

남자 중·고등학생의 최대 산소 섭취량*

서울대학교 의과대학 생리학교실 및 국민체력과학연구소

郭 板 達 · 南 基 鏞

==Abstract==

Maximal Oxygen Consumption in the Secondary School Boys

Kwak, Pan Dal and Nam, Kee Yong

*Department of Physiology and Physical Culture Research Institute,
Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea*

Maximal oxygen consumption measurements were performed on 15 middle school boys (age: mean 14.0, range: 13~16 years) and 14 high school boys (age: mean 17.4, range: 16~19 years). General body build was greater in the high school boys and absolute values of body height, body weight, skinfold thicknesses, maximal oxygen uptake, and maximal pulmonary ventilation followed the same trend. Considered on the basis of body build, however, the values of high school boys were not always greater than those of middle school boys. The following results were obtained.

1. Maximal oxygen consumption in middle school boys was 2.11 l/min., 53.7ml/kg b. weight, 13.9 ml/cm body height, and 63.7 ml/kg LBM. In high school boys the values were: 2.86 l/min., 52.7 ml/kg b.wt., 17.5 ml/cm b. height, and 57.9 ml/kg LBM.

Thus, middle school boys were superior to high school boys on body weight and lean body mass basis. They were also superior to the European boys of the same age.

2. The ratio of maximal oxygen uptake to resting value was 9.7 in middle school boys, and 10.8 in high school boys.

3. Maximal pulmonary ventilation in middle school boys was 58.0 l/min., and 84.0 l/min. in high school boys.

The ratio of maximal ventilation to resting value was the same as oxygen uptake, namely, 9.7 in middle school boys and 10.7 in high school boys.

4. Ventilation equivalent in middle school boys was 27.5 and 29.3 in high school boys. These values represent values of untrained male subjects.

5. Maximal heart rate in high school boys reached to 193 beat/min. and is 2.9 times that of resting heart rate.

6. Maximal oxygen pulse in high school boys was 16.6 ml/beat and was same as that of untrained subject.

7. Correlation between body weight and maximal oxygen consumption in middle school boys was $r=0.570$, and $r=0.162$ in high school boys. Correlation between lean body mass in middle school boys was $r=0.499$, and $r=0.158$ in high school boys. Interrelation between body weight and maximal pulmonary ventilation was poor.

8. The differences between trained and untrained subjects were discussed.

* 국민체력과학 연구소 논문 제29호

신체 운동에 있어서 근육이 활동하면 해당 근육에서 산소 요구 내지는 소비가 증가하여 이에 따라서 근육에 대한 혈액유통량의 증가가 있음은 주지의 사실이다. 증가된 혈액유통량은 다량의 산소를 공급하고 한편으로는 다량으로 발생한 대사 산물을 제거한다. 이러한 순환기능의 향진을 위하여서는 심장 활동이 알맞게 조절되면서 증가하여야 하며 근육 대사의 산물로 나타나는 젖산의 축적 등이 제거되는 때는 허파를 통하여 탄산가스가 배설되어야만한다. 즉 호흡 기능을 통하여 먼저 다량의 산소가 허파로 들어와야만 다시 허파를 통하여 탄산가스가 배설되어야만 한다. 이리하여 적은 수효의 근육이 활동할 경우에는 순환—호흡계에 지워지는 짐은 크지않으나 많은 근육이 활동에 참가하는 전신의 달리기 운동 등은 순환—호흡계에 지우는 짐도 크다. 이 관계는 작업량의 증가에 따라서 같이 증가하는데 어떤 형태의 작업으로서는 그 이상은 순환—호흡계가 활동의 증가를 가져올 수 없는 한계에 도달하며 이 경우에 섭취되는 산소량은 그 형태에 있어서는 최대의 것이다(Taylor et al.). 최대 산소 섭취를 수반하면서 수행되는 신체운동은 같은 형태의 운동으로서는 최대의 에너지를 쓰는 것이며, 따라서 이때의 순환—호흡계의 활동도 최고의 한계에 이르렀다고 보겠다.

이리하여 최대 산소 섭취량 검색은 어떤 개인에 있어서 순환—호흡계 활동의 한계점을 제시하는 것으로 측정되며 (Astrand, 1956), 나아가서는 개인의 신체 운동에 대한 인내력 내지는 지구력을 제시하는 표준이 된다 (Bock et al., 1928). 그 대표적인 예로는 마라톤 경주를 가리킬 수 있으며 이밖에도 장거리 경주에서는 최대 산소 섭취량이 큰 사람이 적합하다고 한다(Robinson et al., 1937).

순환—호흡계 활동은 소위 단련으로 향상한다(Steinhau, 1933). 이것은 소위 체육의 효과라고 할 수 있는 일로서 근육의 힘을 증가시킴과 아울러 이것을 뒷받침하는 순환—호흡계의 활동이 향상되어 힘든 일에 오랫동안 견딜 수 있는 힘을 만들어 준다.

이 논문은 한국의 남자 중·고등 학생에 있어서 최대 산소 섭취량을 보고하는 것으로 트레밀(treadmill) 검사로서 팔과 다리 등 많은 근육의 집단이 사용되는 운동을 시키고 그 이상은 견디지 못하는 정도의 속도와 기울기를 주어서 최대의 노력 따라서 최대의 작업을 강요하여 얻은 성적이다. 이리하여 중·고등 남자 학생의 작업 능력을 제시하는 것이다.

실험 방법

대상자는 남자 중학생 15명과 고등학생 14명으로 합계 29명이었다. 이들의 신체적 특성은 제1표와 같았다. 남자 중학생의 연령이 평균 14.0세, 신장이 151.0cm, 체중이 39.6kg, 4군데 피부두께의 평균 두께가 5.66mm, 총지방량이 15.0%이었으며 한국인 정상값(김인달, 1959)과 비등하였다. 고등학생은 연령 평균 17.4세, 신장이 165.1cm, 체중이 54.5kg, 비군데 피부두께의 평균 두께가 7.52mm, 총지방량이 9.3%이었으며 이것 또한 정상값과 비등한 것이다. 총지방량 측정은 피부 두 점입기법(남기용, 1962)에 따랐으며 등, 팔, 허리 뒷배의 4군데에서 Lange의 집게로 측정된 피부두께 두께의 평균치를 사용하여 金鎮久와 南基鏞(1968)에 따라서 중학생에서는

$$\%Fat=1.933 \times \text{Mean thickness(mm)} + 4.26$$

고등학생에서는

$$\%Fat=1.326 \times \text{Mean thickness(mm)} - 0.064$$

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Skinfold thickness, mm					Fat		LBM	
				Back	Waist	Arm	Abdomen	Mean	(kg)	(%)	(kg)	(%)
Middle school boys, N=15												
Mean	14.0	151.0	39.6	6.0	5.3	6.9	4.8	5.66	5.9	15.0	33.7	85.0
S.D.	0.74	6.5	5.2	0.87	1.5	1.9	1.1	1.13	1.3	1.7	4.6	3.4
Range	13.0~ 15.0	144~ 164	31.1~ 52.1	4.9~ 8.1	4.0~ 9.0	3.8~ 10.1	3.2~ 7.0	4.02~ 8.55	3.4~ 7.9	10.9~ 22.9	27.7~ 44.5	77.1~ 89.1
High school boys, N=14												
Mean	17.4	165.1	54.5	8.4	8.3	6.7	6.7	7.52	5.1	9.3	49.4	90.7
S.D.	0.83	2.6	3.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.22	1.1	0.66	2.9	1.9
Range	16.2~ 19.0	158~ 172	48.5~ 62.1	5.8~ 11.0	5.5~ 11.9	4.5~ 9.1	4.0~ 9.0	5.08~ 10.0	3.0~ 6.5	6.2~ 12.4	45.0~ 55.6	87.6~ 93.8
P<		.001	.001	.001	.001	NS	.001	.001	.1	.001	.001	.001

로 선택하였다.

최대 산소 소비량 측정은 피검자를 트레드밀(treadmill) 위에서 달리게 하여 거의 녹초되고 뼈들어지기 직전에 이르는 힘든 근육 작업을 부과함으로써 최대의 에너지 소비를 강요하여 얻었다. 중학생에서는 트레드밀속도를 6.8 km/hr 또는 7.0 km/hr 로, 고등학생에서는 8 km/hr 로 고정하고 경사각도를 높여서 8.5도 또는 10도로 하여 달리게 하여 최대 산소 섭취량을 결정하였다.

피검자로 하여금 같은 조건으로 트레드밀 위에서 2분 가량 준비 운동을 하게 하고 3분 가량의 휴식 후에 측정하였다. 달리기의 시간은 2분 45초로 하였고 마지막 1분 동안의 넬숨 공기를 채집하여 (Taylor et al., 1955; 임승재·남기용, 1965) 분석하였다. 대상자 가운데는 2분 45초를 완전히 달리지 못하고 도중에 단념하는 예도 있었으며 넬숨 공기 채집 시간이 0.5분을 초과하지 못한 예는 버렸다. 피검자는 보통 대로의 아침 식사를 하였으며 실험실에 도착 즉시 침대에 눕히기를 30분이 상 하여서 심장 박동수가 80 이하인 것을 확인한 후에 안정시 산소 섭취량을 측정하였다. J-valve를 통하여 배출되는 공기를 플라스틱으로 된 용량 100 리터 가량의 더글래스 주머니(douglas bag)에 7분 내지 10분동안 모아서 산소와 탄산가스를 분석하였다.

트레드밀 위에서 달릴 때에는 플라스틱 마스크와 J-valve를 통하여 나오는 넬숨 공기를 더글래스 주머니에 채집하고 이로부터 산소 섭취량을 결정하였다. 더글래스 주머니에 채집된 공기 용량을 wet test gas meter로 측정하였고 공기 중의 산소와 탄산가스의 농도는 micro-Scholander 장치(Scholander, 1947)로 측정하였으며 산소 섭취량 계산은 Consolazio 등(1963)의 계산도표를 사용하여 결정하였다. 달리는 도중의 심장 박동수 측정에는 원격계(telemeter)를 사용하였다.

실험 성적

중학생 : 15 명의 성적을 제 2표, 제 4표 및 제 5표에 보인다. 안정시 산소 섭취량이 227 ml/min. 5.8 ml/kg b. weight 이었고, 무지방 체중 기준으로는 6.8 ml/kg LBM 이었다. 트레드밀 달리기로 얻어지는 최대 산소 섭취량은 2.11 l/min. 이었으며 체중 기준으로는 53.7 ml/kg b. weight 이었고 무지방 체중 기준으로는 63.7 ml/kg LBM 이었다. 산소 섭취량 최대값의 안정값에 대한 비율은 9.7이었다.

폐 환기량은 안정시에 6.0 l/min. 이었고 최대 환기량은 58.0 l/min. 이었으며 최대값 대 안정값 비율은 9.7이었다. 이 값은 산소 섭취량 비율과 비슷한 크기이다. 폐 환기량(l/min.) 나누기 산소 섭취량(l/min.)으로 계산되는 환기 당량은(ventilation equivalent) 안정 상태에

Table 2. Individual data of of maximal oxygen intake and pulmonary ventilation in middle school boys N=15

Subj.	Age (yr)	Body height (cm)	Body weight (kg)	MaxVO ₂ STPD (l)	Max V _E BTPS (l)
KN	14.1	148	37.8	1.90	64.0
YH	14.1	164	52.1	2.20	54.0
C S	14.2	150	40.3	2.04	45.6
KS	13.0	144	34.0	2.14	62.6
HH	14.7	159	49.4	2.50	66.7
CH	13.2	152	39.9	2.65	68.9
HS	15.3	152	36.2	2.15	56.7
LW	13.8	146	37.6	2.12	54.2
MH	13.6	154	36.6	2.25	62.5
KY	14.2	158	41.7	1.95	52.6
Y J	13.0	144	35.8	1.63	49.1
C S	13.0	140	31.1	1.70	45.5
P J	14.7	147	38.1	2.03	60.1
P C	15.0	148	42.6	2.02	58.0
Mean	14.0	151.0	39.6	2.11	58.0
S.D.	0.74	6.5	5.2	0.27	8.4
Range	13.0~15.0	144~164	31.1~52.1	1.63~2.65	45.5~68.9

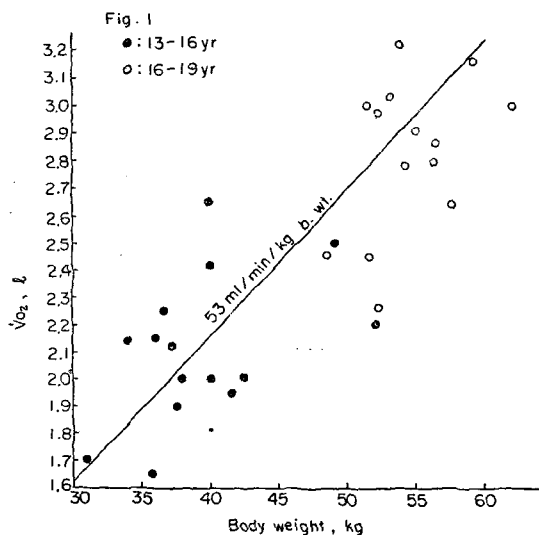


Fig. 1. Maximal oxygen uptake in relation to body weight.

Dotted crossline represents oxygen uptake 53 ml/min./kg body weight, mean value for both middle (13~16yr) and high school boys (16~19 yr.).

서 26.4 이었고 최대산소 섭취 상태에서 27.5로 둘 사이에 차이가 없었다. 산소를 허파에 공급하는데 있어서 허파를 드나드는 공기량은 운동의 크기와 관계가 없었

Table 3. Individual data of maximal oxygen intake and pulmonary ventilation
in high school boys

N=14

Subj.	Age (yr)	Body height (cm)	Body weight (kg)	Max $\dot{V}O_2$ STPD (l)	Max $\dot{V}E$ BTPS (l)	Max. Heart rate beat/min.
N J	16.9	163	51.8	2.45	60.3	192
L S	17.1	165	56.5	2.86	83.2	180
K C	18.4	158	53.2	3.04	103.7	186
K J	17.3	168	48.5	2.97	87.9	192
J J	16.4	164	52.3	2.26	71.6	204
K Y	18.9	166	53.3	3.21	95.3	192
L K	18.1	162	59.2	3.16	95.5	192
C B	16.7	169	54.4	2.78	80.4	180
O S	16.2	169	55.1	2.91	86.1	222
J C	16.5	161	56.7	2.79	85.0	180
K S	18.4	165	52.4	2.97	80.2	192
S K	19.0	172	62.1	3.00	98.3	192
K Y	16.9	164	51.4	3.05	80.0	210
C J	17.2	165	57.8	2.64	68.0	192
Mean	17.4	165.0	54.5	2.86	86.1	193
S.D.	0.83	2.8	3.5	1.01	12.9	11.4
Range	16.2~ 19.0	158~ 172	48.5~ 62.1	2.26~ 3.21	53.2~ 103.7	180~ 222

던 것을 가리키며 들어오는 공기로부터 같은 비율로 산소가 추출되어서 몸속으로 이동함을 말한다.

최대 산소섭취량과 몸무게 사이에는 비교적 좋은 상관 관계가 있었으며 제 6 표에 보는 바와 같이 $r=0.570$ 이었으며 제 1 도는 이 관계를 그린 것이다. 무지방 체중과 최대 산소 섭취량 사이의 상관 계수는 $r=0.499$ 로써 단순한 몸무게 보다도 오히려 저하된 관계에 있었다. 이것은 2 분 45 초라는 짧은 기간을 달리는 최대 운동에

있어서는 총지방량 15.0%라는 크기는 대상자에게 별반 짐이 아니되며 특별한 고려를 하지 않아도 되는 것을 가리킨다. 최대 폐환기량과 체중과의 사이의 상관도는 $r=0.150$ 에 지나지 않았고 무지방 체중과의 사이에는 $r=0.172$ 에 불과하여서 몸집의 크기와 환기량 사이에는 어떠한 관계가 없었음을 가리킨다.

고등 학생 : 고등 학생 14 명의 성적을 제 3, 제 4 및 제 5 표에 보인다. 안정시 산소 섭취량이 272 ml/min.

Table 4. Resting and maximal oxygen intake and oxygen pulse of secondary school boys

	Resting $\dot{V}O_2$			Maximal $\dot{V}O_2$				Ratio $\dot{V}O_2$ Max/Rest	Oxygen pulse	
	ml	ml Kgb. wt.	ml kg LBM	l	ml kgb. wt.	ml kg LBM	ml cm height		Rest	Max
Middle school boys, N=15										
Mean	227	5.8	6.8	2.11	53.7	63.7	13.9	9.7	3.2	
S.D.	38.5	1.1	1.2	0.27	6.9	8.1	1.5	2.5	0.69	
Range	162~ 272	4.1~ 8.6	4.6~ 9.7	1.63~ 2.65	42.3~ 62.9	49.5~ 76.9	11.3~ 17.4	6.3~ 16.4	2.1~ 4.2	
High school boys, N=14										
Mean	272	5.0	5.5	2.86	52.7	57.9	17.5	10.8	4.2	14.4
S.D.	37.3	0.78	0.81	1.0	5.6	6.1	1.6	1.8	0.62	2.0
Range	317~ 317	4.2~ 6.6	4.5~ 7.3	2.26~ 3.21	43.2~ 61.1	49.1~ 67.7	13.7~ 19.5	8.1~ 14.0	3.1~ 5.7	9.8~ 16.7
P	<.001	<.01	<.001	<.001	NS	<.05	<.001	<.02	<.001	

Table 5. Pulmonary ventilation, ventilation equivalent and heart rate in middle and high school boys

	VE, l, STPD			Ventln. eq		Heart rate		
	Rest (l)	Max (l)	Ratio Max/Rest	Rest (l)	Max (l)	Rest	Max	Ratio Max/Rest
Middle school boys, N=15								
Mean	6.0	58.0	9.7	26.4	27.5	73.0		
S.D.	1.4	8.4	2.5	2.3	2.6	9.3		
Range	3.9~ 9.8	45.5~ 68.9	6.5~ 15.2	24.2~ 32.4	22.3~ 33.7	60~ 82		
High school boys, N=14								
Mean	8.2	84.0	10.7	29.6	29.3	65.5	195	2.95
S.D.	1.9	12.9	2.3	3.9	2.6	6.9	11.3	0.38
Range	5.4~ 9.4	53.2~ 103.7	6.1~ 14.9	24.7~ 39.3	24.7~ 34.2	46~ 72	180~ 222	2.5~ 4.2
P<	.001	.001	NS	.01	.2	.1		

로 중학생에 비하면 절대치가 커져있으나 ($p < .001$) 이것은 연령이 많아치고 몸집이 커지는데 따르는 변화라 보아야 할 것이다. 즉 몸무게 기준으로 표시하면 5.0 ml/kg b. weight 로서 중학생보다 유의하게 ($p < .01$), 무지방 체중 기준으로 5.5 ml/kg LBM 이었으며 중학생보다 역시 적었다. ($p < .001$). 최대 산소 섭취량은 2.86 l/min. 이었으며 중학생보다 월등하게 컸다. ($p < .001$). 그러나 이것을 체중 기준으로 표시하면 같은 값을 보였다. 몸집이 커지면서 산소 섭취 총량은 증가하나 몸집이 커졌을 뿐 체중 단위로는 변화가 없었음은 순환-호흡계의 활동 한계에는 적어도 증가는 없고 그냥 같은 상태를 유지하는 것이라고 하겠다. 지방량을 고려하여서 무지방 체중 기준으로 표시한 최대 산소 섭취량은 57.9 ml/kg LBM 으로서 중학생보다 월등하게 감소되었다. ($p < 0.5$). 즉 고등학생의 총지방량은 9.3%에 불과하여 체중 54.5 kg 에 대하여 모두해야 5.1 kg 의 지방질 밖에 없는데 지방질 무게를 합제한 총 체중으로 셈하면 짐의 크기가 9.3%에 불과하나 이것이 중학생이 15.0% 라는 총지방량에 해당하는 짐을 지고 달리는 것보다도 오히려 적었으므로 무지방 체중 기준으로는 최대 산소 섭취량이 현저하게 감소함은 당연하다고 하겠다. 산소 섭취량 최대값의 안정값에 대한 비율은 10.8 로서 중학생보다 증가한 경향을 보였다.

산소맥박(oxygen pulse)은 안정시에 4.2 ml/beat 이었고 최대값은 16.6 ml/beat 이었다. 심장 박동수가 안정시 평균 65 이어서 중학생보다 적었으며 ($p < .1$) 최대 운동의 마지막 1분의 끝의 15초에 193 beat/min. 에 이르러서 그 비율이 2.9에 도달하였는데 산소 섭취량이 10배로 증가했는데 심장 박동수가 3배로 증가하여서 산

Table 6. Coefficients of correlation between body weight, and lean body mass versus maximal oxygen intake and pulmonary ventilation

		Max $\dot{V}O_2(l)$	Max $\dot{V}_E(l)$
Body weight, kg	middle school	0.570	0.150
	high school	0.162	0.274
Body wt, minus fat, kg	middle school	0.449	0.172
	high school	0.158	0.193

소 맥박은 안정시에 비하여 4배 가량으로 증가한 것이다. 허파로부터 산소를 추출하는 심장 박동수의 능력으로 보면 최대 작업 때가 훨씬 좋아진 것이다.

폐환기량은 안정시에 8.2 l/min. 로 중학생보다 절대치가 컸으며 ($p < .001$), 몸집이 커짐에 따라서 환기량이 증가하는 추세를 보인다. 최대폐환기량은 84.0 l/min. 로서 중학생보다 월등하게 ($p < .001$) 증가하였는데 이것 또한 몸집 크기의 하나의 요소인 체중과의 사이의 상관도는 $r=0.274$ 에 불과하였고 중학생에서 $r=0.150$ 인 것을 고려하면 연령 증가에 따라서 체중이 증가한 것으로는 최대 폐 환기량 증가를 별반 설명할 수가 없다. 몸집의 크기를 좌우하는 것으로는 체중 이외에도 몸집이와 가슴둘레 등의 요인이 있는고로 이것들이 같이 고려되어야 폐 환기량 증가가 설명될 것이다. 그러나 최대 산소 섭취량 특히 무지방 체중 기준으로 보면 고등학생은 중학생보다도 오히려 열등한 편이라 볼 수 있으므로 순환-호흡계의 기능이 증가하였다고만 볼 수도 없다. 폐 환기량 최대값의 안정값에 대한 비율은 10.7 이었는데 중학생보다 조금 크다 ($P: NS$). 산소 섭취량도 최

대값은 안정값에 비하여 10.8배로 증가한 값과 똑같은 크기인데 허파로 많이 드나드는 공기로부터 신체가 추출하는 산소량은 안정시나 최대 작업시나, 또는 중학생과 고등학생 같이 몸집 크기에 차이가 있는 것 등에 관계없이 10배 가량의 일정한 값인 것은 흥미롭다. 그러나 환기 당량은 안정시에 29.6과 최대값이 29.3으로 다 같이 중학생에 비하여 크다. 같은 분량의 산소를 섭취하는데 있어서 고등학생에서는 더 많은 폐 환기량이 필요하였던 것으로 그만큼 산소 섭취의 능률이 나쁘다고 할 수 있다.

최대 산소 섭취량과 체중 사이의 상관 관계는 좋지 않았다. 즉 체중과는 $r=0.162$ 에 불과하였고 무지방 체중과도 $r=0.158$ 에 지나지 않았다. 중학생에서는 상당히 좋은 상관도가 있었던 것과는 대조적인데 그 원인을 찾아 보기가 힘들다. 최대 산소 섭취량은 일반적으로 신체 구성 성분과의 사이에 좋은 상관 관계에 있는 것인데(임승재·남기용, 1965) 이 실험의 고등학생에서는 그렇지 않다. 대상자들은 신장의 표준 편차가 2.8 cm, 몸무게의 표준 편차가 3.5 kg로 비교적 분산이 좁게 되고 몸집이 고르게 되어 있었는데 더구나 지방량도 평균 5.1 kg 밖에 지나지 않아서 신체 구성 성분의 차이가 적은 균일한 사람들로서 이 사람들이 트레일 위에서 참고 견디면서 달리는 의욕(motivation)에 개인차가 컸다고 보겠다. 의욕이 좋은 사람은 더 참아서 트레일 속도가 크고 경사도가 큰 조건으로 달리므로 산소 섭취량이 커지고 반면에 의욕이 좋지 않은 사람은 비교적 경한 조건에서도 더 이상은 참지 못하겠다 하여 최대 산소 섭취량을 결정하게 되므로 작은 값이 얻어진 것으로 생각된다. 최대 폐 환기량과 체중 사이의 상관도는 $r=0.274$ 이었으며 무지방 체중과의 사이에는 $r=0.193$ 으로 이것들 또한 별반 좋지 않았다.

고 찰

최대 산소 섭취량은 개인이 주위 공기로부터 허파를 통하여 산소를 섭취하여 이것을 활동하는 근육에 까지 운반하여주는 능력 한계를 표시하는 것으로 절대량으로 보면 고등학생은 그보다 연령이 3세 젊은 중학생에 비하여 35% 더 많이 산소를 섭취한다. 절대량만을 관찰하면 최대 산소 섭취량으로 대표되는 순환-호흡계의 활동 한계가 고등학생이 중학생보다 좋은 것 같이 보인다. 그러나 몸집의 크기를 고려하면 그러하지 않다. 즉 체중 기준으로는 중학생의 53.7 ml/min./kg에 대하여 고등학생이 52.7 ml/min./kg로서 둘이 같다. 신체 운동에 있어서 산소를 소비하는 큰 덩어리가 근육인데 이것과 뼈대, 지방질, 체액 등이 합쳐져 된 체중 기준으로 는 하나도 변화나 증가가 없다는 일은 순환-호흡계 활

동 한계에 차이가 없다는 것을 가리킨다. 더구나 무지방 체중을 기준으로 표시하면 중학생이 63.7 ml/kg LBM으로서 고등학생의 57.9 ml/kg LBM에 비하면 10%

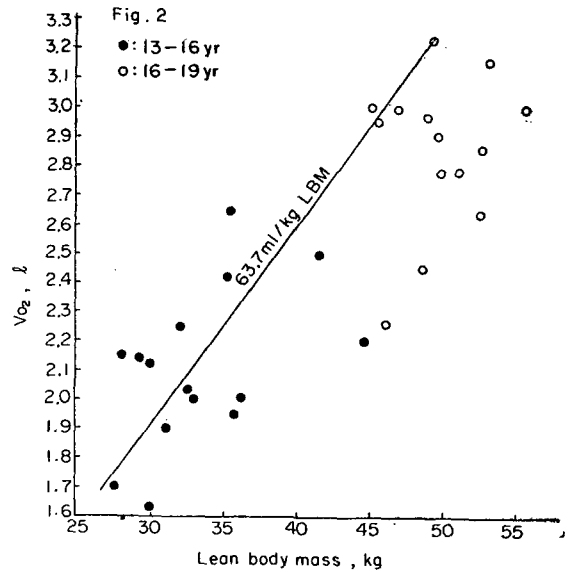


Fig. 2. Maximal oxygen uptake in relation to lean body mass. Dotted crossline indicates oxygen uptake 63.7 ml/min./kg LBM, which is mean value for the middle school boys (13~16yr). Figures for high school boys (16~19yr) scatter mostly below this line.

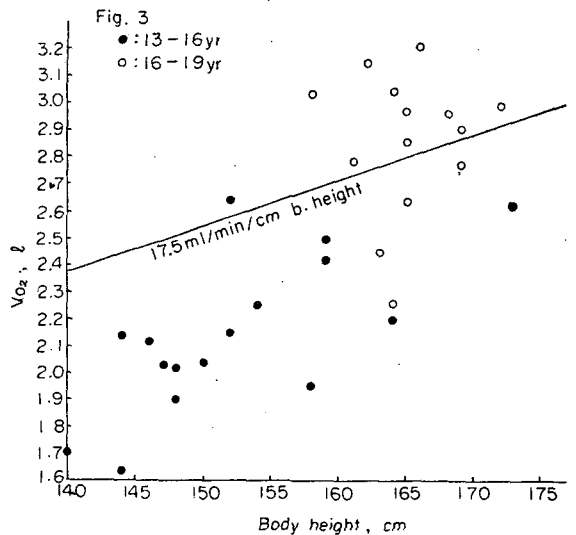


Fig. 3. Maximal oxygen uptake in relation to body height. Dotted crossline indicates oxygen uptake of 17.5 ml/min./cm body height, which is mean value for the high school boys (16~19yr.). All of figures of middle school boys scatter below this line.

나 큰 사실은 신체 내의 신진대사에 적극적 참여가 거의 없는 지방질을 제외하고 생각할 때에 중학생의 작업 능력에 관여하는 근육, 순환—호흡계 기타 장기들이 발달이 좋고 고등학생에서 오히려 나빠졌다고 하겠다.

몸집의 크기와 최대 산소 섭취량 사이의 관계를 보이는 것이 제 1, 제 2 및 제 3 도이다. 제 1 도를 보면 중학생과 고등학생의 각 무리가 거의 독립된 두개의 집단을 이루면서 분포하나, 본질적으로는 균질한 동일한 집단이라 생각할 수 있다. 즉 체중 기준의 값이 다 같이 53 ml/min./kg 라는 사실이 이것을 뒷받침한다고 보아야 할 것이다. 이리하여 평균치인 53 ml/min./kg 의 직선을 중심으로 분포되어 있다. 체중과 최대 산소섭취량 사이의 상관 관계가 중학생에서 $r=0.570$, 고등학생에서 $r=0.162$ 등으로 차이가 있기는 하나 최대 산소 섭취량이 체중에 대하여 직선적으로 증가하는 모양이 잘 나타나 있다. 몸집의 다른 요소인 지방질을 고려한 것이 제 2 도인데 두 집단은 이질적(heterogenous)이라고 보아야 할 것이다. 즉 중학생 집단은 63.7 이란 큰 값이고 고등학생은 57.9 ml/min./kg LBM 이란 집단이다. 이와 같이 이질적 두 집단을 같은 척도에 통일한 것이 제 2 도인데 중학생 값의 평균치인 63.7 ml/min./kg LBM 을 대표하는 직선보다 아래에 대부분 고등학생 수치가 분포

되어 있다. 그렇다면 중학생의 무지방 체중이 체중의 85%인데 고등학생은 90.7%로 5%가량이 증가했는데 무지방 체중 기준의 최대 산소 섭취량은 도리어 감소했다는 것은 근육 등의 활동적 조직이 고등학생에서는 발달 증가했으나 최대 산소 섭취량으로 측정되는 순환—호흡계 활동의 증가는 여기에 따르지 못했다는 것이 된다.

몸집의 또 하나의 요소가 몸집이인데 이것 기준의 그림이 제 3 도이다. 여기에서도 중·고등 학생은 각기 다른 집단을 이루나 키가 크는데 따라서 최대 산소 섭취량이 증가함이 나타나 있다. 다만 여기서는 체중과는 반대의 경향이 있으니, 즉 중학생에서는 최대 산소 섭취량이 13.9 ml/cm body height 인데 고등학생에는 17.5 ml/cm body height 로 증가된 사실이다. 따라서 고등학생의 평균치를 나타내는 직선보다 아래에 모든 중학생의 수치가 분포되어 있다. 이 일은 몸집이의 발육이 중학교 연령에서 벌써 상당히 진행되었던 관계로 그 이후의 증가가 적으나 산소 섭취량은 몸집이 증가 이외의 요인으로 많이 증가하였음을 의미한다. 즉 몸집이는 151.0에서 165.1 cm 즉 1.1배만 증가하였으나 산소 섭취량은 2.11에서 2.86 리터 즉 1.3배로 증가되어 있다. 그러므로 몸집이 단위의 최대 산소 섭취량이 고등학생에서 크게 나타나는 것이다. 14세의 중학교 학생이 17.4

Table 7. Comparison of maximal oxygen uptake data of young male subjects

Author	Country	Sports or occupation	Age	Max $\dot{V}O_2$		
				l	ml/kg b.wt	ml/kg LBM
This paper	Korea	school boys	14.0	2.11	53.7	63.7
			17.4	2.86	52.7	57.9
Im, Nam	Korea	laborer	21.9	2.61	44.5	51.9
Nam	Korea	physical ed. student	21.2	3.47	52.4	59.3
		medical student	21.0	2.61	46.7	53.9
Taylor et al.	America	military personnel	18~35	3.58	48.0	
Welch et al.	America	military personnel	23.7	3.73	49.6	59.6
Hermansen & Anersen	Norway	skier	27.7	4.8	71	80
		student	23.4	3.2	44	
Buskirk & Taylor	America	distance runner	18~29	4.3	65.8	71.2
		student	18~29	3.44	44.6	52.4
Astrand	Sweden	distance runner	20~30	4.37~5.29 5.30~5.88	67	
skier	20~30					
Mitchell et al.	America		20~29	3.37	44.7	
Astrand-Ryhming	Sweden	well trained	20~30	4.11	58.6	
Andersen & Hart	Eskimo		23	2.6	44.0	50
Von Doeblen	Sweden	physical ed student	21~32	3.91	56	63
Robinson	America	boys	14.1	2.63	47.1	
		boys	17.4	3.61	52.8	
Morse et al.	America	boys	14~17		49.1	

세의 고등학생으로 되는 3년 기간에 체중은 39.6에서 54.5 kg로 즉 1.3 배로 증가되어 있어서 산소량 증가와 잘 맞는다. 이렇게 보면 나이를 먹으면서 몸집이 커지는 일 가운데서 몸집이 증가하는 최대 산소 섭취량 증가를 설명하는 만족한 기준이 되지 못한다.

성인 남자의 최대 산소 섭취량은 저자의 대상자인 미성년자의 값보다 절대 치가 크다. 몇몇 성적을 제7표에 보인다. 즉 한국인 체육 대학생에서 3.47 리터이며 의과 대학생에서 2.61(남기용, 미발표) 리터로서 이들 학생의 몸집이 큰것이 반영되어 있다. 20 대의 한국인 노동자에서는 2.61l/min. 로서(임·남, 1965) 중학생과 고등학생의 중간에 위치한다. 미국인 군인과 대학생에서 3.58 l/min.(Taylor et al., 1955), 미국 군인에서 3.73 l/min. (Welch et al.), 노르웨이의 스키 선수에서 4.8 l/min. (Hermansen and Andersen, 1965), 미국 장거리 선수에서 4.3 l/min(Mitchell et al., 1958), 스웨덴의 중거리 선수에서 4.37~5.29 l/min., 스키 선수에서 5.30~5.88 l/min (Astrand, 1956) 등이 보고되었다. 이들 성인에서는 적어도 3리터 이상으로 서양 사람에서는 보통 3~5리터

란 큰 값들이다. 최대 산소 섭취량을 체중 기준으로 표시한 것으로는 스키나 장거리 선수 같은 특수한 경우는 중·고등 학생보다 크나 다른 사람은 그렇지도 않다. 즉 저자의 중·고등 학생이 53.7 및 52.7 ml/min./kg의 값을 보였는데 미국 군인과 대학생에서 48.0 (Taylor et al., 1955), 미국 군인에서 49.6(Welch et al., 1958), 49.8(Mitchell et al., 1958), 49.3 ml/min./kg (Astrand and Ryhming, 1955) 등은 저자의 값보다 적다. 스키 선수나 장거리 경주 선수는 월등하게 커서 67(Astrand, 1956), 71 ml/min./kg(Hermansen and Andersen, 1965)가 보고되어 있다.

이 논문과 같은 연령의 소년에 관한 보고는 드물며 미국인(Robinson, 1939) 14.1세에서 2.63 l/min., 17.4세에서 3.61 l/min. 로 절대량은 큰 것이나 체중을 고려하면 중학생 연령 14.1세에서 47.1 ml/min./kg로서 한국인 중학생보다 열등하고, 고등학생 연령인 17.4세에서 52.8 ml/min./kg로서 한국인 고등학생과 같다. 또다른 보고 (Morse et al., 1949)에 의하면 미국인 14~17세 소년에서 49.1 ml/min./kg로서 한국인 학생보다 열등하다. 이렇게 보면 한국인 중·고등 학생의 최대 산소 섭취량은 절대량은 서양 사람의 같은 나이에 비하여 적으나 보다. 합리적 표현인 체중 기준으로 하면 도리어 우수한 편이라 하겠다. 다만 한국인 중·고등학생들의 몸집 즉 몸집이나 몸무게가 작은고로 절대량이 적게 나타났던 것이다.

최대 폐 환기량과 최대 산소 섭취량 사이의 관계를 그린 것이 제 4 도이다. 중학생과 고등학생 집단이 대략 직선적 관계가 있는 것 같이 보이나 최대 환기 당량의 평균치인 중학생 값 27.5와 고등학생 값 29.3은 서로 평행하지 않고 고등학생 것이 경사각도가 크다. 즉 고등학생에서 과도환기(hyperventilation)의 경향이 나타나 있다. 이러한 경향은 산소 섭취량이 커지면 나타나는 것으로 최대 환기량이 증가된 잘 훈련된 운동 선수나 최대 산소 섭취량이 작은 훈련 안된 일반 사람에서나 다 같이 최대 산소 섭취량의 70~80%에 이르기까지는 해당한 폐 환기량은 직선적으로 증가하나 그후에 최대 산소 섭취량에 이르는 부분에서는 섭취되는 산소량에 비하여 과도환기가 발생하는데, 이러한 작업—과도환기는 근육의 무기적 대사 산물의 영향에 있다 한다(Hermansen and Andersen, 1965). 저자의 실험은 작업—과도환기가 나타나는 부분인 최대 환기 당량을 표시한 것인데 고등학생의 평균치 직선의 경사도가 크다는 것은 산소 섭취량이 크고 따라서 폐 환기량도 중학생보다 월등하게 커지면서 과도환기가 더 심하게 나타났음을 가리킨다. 더욱이 환기 당량은 훈련된 운동 선수에서는 적은 것으로서(Hermansen and Andersen, 1965) 그만큼 폐

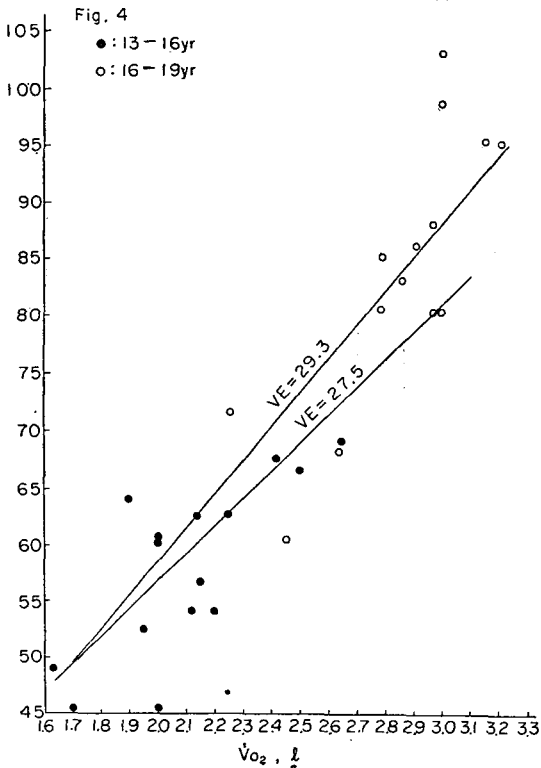


Fig. 4. Maximal pulmonary ventilation in relation to maximal oxygen uptake in middle and high school boys(13~19 years). Solid line represents ventilation equivalent of middle school boys and dotted crossline represents that of high school boys.

환기의 효율이 좋은 것을 나타낸다. 이렇게 보면 저자 실험의 고등학생의 폐 환기 효율은 좋지 않다. 즉 한국인 20 세대 노동자에서 환기 당량이 30.9(임, 남, 1965)인 것과, 또한 빈혈자에서 28.7(신봉하, 남기용, 1965)인 것 등과 비등하다.

환기 당량의 중·고등 학생 사이의 차이는 의의없는 것으로($p < .2$), 이 관계는 산소 섭취량 및 폐 환기량 각각의 최대값 대 안정값 비율이 중학생에서 9.7 및 9.7 고등학생에서 10.8 및 10.7로서 같은 비율로 증가되어 있는 것으로 알 수 있다. 다만 고등학생에서 비율이 10.7이 되면서 약간의 과도환기 경향이 보였을 뿐이다.

심장 박동수는 중학생에서는 불행히도 측정하지 못하여 언급할 수 없으나 고등학생에서는 최대 박동수가 안정값의 2.9배에 이르는 193에 이르렀고 최대 산소 맥박이 16.6 ml/beat에 이르렀는데 이 값은 보통 학생의 17.0(Hermansen and Andersen, 1965)과 같으며 한국인 노동자의 13.3(임, 남, 1965) 및 빈혈자의 15.3 ml/beat(신봉하, 남기용, 1965) 보다는 크다. 그러나 잘 훈련된 사람의 작업계(ergometer) 작업에서 얻은 24.8(Astrand and Saltin, 1961), 노르웨이의 장거리 경기 선수의 27.2, 스웨덴의 체육 대학생의 21.7(Astrand et al., 1964), 한국 체육 대학생의 (남, 이발표)에 비하면 훨씬 적은 것으로서 이들 고등 학생의 격심한 신체 운동에 대한 적성(fitness)이 낮다고 해석할 수 있겠다.

결 론

중학생 15명(나이 13~16세, 평균 14.0세)과 고등학생 14명(나이 16~17세, 평균 17.4세)을 대상으로 트레일 달리기 에 의한 최대산소 섭취량을 측정하였다. 나이가 먹으면 몸집이 커지는 일반 신체 발육의 관계가 똑똑히 나타나 있어서 모든 것이 고등학생 쪽이 컸다. 즉 신장, 체중, 피부두께의 두께, 최대 산소 섭취량 및 최대 폐 환기량 등의 절대치가 모두 고등학생 쪽이 컸다. 그러나 체중이나 신장 같은 몸집의 크기를 기준으로 고려하면 그렇지도 않았다. 얻은 성적을 열거하면 다음과 같았다.

1. 최대 산소 섭취량은 중학생에서 2.11 리터, 53.7 ml/kg body weight, 13.9 ml/cm body height 63.7 ml/kg LBM 이었고, 고등학생에서 2.86 리터, 52.7 ml/kg b. weight, 17.5 ml/cm b. height 및 57.9 ml/kg LBM 이었다.

즉 체중 및 무지방 체중으로는 중학생이 우위에 있었으며 같은 나이의 서양 사람에 비하여도 우위에 있었다. 오로지 신장 기준으로는 고등학생이 우위에 있었다.

2. 산소 섭취량 최대값의 안정값에 대한 비율은 중학

생에서 9.7, 고등학생에서 10.8이었다.

3. 최대 폐환기량은 중학생이 58.0 l/min, 고등학생이 84.0 l/min.이었다.

폐 환기량 최대값의 안정값에 대한 비율은 중학생에서 9.7, 고등학생에서 10.7로서 각각 산소 섭취량의 비율과 같았다.

4. 최대 환기 당량은 중학생 27.5, 고등학생 29.3으로서 단련되지 않은 사람의 값을 나타냈다.

5. 심장 박동수는 고등학생에서 최대로 매분 193에 이르렀는데 안정값의 2.95배에 해당하였다.

6. 고등학생의 산소 맥박이 16.6 ml/beat이었는데 단련되지 않은 사람의 값과 같았다.

7. 체중과 최대 산소 섭취량 사이의 상관도는 중학생에서 $r=0.570$ 이었는데, 고등학생에서는 $r=0.162$ 로서 좋지 않았다. 무지방 체중과는 중학생에서 $r=0.499$ 이었고 고등학생에서 역시 좋지 않았고 $r=0.158$ 이었다.

8. 최대 산소 섭취량과 최대 폐 환기량 값은 단련된 운동 선수의 값 보다 작았다.

REFERENCES

- Andersen, K.L., and J.S. Hart: *Aerobic working capacity of Eskimos. J. Appl. Physiol.* 18:764, 1963.
- Astrand, P.O., and I. Ryhming: *A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiol.* 7:218, 1955.
- Astrand, P.O.: *Human physical fitness with special reference to sex and age. Physiol. Rev.* 36:307, 1956.
- Astrand, P.O., and B. Saltin: *Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. J. Appl. Physiol.* 16:977, 1961.
- Astrand, P.O., T.E. Cuddy, B. Saltin, and J. Stenberg: *Cardiac output during submaximal and maximal work. J. Appl. Physiol.* 19:268, 1964.
- Bock, A.V., C. Vancaulaert, D.B.Dill, A. Foelling, and L.M. Hurxthal: *Studies in muscular activity. III. Dynamical changes occurring in man at work. J. Physiol.* 66:136, 1928.
- Buskirk, E., 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.
- Consolazio, C. F., R.E. Johnson, and L.J. Pecora: *Ph*

- ysiological Measurements of Metabolic Functions in Man. New York, 1963.*
- Hermansen, L., and K. L. Andersen: *Aerobic work capacity in young Norwegian men and women. J. Appl. Physiol. 20:425, 1965.*
- 임승재, 남기용: 남자의 최대 산소 섭취량과 신체 구성 성분 사이의 관계. 스포츠과학 연구 보고서 2(1):89, 1965.
- 金鎮久, 南基鏞: 남자 중·고등 학생에 있어서 피부 두 겹집기 법에 의한 총지방량 측정. 대한생리학회지 2:31, 1968.
- 김인달: 한국인 체위에 관한 연구. 서울대 논문집, 자연과학 3:45, 1959.
- Mitchell, J.H., B.J. Sproule, and C.B. Chapman: *The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. J. Clin. Invest. 37:538, 1958.*
- Morse, M., F.W. Schlutz, and D.E. Cassels: *Relation of age to physiological responses of the older boy (10-17 years) to exercise. J. Appl. Physiol. 1:683, 1949.*
- 남기용: 인체의 총지방량. 대한군진의학 2:27, 1962.
- Robinson, S., H.T. Edwards, and D.B. Dill: *New records in human power. Science 85:409, 1937.*
- Robinson, S.: *Experimental studies of physical fitness in relation to age. Arbeitsphysiologie 10:251, 1939.*
- Scholander, P.F.: *Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem. 167:235, 1947.*
- 신봉하, 남기용: 헤마토크릿 비율이 낮은 사람의 최대 산소 섭취량. 스포츠과학 연구 보고서 2:97, 1965.
- Steinhaus, A.H.: *Chronic effects of exercise. Physiol. Rev. 13:103, 1933.*
- Taylor, H.L., E. Buskirk, and A. Henschel: *Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J. Appl. Physiol. 8:73, 1955.*
- von Doeblen, W.: *Human standard and maximal metabolic rate in relation to fat free body mass. Acta Physiol. Scand. Vol. 37: Suppl. 126, 1956.*
- Welch, B.E., R.P. Riendeau, C.E. Crisp, and R. S. Isenstein: *Relationship of maximal oxygen consumption to various components of body composition. J. Appl. Physiol. 12:395, 1958.*