 분속

촌→육사 후문→신내동→한독약품앞→도봉산 입구의 코스를 택해 뛰었는데 선수촌에서 한독약품앞까지의 15 km는 비포장도로였으며 이날의 기온은 6°C, 풍속이 거의 없는 매우 화창한 날이었으나 B군선수는 20 km 지점에서 기권하였고 A군선수(제11도의 subject 3)도 20 km 지점부터 pace가 급격히 감소하다가 마침내 33 km 지점에서 기권하였으므로 이들의 기록은 성적에서 제외하였다. 40 km를 완주한 두 선수(제11도의 subject 1, 2)의 구간에 따른 심박동수는 제11도에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 대개 일정한 심박동수를 유지하다가 마지막 10 km를 남기고 심박동수가 약간 증가하였고 심박동수의 증가와 함께 이때의 구간기록도 증가하였다(제12도).

제13도는 마라톤 전 코스 주파시의 분속과 이때 심



제13도 마라톤 전코스 주파시 분속과 심박동수와의 관계

박동수와의 관계를 본 것인데 속도가 증가함에 따라 심박동수가 직선적으로 증가하였으며 양자사이의 상관관계 $r=0.58$ 이었다. 또한 이들의 40 km 주파시 energy 소비를 보면 1360.2 Cal 를 소비하였다(산소 1 l 사용시에 4.83 Cal 가 쓰임).

IV. 고 찰

진신지구력이라 함은 호흡순환기 계통의 지구력을 말하며, 주로 생체 전반에 작용할 수 있는 일정한 운동등을 부하시켜 기진할 때까지의 시간을 의미하는데 이는 여러조직 및 장기의 산소공급의 정도로 좌우된다. 그러므로 호흡순환기 계통의 기능을 측정하여 파악한다는 것은 선수들의 체력평가에 매우 유익하다.

본 연구는 현재 우리나라의 장거리 및 마라톤 선수들의 체력현황을 알기 위하여 수행된 것이다.

이들의 폐기능을 보면 안정시 일회호흡량이 매우 많으며 호흡횟수가 적는데 이것은 오랜 훈련에 의한 적응현상이라고 할 수 있다^{9,16)}. 이들의 폐활량은 표준치와 비슷하나 최대환기능은 표준치보다 높아 모두 10여년전의 성적²⁷⁾과 비슷하였으며 기도저항의 크기를 나타내는 FEV_{1.0}과 기속계수³⁵⁾도 모두 정상치였으므로 이들의 폐기능은 양호하다고 할 수 있다.

Bramwell 및 Ellis¹⁾는 각 종목의 선수들의 안정시 심박동수를 측정된 결과 마라톤 선수들이 가장 낮은 값을 보였다고 하였으며 이 현상은 장기간의 훈련에 의한 적응현상의 하나로써 이는 심박출량의 증가와 더불어 심장근의 운동효율이 증대된 것을 뜻한다고 하였으며 Freedmann 등⁴⁾도 훈련에 의하여 심박동수가

낮아지더라도 일회심박출량이 증가하므로 분시 심박출량은 도리어 증대된다는 것을 관찰한 바 있다. 본 성적에서는 안정시 심박동수가 A군 선수에서 56회로 가장 낮고 B군 선수는 64회, C군 선수는 82회로 가장 높았는데(제 5 표 참조) C군 선수들은 나이가 어리고 훈련기간이 짧아 아직 적응현상이 오지 않은 것으로 생각되며 A군 선수가 가장 낮은 것은 이들의 최대 산소섭취능이 가장 높은 것으로 봐서 이들에게 가장 적응 현상이 잘 나타난 것으로 사료된다. 또한 안정시 혈압도 work capacity가 큰 사람에서 낮다고 하는데³²⁾ 본 실험의 경우 A군 및 B군 선수에서 이완기 혈압이 정상에 비하여 약간 낮은 것 외에는 정상인과 별차이가 없다(제 5 표 참조).

각 피검자들의 최대산소섭취능을 보면(제 4 표 참조) A군 선수에서 84.2 ml/min/kg 이고 B군 선수에서 65.2 ml/min/kg 이며 C군 선수에서 58.7 ml/min/kg 로써 A군 선수에서 월등히 높은 것을 알 수 있으며 이 값은 10여년 전의 한국 대표급 마라톤 선수들의 평균치인 77.5 ml/min/kg²⁷⁾보다 훨씬 높은 값이며 일본 대표급 선수(79~84.1 ml/min/kg)나 일본 마라톤 선수들의 평균치인 77.9 ml/min/kg³³⁾보다도 높다.

Costill 등³⁶⁾은 보고된 마라톤 선수의 최대 산소 섭취능과 그들의 마라톤 기록과는 아무런 상관 관계가 없다고 하였다. 즉 14명의 세계적인 마라톤선수들의 평균 최대 산소 섭취능은 77.4 ml/min/kg 인데 반하여 경기 기록이 좋은 Shorter(2° 10' 30"), Moore(2° 11' 36") 등은 모두 평균치 이하였으며 특히 세계기록 보유자인 Clayton(2° 8' 22")은 불과 69.7 ml/min/kg 라고 하였다. Shorter나 Clayton이 그들의 최대 산소 섭취능이 적은데도 불구하고 좋은 경기 기록을 낼 수 있는 것은 그들이 최대 산소 섭취능의 많은 부분(85% 이상)을 이용하여 경기를 지속하는 경제적인 선수들이라고 Costill 등³⁶⁾은 지적하였다.

본 실험에서 40km 주파시 가장 빠른 speed가 274 ml/min였는데(제12도 참조) 이때의 평균 심박동수는 148로써(제13도 참조) 이에 해당되는 산소 소비량은 2210 ml/min정도이며(제 8 도 참조) 이 값은 그들의 평균 최대 산소 섭취능인 5169 ml/min의 약 43% 정도이다. Costill 및 Fox²⁸⁾은 거의 모든 마라톤 선수들이 경기중 자신의 최대 산소 섭취능의 약 75~80%를 사용한다고 하였고, 또 costill 등³⁴⁾은 최대 산소 섭취능의 70%이상을 사용하는 runner에서 혈액내의 lactate 축적이 적어진다고 하여 장거리 주파시에는 효율적인 산소섭취가 기록을 좌우한다고 하였다. 또한

그들은 speed가 증가할 때 산소섭취량이 직선적으로 증가하여 이때 혈액내 lactate가 적어지므로 오히려 speed가 빠를 때 더 효율적으로 오래 경기를 수행할 수 있다고 하였다. 그러므로 만일 이 선수들이 그들 최대 산소 섭취능의 80%를 사용하여 경기를 한다면 이론상 2시간 6분대, 70%를 사용하여 경기한다면 2시간 11분대에 마라톤 전 코스를 주파할 수 있다. 만일 이들이 마라톤 코스를 2시간 15분대에 주파하려면 분속이 312.6 m이어야 하는데 이때의 심박동수는 166/min, 산소 소비량은 3300 ml/min로써 최대 산소 섭취능의 64%만 소비하여도 된다. 그러나 전 코스 주파 중 심박동수를 계속 166/min로 유지하며 2시간 남짓 운동하기는 매우 어렵다. 그러므로 적은 심박동수로도 산소를 충분히 공급할 수 있는 강력한 심폐기능을 가질 수 있도록 심폐기능을 더욱 강화하여야 한다. 이들이 높은 최대 산소 섭취능을 갖고 있으면서도 심폐기능에 문제가 있다는 것은 이들이 높은 최대 심박동수 및 운동후 심박동수의 회복이 매우 느리다는 것으로도 알 수 있다. 각 선수군들에서 최대 운동시의 최대 심박동수는 A군 선수에서 196회/min, B군 선수에서 191회/min 및 C군 선수에서 196회/min인데(제 5 표 참조) 이것은 10여년전 한국 마라톤 선수들의 184회/min²⁷⁾나 한국 장거리 육상선수의 179회/min^{25, 26)}, 일본 선수들의 170회/min²¹⁾ 및 Costill 등³⁴⁾의 미국 장거리 선수들의 179회/min 보다 훨씬 높다. 물론 C군 선수들은 아직 소년기이며 충분한 훈련이 안되어 있다는 것을 감안하면 이들의 높은 값은 당연한 것으로 보아도 좋을 것 같다. 실제로 최대 심박동수는 10대에서 최고를 보이고 이후에는 나이에 따라 점차 감소하며²²⁾ 이것은 훈련에 의해 더욱 감소될 수 있다.^{10, 19)} 또한 피검자들은 운동 후 심박동수의 회복이 매우 느려 10여년전의 한국 대표급 마라톤선수들이나²⁷⁾ 30세 미만의 공군 전투조종사들³⁷⁾보다도 더 느리다(제 7 도 참조). 이등²¹⁾은 제 3회 경인국제 마라톤 대회에 참가한 일본 선수들에서 최대 심박동수가 170회/min이었고 최대 운동후 1분에 이미 심박동수가 86회/min로 감소하는 것을 관찰한 바 있으며 이때에도 우리나라 대표급선수들보다 일본 선수의 회복이 빨랐다. 물론 유등²⁷⁾의 실험에서는 최대 운동 후의 회복을 본 것이 아니고 submaximal work를 부하한 후 회복을 본 것이기 때문에 운동 직후의 심박동수가 150회/min 정도였기 때문에 빨리 회복된다고 할 수 있으나 회복율을 따지더라도 그들이 본 실험보다 빨리 회복되었다.

이들의 최대 운동시 산소맥을 보면 A군에서 26.45

ml/beat, B군에서 20.11 ml/beat이며 C군에서 16.03 ml/beat이었다. A군은 이등²⁵⁾나 이등²⁶⁾이 보고한 22.5 ml/beat나 유등²⁷⁾이 보고한 24.38 ml/beat와 대동소이하였으나 이것은 최대 심박동수를 낮춤으로써 더욱 좋아질 수 있으며 만일 심박동수가 낮아진다면 1회 박동시 더 많은 산소를 공급하게 됨으로써 심장의 효율을 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다.

피검자들의 산소 부채량은 A군 선수에서 5.81 l이며 B군 선수에서는 4.41 l였는데 A군 선수에서는 성인 남자의 5.56 l^{25, 26)}보다 많았으나 B군 선수는 이보다 적었고 이 값들은 모두 장거리 육상 선수의 6.3 l^{25, 26)}보다는 월등히 적은 값이며 특히 일본 선수의 10~13 l¹⁸⁾에는 비교조차 할 수 없는 값이었다. 산소부채는 speed와 관계 있는 것으로 speed가 빠를수록 산소부채가 증가하는데 실제로 speed를 요구하는 운동종목 선수에서 산소부채가 많았다고 하였다.¹³⁾

또한 운동 능력은 선수개인의 체지방량에도 관계가 있어 체지방이 증가함에 따라 신체 적성지수(index of Harvard step up test)가 낮아진다.^{15, 32)} 이 이유로서 Buskirk 및 Taylor⁷⁾은 지방이 Ocost²⁾를 높이기 때문에 지방이 많으면 운동 능력이 저하된다고 하였다. 아직 체지방이 산소소비량에 어떤 영향을 미치는지는 확실치 않으나 지방 조직에는 상당히 많은 모세혈관이 분포되어 있다. 운동후련에 의하여 근육내의 모세혈관과 energy를 생산하는 mitochondria가 많아지며 여러가지 대사에 관한 효소가 증가되는데^{24, 29, 30, 31)} 이런 변화에 의해 근육내의 O₂ extraction이 증가하게 된다. 그러므로 같은 산소섭취량을 가지고도 많은 부분이 근육에서 쓰여져야 하는데 fat에는 상당량의 모세혈관이 분포되어 있어 이곳으로도 상당량의 blood가 가므로 O₂ extraction 효율이 감소된다. 이렇게 체지방과 운동능력과의 관계를 보면 Shorter는 체지방이 불과 체중의 1.7%로써 다른 미국 마라톤 선수들의 평균인 5~10%보다 훨씬 낮다고 한다.^{34, 38)} 본 실험에서는 13~15%로써(제 1 표 참조) 이 값은 이등²¹⁾의 마라톤 선수에서 19~20%나 이등²⁹⁾의 장거리 및 마라톤 선수에서의 20.8%보다는 매우 감소되었으나 아직 미국 선수들에 비해서는 많다. 물론 체지방은 측정방법, 특히 피부 두겹접기법의 측정부위에 따라 많은 차이가 나기 때문에 위의 해석이 정확한 해석인지는 단언할 수 없다. 그러나 훈련을 통하여 지방산의 산화능력이 증가되므로^{31, 39)} 훈련을 통해서 체지방을 감소시킬 수 있다는 것은 확실하다.

결과적으로 최대산소 섭취능의 효율적인 사용과 훈

면효과가 증가하려면 O₂ pulse를 증가시켜야 하는데 만일 이것이 마라톤 훈련과 마라톤 주파시 기록향상 및 적성여부의 기준이 된다면 체지방의 감소 및 speed를 걸러야 한다고 사료된다.

이상의 성적을 종합해 볼 때 현재 우리나라 선수들은 우수한 유기성 운동능력 즉 최대 산소 섭취능을 갖고 있지만 이를 효율적으로 경기에 사용하고 있지 못하며 비 정상적인 심폐기능—즉 최대 산소 섭취능은 높는데 최대 심박동수가 높고 운동후의 회복이 느린 점 등의—과 산소 부채 과소에 따른 speed 부족등이 기록향상에 저해 요인이 아닐까 사료된다.

V. 결 론

실업팀 소속 기성마라톤선수 5명(A군)과 대학 장거리 및 마라톤 선수 6명(B군) 그리고 중학교 장거리(3,000 m)선수 3명(C군)을 대상으로 폐기능 및 체력 특히 유기성운동능력의 지표인 최대산소섭취능을 측정하고 40 km 주파시 심박동수의 변화를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이들의 총지방량은 체중의 13~15%이었다.
2. 폐용적 및 폐기능은 모두 정상범위였으며 특히 1회 호흡량은 정상인보다 월등히 많았으며 호흡횟수는 적었고 안정시 산소섭취량은 A군 선수에서 322 ± 23 ml/min 이었고 B군 선수에서 278 ± 14 ml/min 이었으며 C군 선수에서 287 ± 16 ml/min 이었다.
3. 안정시 혈압은 이완기 혈압이 약간 낮은 외에는 모두 정상인과 같았으며 안정시 심박동수는 A군 및 B군 선수에서 매우 낮아 각각 56 ± 3 회/min 및 64 ± 2 회/min 이었고 C군 선수는 82 ± 9 회/min 이었다.
4. Treadmill 운동시 운동량의 증가에 따라 분시환기량과 산소섭취량은 직선적으로 증가하였으며 운동량증가에 따른 심박동수의 증가에 따라 산소섭취량은 지수적으로 증가하였다.
5. 최대운동량 부하시 최대심박동수는 A군 선수에서 196 ± 3 회/min, B군 선수에서는 191 ± 3 회/min 이고 C군 선수에서는 196 ± 5 회/min 이었고 최대산소섭취능은 각각 84.2 ± 3.3 ml/min/kg, 65.2 ± 1.1 ml/min/kg 및 58.7 ± 0.4 ml/min/kg 이었다. 운동 후 산소 부채량은 A군에서 5.81 ± 0.30 l, B군 선수에서 4.41 ± 0.28 l 이었고 C군 선수에서는 3.74 ± 0.44 l 이었다.
6. 운동 후 심박동수의 회복율은 운동후 10분에 A군 선수에서 76.5%, B군 선수에서 72.5%, C군 선수에서 73.5%로써 회복이 매우 느렸다.
7. 2명의 A군 선수에서 40 km 주파시 기록은 2시간

42분 25초였으며 이들의 평균분속은 243 m/min 이었다. Speed가 증가함에 따라 심박동수가 직선적으로 증가하였으며 40 km 주파시 energy는 1360.2 Calory를 소비하였다. 이들의 심폐기능면으로 볼 때 마라톤 주파시 심박동수를 166으로 계속 유지하면 이론적으로 2시간 15분대에 주파할 수 있다.

이상의 성적으로 볼 때 우리나라 마라톤 선수들의 유기성 운동능력은 매우 양호하나 이를 효율적으로 경기에 사용하지 못하며 speed가 매우 부족하였다. 앞으로 이들의 비정상적인 심폐기능이 교정되고 speed 훈련을 더 쌓는다면 좋은 기록이 나오리라 사료된다.

REFERENCES

- 1) Bramwell, C. and R. Ellis: *clinical observations on olympic athletics. Arbeitphysiol.*, 2:51, 1929.
- 2) Baldwin, E. deF., A. Courmand. and D.W. Richards, Jr: *Pulmonary insufficiency. I. Physiological classification, clinical methods of analysis, standard values in normal subjects. Medicine*, 27:243, 1948.
- 3) Rahn, H., W.O. Fenn. and A.B. Otis: *Dailey variations of vital capacity, residual air and expiratory reserve including a study of the residual air method. J. Appl. Physiol.*, 1:725, 1949.
- 4) Freedmann, M.E., G.L. Snider, P. Brostoff. and S. Kimelblot: *Effect of training on response of cardiac output to exercise in athletes. J. Appl. Physiol.*, 8:37, 1955.
- 5) Taylor, H.L., E.R. Buskirk and A. Hensel: *Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J. Appl. Physiol.*, 8:73, 1955.
- 6) Astrand, P.O.: *Human physical fitness with special reference to age and sex. Physiol. Rev.*, 36:307, 1956.
- 7) Buskirk, E.R. and H.L. Taylor: *Maximal oxygen intake and its relation to body composition, with special reference to chronic physical activity and obesity. J. Appl. Physiol.*, 11:72, 1957.
- 8) Balke, B. and R.W. Ware: *The present status of physical fitness in the air force. USAF Sch. Aviat. Med.*, 59-67:1, 1959.

- 9) Stuart, D.H. and W.D. Collings: *Comparison of vital capacity and maximal breathing capacity of athletes and non-athletes. J. Appl. Physiol.*, 14:507, 1959.
- 10) Elsner, R.W.: *Changes in peripheral circulation with exercise training AAL-TR*, 59, 1960.
- 11) Kory, R.C., R. Callahan, H.G. Boren and J.C. Syner.: *The veterans administration army cooperative study of pulmonary function. I. clinical spirometry in normal men. Am. J. Medicine*, 30:243, 1961.
- 12) 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.
- 13) Knuttgen, H.G.: *Oxygen debt, lactate, pyruvate and excess lactate after muscular work. J. Appl. Physiol.*, 17:639, 1962.
- 14) 박경화 : 피부투과법 기법에 의한 한국 공군장병의 총지방량 측정. *항공의학*, 11(2):89, 1963.
- 15) 박경화, 윤창호 : 체내지방량과 *physical fitness*와의 관계에 대한 고찰. *항공의학*, 12:1, 1964.
- 16) 박해근, 박철빈, 윤정애, 오형석, 김희수 : 운동선수의 폐용적, 최대폐기능 및 이산화탄소 호흡시의 호흡 및 순환계 반응에 대한 연구. *대한내과학회잡지*, 7(3):167, 1964.
- 17) Rowell, L.B., H.L. Taylor and Y. Wang: *Limitation to prediction of maximal oxygen intake. J. Appl. Physiol.*, 19:919, 1964.
- 18) 小川新吉 : *運動時の呼吸 ; スポーツ醫學*, 久松巢一郎, 猪飼道夫編, 體育の科學社, 東京, p. 164, 1964.
- 19) 조강하, 박철빈, 이종관 : 운동훈련중의 심폐기능 적응과정. *스포츠과학연구보고서* 2:25, 1965.
- 20) Mitchell, F.E.Jr. and S.M. Horrath: *Physical work capacity in college women. J. Appl. Physiol.*, 20:263, 1965.
- 21) 이종관, 홍성일, 오영근, 홍석기 : 한국마라톤선수의 체격 및 체력에 관하여. *스포츠과학연구보고서*, 3:99, 1966.
- 22) Astrand I.: *Aerobic work capacity, its relation to age, sex and other factors. Circ. Res.*, 20: 211, 1967.
- 23) Dobein, W.V., I. Astrand and A. Berrystrom.: *An analysis of age and other factors related to maximal oxygen intake. J. Appl. Physiol.*, 22: 934, 1967.
- 24) Holloszey, J.O.: *Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. J. Biol. Chem.*, 242:2278, 1967.
- 25) 이기용 : 한국인 청년 남녀의 최대산소 섭취량에 관한 연구. 제2편. 남녀운동선수의 최대 산소섭취량에 관하여. *대한생리학회지*, 1:91, 1967.
- 26) 이기용, 홍성일, 이원규, 송세훈, 홍석기 : 한국 선수의 최대산소섭취능 및 산소부채에 관하여. *스포츠과학 연구보고서*, 3:13, 1966.
- 27) 유명자, 백광세, 홍풍기, 박해근, 홍석기 : 한국 마라톤선수의 체력. *스포츠과학 연구보고서*, 5: 77, 1968.
- 28) Costill, D.L. and E.L. Fox: *Energetics of marathon running. Med. Sci. Sports*, 1:81, 1969.
- 29) Gollic, P.D. and D.W. King: *Effect of 216: exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscle. Am. J. Physiol.*, 1502, 1969.
- 30) Cassin, R., R.D. Gilbert, C.E. Bunnell and E.M. Johnson: *Capillary development during exposure to chronic hypoxia. Am. J. Physiol.*, 220:148, 1971.
- 31) Fröberg, S.O.: *Effect of acute exercise on tissue lipids in rat. Metabolism*, 20:714, 1971.
- 32) 이원창 : 공군 사관생도의 체지방량측정과 체지방량이 신체적성에 미치는 영향에 관한 연구. *항공의학*, 19:27, 1972.
- 33) 日本 陸上競技聯盟 科學委員會 : *體力測定法*. 講談社, 東京, p. 127, 1973.
- 34) Costill, D.L., H. Thomason and E. Roberts: *Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med. Sci. Sports*, 5:248, 1973.
- 35) Comroe, J.H.Jr., R.E. Foster, A.B. Dubois, W.A. Briscoe and E. Carlsen: *The lung. Clinical, physical and pulmonary function test*, 2nd Ed. 1974. Yearbook medical publishers., Inc. Chicago, USA.
- 36) Costill, D.L., W.J. Fink and M.L. Pollock: *Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. Med. Sci. Sports*, 8: 96, 1976.
- 37) 김인교, 박경화 : *Treadmill* 을 이용한 신체적성 향

—김인교 외 5인 : 장거리(마라톤)선수에서의 전 경기중 심박동수의 변화—

- 상에 관한 연구. 항공의학, 24, 25:33, 1976.
1977.
- 38) 山地啓司 : ショーターは何故強いのか, 陸上競技, 27
(14):164, 1977. パースポール, マガジン社,
東京.
- 39) 이중우, 황애란, 강두희 : 저산소 자극이 *mitochondria*의 지방산 산화에 미치는 영향. 스포츠과학 연구 보고서, 15:7, 1978.