

물체 운반작업에 의한 산소맥의 변화

이 병 국 · 배 달 식 · 진 항 기 · 정 규 철*

(주임교수: 조 규 상)

가톨릭 대학 의학부 예방의학 교실

Oxygen Pulse in Load Carrying

Byung Kuk Lee, Tal Sik Bae, Hang Ki Jin, Kyou Chull Chung*

(Chairman: Prof. Kyu Sang Cho)

Department of Preventive Medicine, Catholic Medical College

On 6 healthy adult males aged 20—30 years, oxygen pulse was observed during carrying sand bags weighing 10, 20 and 30 kg on a level treadmill running with speeds of 3, 4 and 5 km/hr. The results obtained were as follows.

1. Oxygen pulse during load carrying on a level treadmill was proportionately increased with an increase of work load, average oxygen uptake per minute. Regression equation of oxygen pulse (y : ml/beat) on the average oxygen uptake (x : l/min) required for each grade of work was expressed as $y=3.34x+5.99$, $s_{y.x}=0.858$.

2. Oxygen pulse reached the highest value 2-5 minutes after the start of load carrying, and thereafter it decreased gradually to some extent as the load carrying was continued. Rate of decrease in the oxygen pulse was greater in lighter works.

3. In lighter works requiring less than 2.0 l/min of oxygen uptake, no difference in oxygen pulse could be seen between methods of carrying even when the same amount of load was carried. In heavier works requiring more than 2.0 l/min of oxygen uptake, oxygen pulse was larger in case of carrying a load by embrace, in both hands and on head than on back or on shoulder.

1. 머리말

산소맥 (oxygen pulse)이란 산소섭취량을 심박수로 나눈 것(ml/beat)으로서 심장이 한번 박동할 때 조직에 얼마만큼의 산소를 보내 주는가를 나타내는 양이며 이것은 심박출량과 평균 동정맥 산소분압의 차이와 밀접한 관계가 있다(Wasserman et al., 1967)

여러종류의 작업조건을 부하했을 때 나타나는 생리적 변화에 대한 연구는 많은 사람들(Brouha et al., 1960, Wasserman et al., 1967, Lind et al., 1968)에 의하여 규명되어 왔으며 작업조건에 따라서 심박수와 산소섭취량

의 변화가 다른 생리적 변화 보다 현저하게 나타나는 것도 잘 알려져 있다(Brouha, et al. 1960, Davies et al., 1964)

작업시의 산소섭취량과 심박수의 변화는 서로 상당한 상관관계를 가지고 있으나, 작업강도가 커져서 중(重)작업에 가까워지면 산소섭취량의 변화는 심박수의 변화에 일치하지 않으므로(Sarnoff, et al., 1958), 이 두 유관한 인자를 서로 하나의 생리적 지표로서 이용하려는 노력이 여러 학자들(Wasserman et al., 1967, Davies et al., 1964, Karlsson et al., 1967)에 의하여 연구되어 왔다.

저자들은 속도가 다른 treadmill에서 여러가지 무게의 물체를 운반할 때의 산소맥을 측정하여 여러 작업조건에

* 지도교수

서의 심장의 효율성을 검토하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

A. 대 상

만 20세에서 30세까지의 신체 건강한 성인남자 6명을 연구대상으로 택하였으며 이들의 연령 및 체격은 표 1에 표시 하였다.

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

subjects	age (yrs)	height (cm)	weight (kg)	B.S.A. (m ²)	Wt/0.9(Ht-100)
1.○○○	30	170	60	1.70	0.95
2.○○○	30	172	65	1.77	0.88
4.○○○	20	175	66	1.80	0.98
5.○○○	24	181	70	1.89	0.96
6.○○○	20	171	61	1.71	0.95
Mean	25.0	172.8	63.3	1.76	0.95
SD	±4.12	±4.23	±4.07	±0.08	±0.03

B. 방 법

Treadmill을 수평각도에서 3 km/hr, 4 km/hr 그리고 5 km/hr의 속도로 회전토록 조정하고 피검자로 하여금 10 kg, 20 kg, 30 kg 무게의 모래 주머니를 운반시켰다.

물체의 운반방법은 어깨에 메는 방법, 등에 지는 방법 두 손으로 드는 방법, 머리에 이는 방법 그리고 두 손으로 가슴에 안는 방법을 택하였다.

작업시간은 적어도 30분 동안 계속시키도록 노력하였으나 3 km/hr와 4 km/hr 속도로 30 kg의 물체를 두 손에 들거나 가슴에 안고 운반할 때와 5 km/hr의 속도로 30 kg의 중량물을 머리에 이고, 두 손에 들고, 그리고 가슴에 안고 운반 할 때에는 피검자들 중에 심박수가 170 beat/min을 넘어서 작업을 더 지속할 수 없는 경우가 나타났으므로 이러한 경우에는 작업지속 시간을 20분으로 단축하였다.

측정항목으로는 Siemens Siregnost FD 90 lung function monitor를 사용하여 각 측정시점에 있어서의 분시환기량과 그 순간의 흡기중에서 섭취된 산소비율(%)을 측정하여 이 양자의 적(積)을 측정 시점의 산소섭취량(oxygen uptake: ml/min)으로 하였고, 또한, lung function monitor에 부착된 심전계(cardioscope)에 나타난 측정순간에서의 심박수를 읽어서 산소맥의 값을 구하였다.

측정은 treadmill에서 운반 작업을 하기 전에 약 10여

분 동안 의자에 앉아 휴식을 취한 안정시와 작업을 시작 한지 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 그리고 30분 후에 실시하였고, 작업이 끝나고 휴식 1, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 그리고 25분 등 심박수가 완전히 작업전의 안정시 값으로 되돌아 올 때 까지 측정을 계속 하였다.

III. 연구 성적

A. 작업량에 따른 산소맥

Treadmill 위에서 물체운반 작업을 할 때 보행속도와 운반 물체의 무게에 따라 소요된 산소맥(ml/beat)의 작업 개시 20분 후의 평균치를 표 2에 표시하였다.

물체를 들지 않고 treadmill 위를 걷는 대조 군에서

Table 2. Average oxygen pulse (ml/beat) after 20 minute's load carrying on level treadmill with 9 different work loads.

speed	loads n	control	10 kg	20 kg	30 kg
3 km/hr	15	8.06 ±1.07	9.12 ±1.44	9.96 ±0.75	12.73 ±0.98
4 km/hr	15	8.41 ±0.23	9.17 ±0.76	10.05 ±0.95	13.54 ±2.26
5 km/hr	25	8.94 ±1.46	10.48 ±0.65	12.23 ±1.23	14.08 ±1.72

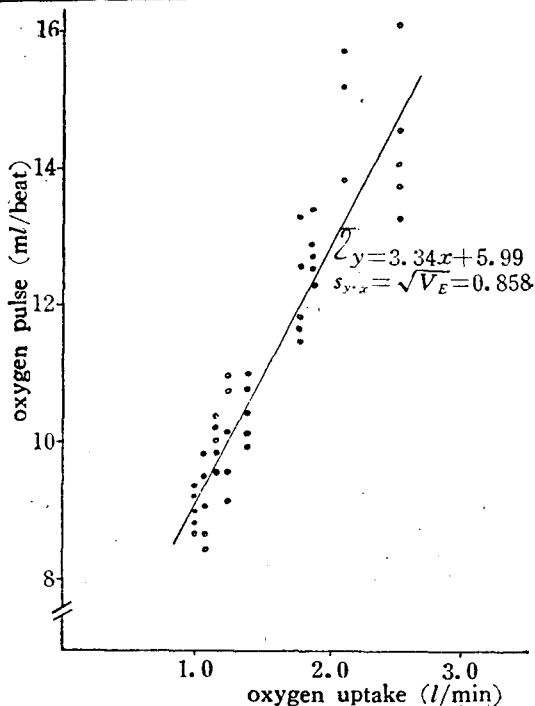


Fig. 1. Scatter diagram and regression line of oxygen pulse on oxygen uptake in 9 different load carrying conditions.

3 km/hr의 속도로 걸을 때의 산소맥의 평균치는 8.06 ± 1.07 ml/beat, 4 km/hr의 보행속도 때는 8.41 ± 0.23 ml/beat, 5 km/hr의 보행속도 때는 8.94 ± 1.46 ml/beat이었다.

물체를 들고 treadmill 위를 걸을 때는 3 km/hr의 보행속도로 10kg의 물체를 운반할 때의 평균 산소맥이 9.12 ± 1.44 ml/beat로서 가장 적었고, 5 km/hr의 보행속도로 30 kg의 물체를 운반할 때의 평균 산소맥이 14.08 ± 1.72 ml/beat로서 가장 많았으며, 대체로 작업량에 비례하여 산소맥이 증가하는 경향을 보였다.

각 운반작업 조건에서의 산소섭취량에 관한 산소맥의 산포도와 회귀직선을 그림 1에 표시하였다. 즉 운반작업에 소요되는 산소섭취량 즉 작업량과 산소맥과의 사이에는 유의한 상관성이 인정되었으며, ($r=0.909, p<0.01$), 산소섭취량에 관한 산소맥의 회귀직선 방정식은 $y=3.34x+5.99$ ($s_y.z=\sqrt{V_E}=0.858$)로 표시되었다.

B. 작업에 따른 산소맥의 시간적 변화

물체를 들지 않고 treadmill 위를 3 km/hr의 속도로 걷는 대조군에서의 산소맥은 5분 만에 최고치인 8.77 ± 1.09 ml/beat에 도달하였다가 점차로 감소하는 경향을 보여 보행 30분에는 7.50 ± 0.80 ml/beat로서 1.27 ml/beat의 감소를 나타냈다. 4 km/hr의 속도로 걷는 대조군에서도 역시 5분 만에 최고치인 9.75 ± 0.63 ml/beat에 이르렀다가 다시 감소하여 보행 30분에는 8.33 ± 0.40 ml/beat로서 1.42 ml/beat의 감소를 나타냈다. 5 km/hr의 속도로 걷는 대조군에서는 3분 만에 최고치인 9.15 ± 0.88 ml/beat에 도달하여 보행 30분까지 거의 일정한 값이 유지되었다.

10 kg의 물체를 운반할 때 3 km/hr 및 4 km/hr의 보행속도에서는 작업시작 3분 만에 최고치인 9.52 ± 1.04 ml/beat와 9.68 ± 0.84 ml/beat에 도달하였고 그 후 10분까지는 다시 감소하는 경향을 보였다. 5 km/hr의 보행속도에서는 작업시작 3분 만에 최고치인 11.13 ± 0.74 ml/beat를 나타냈고 그 후 2~3분 동안 감소하는 경향을 보이다가 계속 유지되었다.

20 kg의 물체를 운반할 때에는 3 km/hr의 보행속도에서 작업시작 5분 만에 최고치인 9.98 ± 0.82 ml/beat에 도달하여 30분까지 계속 유지되었고, 4 km/hr의 보행속도에서는 3분 만에, 5 km/hr의 보행속도에서는 5분 만에 각각 최고치인 10.36 ± 0.99 ml/beat와 12.35 ± 1.34 ml/beat에 도달하여 전자는 10분까지 감소하는 경향을 보이다가 그 값을 유지하였고, 후자에 있어서는 감소의 경향을 보이는 일이 없이 계속 유지되었다.

30 kg의 물체를 운반할 때는 3 km/hr, 4 km/hr 및 5 km/hr의 보행속도에서 다 같이 작업시작 3~5분 만에

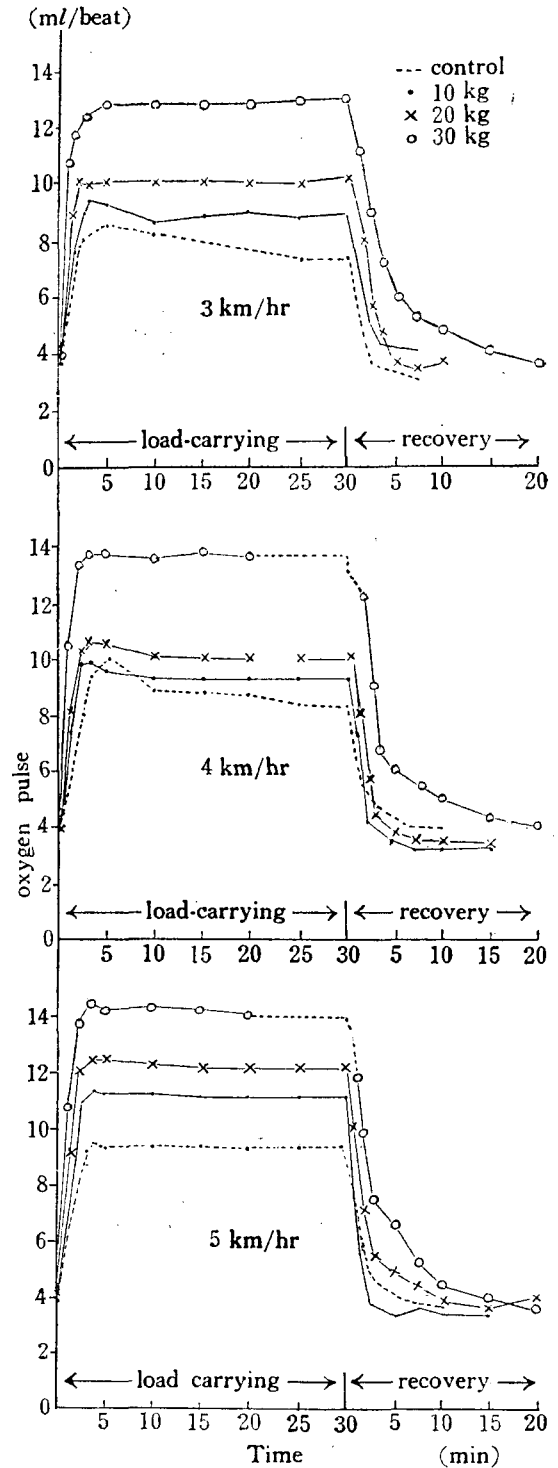


Fig. 2. Changes in oxygen pulse in 9 different conditions of load-carrying on level treadmill walking.

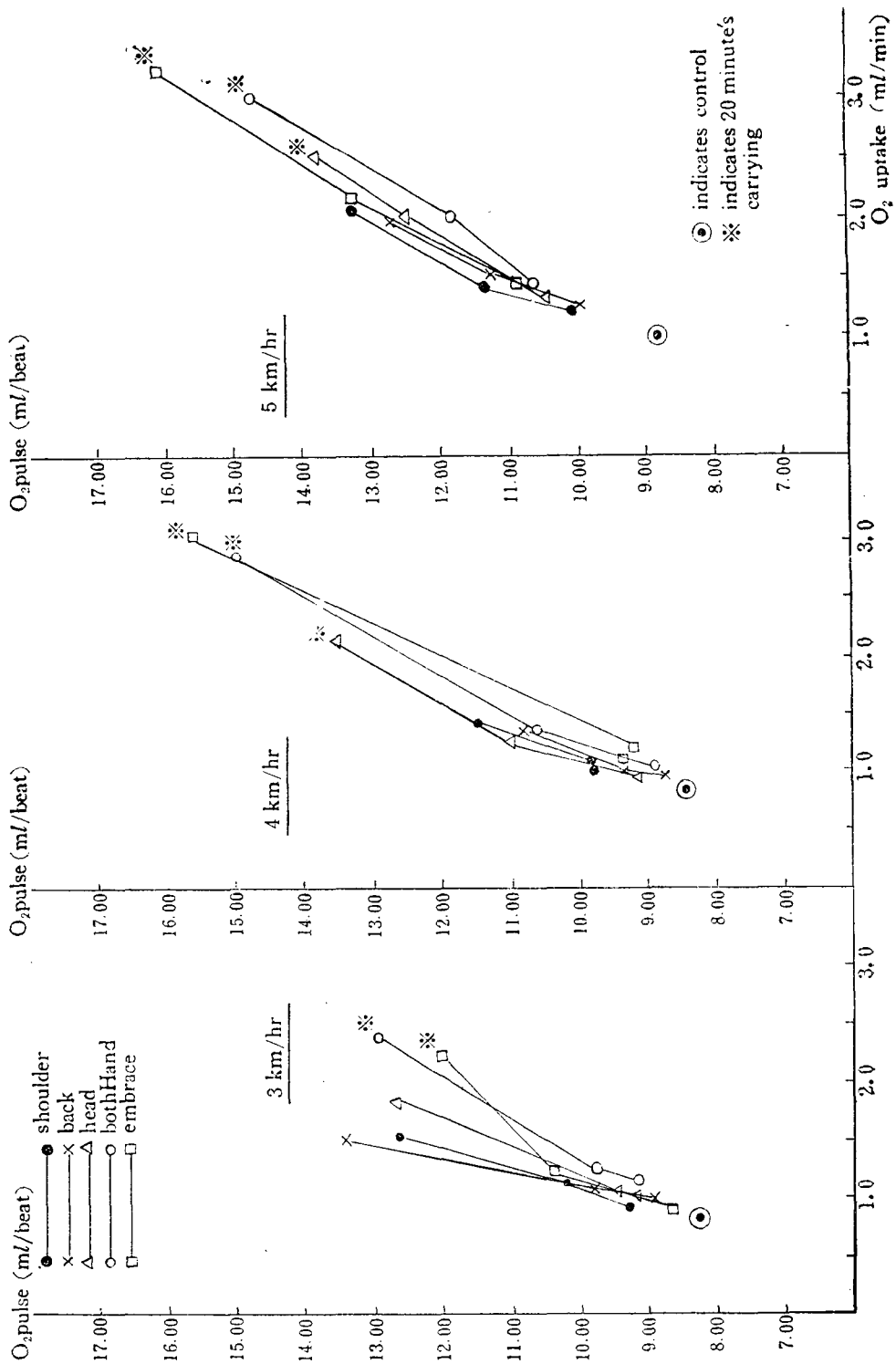


Fig. 3. Average oxygen pulse (ml/beat) and average oxygen uptake (l/min) by methods & in each grade of load-carrying during 30 minutes' work.

The dots are connected in regard to increasing load carrying.

어느 정도 일정한 값에 도달하지만 그 후에도 계속 상승하여 5~10분 만에 최고치에 도달하였으며 그 값은 각각 12.83 ± 0.92 ml/beat, 13.78 ± 2.37 ml/beat, 14.44 ± 1.94 ml/beat였다.

C. 운반방법에 따른 산소맥의 변화

3 km/hr, 4 km/hr 및 5 km/hr의 보행속도로 10 kg, 20 kg 및 30 kg의 물체를 20~30분 동안 운반할 때에 소요되는 총산소섭취량을 운반방법별로 산출하여 매분당 평균 산소섭취량으로 환산하여 가로(x)좌표에 표시하고 세로(y)좌표에는 산소맥을 표시하면 그림 3과 같다.

3 km/hr의 보행속도로 10 kg과 20 kg의 물체를 운반할 때의 산소맥은 산소섭취량에 비례하여 증가하고 작업방법에 의한 차이는 나타나지 않았다. 30 kg의 물체를 운반할 때에는 운반방법에 따라 산소섭취량에 차이가 인정되었으나 산소맥에는 유의한 차이를 인정할 수 없었다.

4 km/hr와 10 kg의 보행속도에서 20 kg과 30 kg의 물체를 운반할 때에도 운반방법에 따른 산소맥의 차이를 인정할 수 없었으나 30 kg의 물체를 운반할 때에는 어깨에 메거나 등에 지는 방법 보다는 머리에 이거나 두 손에 들거나 또는 가슴에 안고 운반하는 방법이 산소섭취량도 현저히 많을 뿐더러 산소맥도 현저하게 많아졌다.

V. 고 활

산소 섭취량(l/min)과 심박수($beat/min$)는 중등도 이하의 작업에서는 작업을 시작한 후 곧 일정한 값(steady state)에 도달하며 그 후 계속 유지되지만 중작업에서는 위의 두 측정치는 일정한 값을 유지하지 못하고 작업이 계속되는 동안 계속하여 증가한다. (Brouha et al., 1960, 정규철 등, 1970). 그러나 산소섭취량을 심박수로 나눈 생리적지수인 산소맥(oxygen pulse)은 폐회 심장에서 박출되는 혈액으로 부터 얼마 만큼의 산소가 조직에 공급되어 섭취되는가를 나타내는 것이므로 순환기 계통의 효능을 나타내는 지표라고 볼 수 있다. 즉 산소맥은 심박출량과 동맥 혈액 사이의 산소분압의 차이($(a-v)O_2$ difference)의 적(積)으로 표시될 수 있으므로 작업량이 커져서 '에너지' 소비가 많아지면 동맥과 정맥혈액 사이의 산소분압의 차이는 커질 것이고 또한 심박출량이 많아질 것이므로 작업량에 정비례하여 산소맥이 증가하는 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 그러나 작업강도가 같을 때에는 동맥과 정맥혈액 사이의 산소분압의 차이는 일정할 것임에도 불구하고 개인에 따라 산소맥에 차이가 나타나는 점으로 미루어 보아 산소맥은 1차적으로 심박출량에 의하여 좌우될 것이며, 맥박수가 같더라도 심박출량은 연령에 따라 다르고, 또한 훈련에 의하여도 현저하게 증가한다고 한다. (Asmussen, 1965).

저자들은 작업량이 다른 각종 운반작업을 할 때에 산소맥은 작업의 경중에 따라서 작업시작 후 2~5분 이내에 최고치에 이르렀다가 그 후부터는 서서히 감소하는 것을 관찰하였으며 특히 작업량이 비교적 적은 중등도 이하의 작업에서 현저하였다.

이러한 결과는 Wasserman 등 (1967)의 결과와 일치하고 있다. 이러한 현상에 대하여 그들이 설명하기를 심장에 어떤 부가적인 자극이 가해져서 심박수가 급격하게 증가하기 때문이라고 하며 이것은 작업으로 인하여 생산되는 체온을 방산시키기 위한 기전이라고 생각하고 있다 (Brouha and Radford, 1960). 한편 Karlsson 등 (1967)은 작업강도가 격심한 때에는 근육에 공급되는 혈류량이 상대적으로 감소하며 동맥과 정맥 혈액의 산소분압 차이가 적어지고 심박출량이 감소하기 때문에 산소맥이 감소한다고 설명하고 있다. 저자들의 실험에서 이러한 현상을 볼 수 없었던 것은 작업강도가 다르기 때문이라고 생각되지만 작업에 대한 훈련 여부에도 크게 관계될 것으로 생각되며 앞으로 더욱 추구하여야 할 문제라고 생각한다.

산소 섭취량이 같은 작업을 treadmill에서 할 때는 ergometer를 탈 때 보다도 심박수가 적어서 산소맥이 커지며, 이러한 현상은 작업자세가 다르므로서 초래된다는 것이 알려졌다. (Hermansen et al., 1969). 이것은 작업에 사용되는 근육이 다르고 또한 작업자세에 따라서 정맥혈의 환류에 차이가 생겨 결과적으로 심박출량에 변동이 생기기 때문이라고 풀이 된다.

저자들의 실험에서 비교적 산소 섭취량이 큰 운반작업에 한하여 운반방법에 의한 산소맥의 차이가 작업량이 적어도 $2.0 l/min$ 의 평균산소섭취량을 필요로 할 정도 이상의 작업에서 만나타난 것은 운반방법에 의한 작업량의 차이가 비교적 적기 때문이라고 생각한다.

V. 맺음말

6명의 성인 남자를 대상으로 하여 수평위치의 treadmill위를 10 kg, 20 kg 및 30 kg의 모래 주머니를 3 km/hr, 4 km/hr 및 5 km/hr의 속도로 운반케 하였을 때의 산소맥(O_2 uptake/heart beat)의 변화를 관찰하였던 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. treadmill위에서 물체를 운반할 때의 산소맥은 작업량 즉 작업에 소요된 매분당 평균산소섭취량에 비례하여 증가하였으며, 매분당 평균산소섭취량($x: l/min$)에 관한 산소맥($y: ml/beat$)의 회귀직선 방정식은 $y=3.34x+5.99$ ($s_{y,x}=0.858$)로 표시되었다.

2. 물체운반 작업을 할 때의 산소맥은 작업을 시작한 지 2~5분에 최고치에 도달하였으며 그 후에는 도리어 감소하였는데, 그 감소경향은 작업량이 적을 수록 현저

하였다.

3. 무게가 같고 운반속도가 같을 때의 산소맥은 매분 당 평균산소섭취량이 2.0 l/min 이하의 작업에서는 운반 방법에 따른 차이가 없었으나 2.0 l/min 이상의 작업에서는 가슴에 안고, 두 손에 들고 또는 머리에 이고 운반할 때의 산소맥이 등에 지거나 어깨에 메고 운반할 때 보다 컸다.

참 고 문 헌

Amussen, E. (1965). Chapter 36: Muscular exercise, In: *Handbook of Physiology, Section 3: Respiration, vol. II.* edited by W. O. Fenn & H. Rahn, Washington, D.C., Am. Physiol. Society.

Brouha, L., P.E. Smith, Jr., R. De Lanne & M.E. Maxfield (1960). Physiological reactions of men and women during muscular activity and recovery in various environment. *J. Appl. Physiol.* 16, 133~140.

Brouha, L. & E.P. Radford, Jr. (1960), The cardiovascular system in muscular activity. In: *Science and Medicine of Exercise and Sports.* edited by W.R. Johnson, New York, Harper, p. 182~183.

정규철, 이광목들(1970). 생산성 향상을 위한 인간 공

학적 연구, 서울, 과학기술처.

Davies, C.T.M. and E.A. Harris (1964). Heart rate during transition from rest to exercise, in relation to exercise tolerance, *J. Appl. Physiol.* 19, 857~862.

Harmansen, Lars & Bengt Saltin (1969). Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise, *J. Appl. Physiol.* 26, 31~37.

Karlsson, Jan, Per-Olof Åstrand, and Björn Ekblom (1967). Training of the oxygen transport system in man. *J. Appl. Physiol.* 22, 1061~1065.

Lind, A.R. & G.W. McNicol (1968). Cardiovascular response to holding and carrying weight by hand and by shoulder harness. *J. Appl. Physiol.* 25, 261~267.

Sarnoff, S., E. Brauwald, G. H. Welch, Jr. R.B. Case, W.N. Stainsby and R. Macruz (1958). Hemodynamic determinants of O₂ consumption of the heart with special reference to the tension-time index. *Am. J. Physiol.* 192, 148.

Wasserman, K., A. L. Van Kessel & G.G. Burton (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise, *J. Appl. Physiol.*, 22, 71~85.