

헤마토크릿 비율이 낮은 사람에게 있어서 최대 산소 부채와 과잉젖산 사이의 관계*

서울대학교 의과대학 생리학교실 및 국민체력과학연구소

金大成 · 南基鏞

=Abstract=

Maximal Oxygen Debt, Lactate and Excess Lactate in Men with Low Hematocrit Ratio

Kim, Dai Sung and Nam, Kee Yong

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

Maximal oxygen debt, lactate and excess lactate were measured in 13 men with low hematocrit ratio before and after maximal exercise. Maximal exercise run was performed on a treadmill and the duration of run was 2 minutes 45 seconds in each subject. Hematocrit ratio ranged between 35 and 47%, the mean being 39.8%. The following results were obtained.

1. Maximal oxygen debt expressed on basis of body weight increased as the hematocrit ratio decreased. The correlation coefficient between the two was $r = -0.770$.
2. The time necessary for decreasing to 50% of total maximal O_2 debt (half time) became longer as the hematocrit ratio decreased. In normal men the half time was about 4 minutes and at the longest it was 12 minutes in men with the lowest hematocrit ratio.
3. The lactate concentration reached its peak value after 3 minutes of recovery. Thereafter, the time course of decrease in lactate concentration coincided roughly with that of respiratory oxygen debt curve. To reach to the resting level, however, it took longer time than that of respiratory oxygen debt.
4. Resting concentrations of lactate was 1.28 mM/l, pyruvate 0.13 mM/l and L/P ratio was 9.8. Peak value of ΔL after exercise reached to the value of 10.4 mM/l and $\Delta L/P$ reached 26.0. Peak excess lactate after exercise was 6.34 mM/l.
5. The part of oxygen debt accounted for by the oxygen equivalent of excess lactate was only 38.4%. A better relationship between lactate and oxygen debt was observed and the part of oxygen debt accounted for by the oxygen equivalent of lactate was 63.3%.
6. Peak value of lactate after maximal exercise increased as the hematocrit ratio decreased.
7. Respiratory oxygen debt of 100 ml/kg was accounted for by lactate more than 60% and only 30% was by excess lactate.
8. Excess lactate was not a good index of respiratory oxygen debt.

* 국민체력과학 연구소 논문 제32호

신체 운동에 있어서 나타나는 산소 부채는 일찍부터 혈액 내에 쌓이는 젖산 농도의 변화로 설명이 되어오는 현상인데(Hill et al., 1924), 신체 운동 후의 산소 부채는 젖산없는 시기(alactacid phase)와 젖산있는 시기(lactacid phase)로 가를 수 있으며 뒤의 것만이 혈액내 젖산 농도 변화와 관계가 있다고 한다(Margaria et al., 1933). 또한 커다란 근육들이 활동하면 활동의 경중에 거의 관계없이 산소 부채가 발생하는 것이나 정도 또는 중등정도의 신체 운동에 있어서 발생하는 산소 부채에 있어서는 혈액내 젖산은 거의 변화 없거나 또는 약간의 증가가 있을 따름이다가 신체 활동이 어떤 한계를 지나면 이때에 발생하는 산소 부채에는 상당한 크기로 젖산 증가가 수반된다고 한다(Owles, 1930). 한편 여기에 반대하는 견해가 있다. 즉 여기에 따르면 젖산과 피루빈산 농도 측정으로부터 계산되는 과잉 젖산(Huckabee, 1958 a,b,c, 1959)이 산소 부채를 대변하여 주는 것이라 한다(Huckabee, 1958a,c). 과잉 젖산의 계산은 젖산 농도의 변화와 피루빈산 농도 변화에 관계되는 것으로서 다음과 같이 기술되었다. 즉

$$XL=(L_n-L_0)-(P_n-P_0)\times(L_0/P_0)$$

여기에 L_0 와 P_0 는 각각 안정시의 혈액내 젖산과 피루빈산의 농도이며, L_n 과 P_n 은 신체 운동할 때의 값들이다. Huckabee 에 따르면 어떤 정도의 신체 운동에 있어서도 산소 부채의 크기는 과잉 젖산 형성의 정도로써 설명이 가능하다고 주장하였다. 나아가서는 어떤 작업의 크기에 있어서도 작업 시간에 직선적으로 비례하여 과잉 젖산이 증가한다고 주장하였다.

이와같은 주장에 대하여 반대하는 주장도 적지 않다(Wasserman et al., 1965; Naimark et al., 1964; Wasserman and Mc Ilroy, 1964). 즉 과잉 젖산이나 젖산 증가분의 산소 당량은 어떤 크기의 신체 운동에 있어서도 호흡기 분석으로부터 얻어지는 산소 부채보다 적었으며 30 분 가량으로 조금 시간이 걸리는 신체 운동에 있어서 과잉 젖산으로부터 얻어지는 성적은 젖산만으로 얻어지는 성적보다 하나도 우수한 것이 없다고 한다. 과잉 젖산 개념에 반대하는 Knuttgen(1962)에 의하면 신체 운동이 경할 경우에 발생하는 산소 부채에 있어서는 과잉 젖산의 증가는 거의 찾아볼 수 없었으며 혈액 젖산이 조금만 증가하였고, 산소 섭취량이 때분 1.5 리터 가량의 신체 운동으로서 산소 부채의 크기가 1.5 리터가 되는 운동의 크기가 일종의 문턱으로 작용하여서, 이 문턱보다 운동량이 커질 때에 비로소 호흡성 산소 부채가 급격히 증가하며, 이 증가는 과잉 젖산이나 젖산의 산소 당량 값에 비례함을 보고하였다. 그리고 어느 경우에 있어서나 호흡성 산소 부채의 크기는 과잉 젖산이나 젖산의 산소 당량 값보다 컸었다.

이리하여 과잉 젖산을 주장하는 데 있어서는 과잉 젖산은 신체 운동의 모든 수준에 있어서 발생하며 신체 운동 후에 나타나는 산소 부채와 과잉 젖산 사이에는 밀접한 관계가 있다고 하는 것이다. 그러나 이것을 반대하는 사실로는 앞서 기술한 것 같이 과잉 젖산의 발생에는 신체 운동의 어떤 문턱 이상이어야 한다는 것이다. 즉 중태의 학설은 신체운동 후의 산소 부채는 일부 젖산없는 시기(alactacid phase)로 설명되며, 운동이 심하면 산소 부채의 일부는 젖산 있는 시기(lactacid phase)로 설명된다는 것인데 과잉 젖산설은 아무때나 젖산 있는 시기로 설명이 가능하다는 것이다.

이 논문은 헤마토크릴 비율이 낮은 소위 빈혈자에서 신체 운동 후에 나타나는 호흡성 산소 부채와 젖산 및 과잉 젖산의 관계를 본 것이다. 산소 부채의 젖산 없는 시기는 밖으로부터의 산소 섭취와 관계없이 존재하는 것으로서 혈액의 산소 운반능력이나 사람의 산소 섭취 능력과 관련이 없다고 할 수 있는 현상이지만 산소 부채의 또 하나의 부분인 젖산있는 시기는 산소 부채와 밀접한 관련이 있다고 할 것이다. 빈혈자는 적혈구 총수의 저하, 헤마토크릴 비율의 저하 및 헤모글로빈 농도의 저하 등으로 해서 그 혈액의 산소 운반 능력이 현저히 적게 되어 있는 사람들인 바, 이 사람에게 최대의 신체 운동을 강요하여서 최대 산소 섭취를 강요하고 난 후의 호흡성 산소 부채는 최대의 것이라 말할 수 있다. 이러한 최대의 신체 운동에서는 과잉 젖산이 발생할 일은 당연하다고 하겠으나 과연 과잉 젖산이나 젖산의 농도만 가지고 호흡성 산소 부채가 완전히 설명될지는 의문이다. 또한 빈혈자란 특수한 사람이 있어서도 산소 부채의 크기가 정상인과 얼마만큼이나 차이가 나타날 것인가도 또한 의문이다. 그리고 호흡성 산소 부채의 시간 경과라든지 젖산 및 과잉 젖산 농도의 시간적 변화도 정상인과 다를 것이 예상되는 것이다.

이리하여 빈혈자를 트레드밀(treadmill) 위에서 달리게 하여 최대로 산소를 섭취한 후에 최대 산소 부채, 젖산, 과잉 젖산을 측정하고 헤마토크릴 비율과의 관련을 고려하면서 그 성적을 보고하는 바이다.

실험 방법

실험 대상자는 13 명이었는데 직업적 공혈자와 정상 건강인들이었다. 신체 특성을 제1표에 보인다. 이들의 연령은 평균 28.1 세, 체중 59.9 kg, 신장이 165.5 cm, 헤마토크릴 비율이 39.8(범위 35.0~47.3%)이었다.

트레드밀 운동으로 최대의 운동을 시켰으며 대강의 줄거리는 임승재와 남기용(1965)에 따랐다. 트레드밀 속도를 8 km/hr 로 고정하고 경사 각도를 증가하여서 최대 신체 운동에 이르게 하였는데 대개의 빈혈자는 거의 빠

Table 1. Characteristics of subjects N=13

	Age yr.	Weight kg	Height cm	Hematocrit %
Mean	28.1	59.9	165.5	39.8
S.D.	4.0	5.3	13.1	3.5

들어지기 직전의 피폐한 상태에 이르렀다. 트랜밀 위에서 달리게 하여 1분 45초부터 2분 45초 사이의 1분동안 넬숨 공기를 채집하여 산소와 탄산가스 분석을 하였다. 2분 45초까지 달리지 못하는 예도 간혹 있었는데 이 경우에는 넬숨 공기 채집 시간이 0.5분이하인 것은 성적을 채용하지 않았다. 한편 최대 산소 섭취량이라고 결정된 값은 임승재와 남기용(1965)이 제시한 공식 $\text{Max } \dot{V}_{O_2}(l) = 0.0450 \times \text{body weight}(kg) - 0.03$ 에 의하여 계산한(예측치, predicted value) 값과 비교하여 사실로 최대가 되었는지의 여부를 검토하는 방편으로 삼았다. 트랜밀 달리기 보다 앞서서 안정시 산소 섭취량 측정과 젖산 검정용 혈액 채취를 하였는데 팔 마디 정맥에서 45°C의 더운 물수건으로 하박과 손을 5분 이상 싸서 가온하여 동맥혈화(arterialize)한 후에 채혈하였다.

트랜밀 달리기 가 끝나면 곧 의자에 앉히고 산소 부채 측정용의 넬숨공기 채집을 시작함과 동시에 젖산 검정용 혈액을 팔마디 정맥으로부터 더운 물수건으로 동맥혈화한 것을 일정한 시각에 채혈하였다. 산소 부채 측정용 넬숨 공기 채집은 60분 또는 80분 동안 계속했으

며 처음 3분 동안은 트랜밀 위에서 앉은 자세로 하였고 그후는 침대 위에 누운 자세로 하였다. 혈액 채집은 1, 2, 3, 6, 10, 15, 30, 60, 80분에 하였다. 이 기간 중의 산소 섭취량에서 안정시 섭취량을 뺀 것의 합계를 100% 남아 있는 산소 부채로 삼았고 각 시각에는 앞으로 남아 있는 분량의 전체에 대한 백분율로 표시하였다. 이렇게 그린 곡선은 산소 섭취량 곡선과 본질적으로 같은 형태와 시간 경과인 지수 곡선을 따랐다.

산소 섭취량 측정에는 안정시는 J-valve 만을 사용하여 플라스틱으로 된 더글래스 주머니에 공기를 채집하였다. 트랜밀 위에서 달릴 때에는 플라스틱 마스크와 J-valve 를 사용하였다. 더글래스 주머니에 채집된 공기의 용량은 wet test gas meter 로 측정하였다. 공기중의 산소와 탄산가스의 농도는 micro-Scholander 장치(1947)로 측정하였으며 산소 섭취량 계산은 Consolazio 등(1963)에 따라서 계산 도표를 사용하였다. 혈액내 젖산의 검정은 Barker 와 Summerson 의 방법(1941), 피루빈산 검정은 Friedmann 과 Haugen 의 방법(1943)에 따랐다. 이로부터 과잉 젖산은 Huckabee 가(1958a) 제창한대로 다음 식에 의하였다.

$$XL = (L_n - L_o) - (P_n - P_o) \times (L_o / P_o)$$

젖산과 과잉젖산의 산소 당량 계산은

$O_2 \text{ equivalent}(ml) = mM / l \times \text{total body water}(l) \times 11.2$ 로써 계산하였으며 여기에 신체 총수분량은 한적부(1960)에 따라서 59.9% 체중을 잡았다.

Table 2. Maximal total O₂ debt data on subjects

N=13

No.	Wt. kg	Hct. %	\dot{V}_{O_2} , l		Max. \dot{V}_{O_2} observed/predicted	Total O ₂ debt		$t_{\frac{1}{2}}$ of O ₂ debt(min.)
			Rest	Maximal		l	ml/kg	
3	66.4	39.0	0.216	3.03	1.03	7.981	120	8.0
5	59.6	42.7	0.275	2.87	1.08	6.862	115	10.0
6	58.5	41.7	0.242	3.28	1.26	7.441	127	12.3
7	72.1	36.3	0.258	3.22	1.00	11.849	164	12.8
8	52.6	43.6	0.250	2.38	1.02	3.230	61	4.8
10	59.9	38.3	0.255	2.79	1.05	9.439	158	10.0
12	61.7	43.9	0.258	2.75	1.00	5.846	95	4.3
14	59.4	45.5	0.214	2.75	1.04	9.618	162	4.6
15	54.4	42.0	0.223	2.65	1.09	5.262	97	5.7
16	54.4	47.3	0.232	2.36	0.97	5.036	93	6.7
17	60.8	38.6	0.303	2.83	1.05	6.230	102	6.8
18	66.4	35.0	0.363	3.15	1.06	8.812	133	11.2
20	64.8	38.0	0.261	2.60	0.90	9.567	148	10.0
Mean	59.9	39.8	0.254	2.82	1.04	7.474	125	8.2
S.D.	5.4	3.5	0.038	0.28	0.08	1.999	29.4	2.80

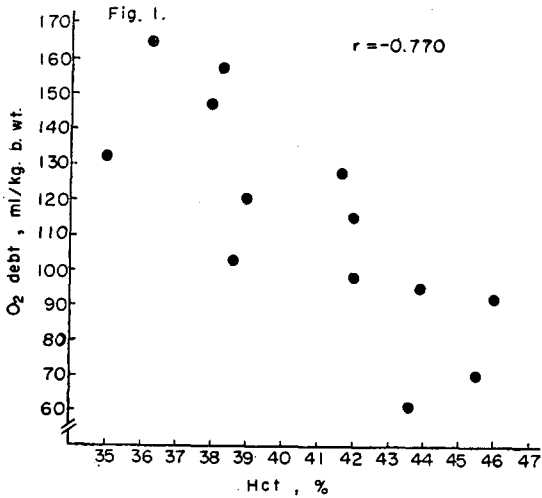


Fig. 1. Relationship between hematocrit ratio and the total O₂ debt in ml/kg. $r = -0.770$

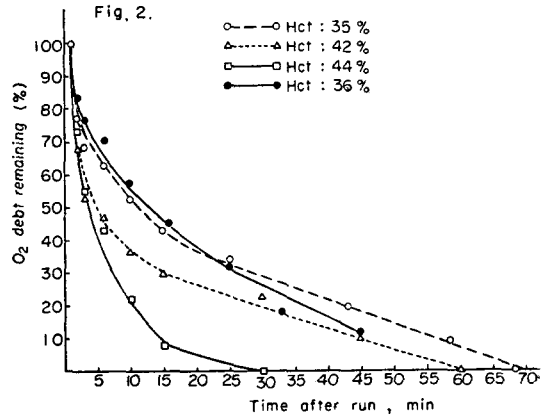


Fig. 2. Per cent O₂ debt remaining after maximal exercise. Subject with low hematocrit ratio shows a slower decrease than men with higher hematocrit ratio.

실험 성적

최대 산소 부채 : 최대 산소 섭취를 하는 신체 운동 후의 총 산소부채에 관한 성적은 제 2표와 같다. 안정 시 산소 섭취량은 평균 254 ml이었으며 최대 산소 섭취량은 평균 2.82 리터이었다.

여기의 모든 예의 최대 산소 섭취량은 임승재와 남기

용의(1965) 예측치에 비하여 그 비율이 평균 1.04로서 충분히 최대의 것을 나타낸다고 보겠으며, 이러한 신체 운동 후 60분 내지 80분 동안의 회복기에 채집한 호흡 공기로부터 측정된 호흡성 총 산소 부채는 평균 7.47 리터 또는 125 ml/kg이라는 평균치를 보였다. 그러나 체중을 기준으로 표시한 총 산소 부채값은 상당히 넓은 범위에 벌어졌었으나, 헤마토크릴 비율과는 상당히 고

Table 3. O₂ debt equivalents of lactate and excess lactate

No.	Lactate rest mM/l	Pyruvate rest mM/l	Resting L/P	Peak ΔL/P	Peak ΔL		Peak XL		%O ₂ debt accounted for by	
					mM/l	O ₂ eq. (ml)	mM/l	O ₂ eq. (ml)	ΔL	XL
3	1.1	0.13	8.4	27.2	12.5	5,572	4.71	2,097	69.8	36.9
5	1.0	0.11	9.1	26.9	11.0	4,390	9.32	3,725	64.0	44.3
6	1.7	0.23	7.4	20.8	10.9	4,273	7.46	2,922	57.4	39.2
7	1.1	0.10	11.3	37.3	11.2	5,419	8.19	3,961	45.7	25.5
8	0.86	0.14	6.2	38.4	10.3	3,598	9.80	3,458	111.3	100.0
12	1.1	0.09	12.2	24.0	9.7	4,019	7.48	3,928	68.7	57.6
14	1.1	0.15	7.3	15.8	7.3	2,902	2.53	1,003	30.1	12.3
15	1.6	0.009	17.7	22.0	9.5	3,468	7.45	2,719	65.9	41.3
16	1.0	0.13	7.7	17.0	7.8	2,847	4.65	1,698	56.6	33.7
17	2.2	0.20	11.0	19.3	2.5	5,096	5.69	2,080	81.7	22.8
18	1.8	0.12	14.9	40.5	13.4	5,973	4.54	1,659	67.7	30.1
20	0.88	0.19	4.6	22.6	9.2	3,997	4.33	1,581	41.7	16.5
Mean	1.28	0.13	9.8	26.0	10.4	4,273	6.34	2,569	63.3	38.4
S.D.	0.401	0.043	3.61	8.07	1.78	0.98	2.15	0.97	1.97	22.1
Range	0.86~ 2.2	0.09~ 0.23	4.6~ 14.9	15.8~ 40.5	7.8~ 13.4	2,847~ 5,973	2.53~ 9.80	1,003~ 3,928	30.1~ 111.3	12.3~ 100.0

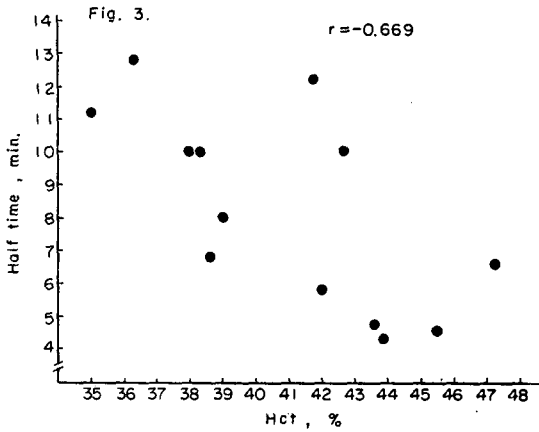


Fig. 3. Relationship between hematocrit ratio and half-time of total remaining O₂ debt. $r = -0.669$

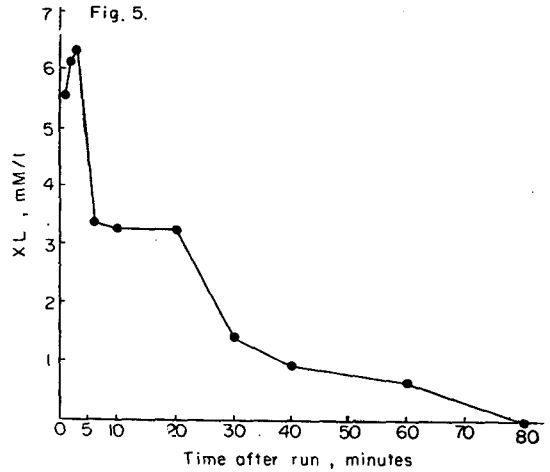


Fig. 5. Excess lactate concentration changes after maximal exercise in subjects with various hematocrit ratios.

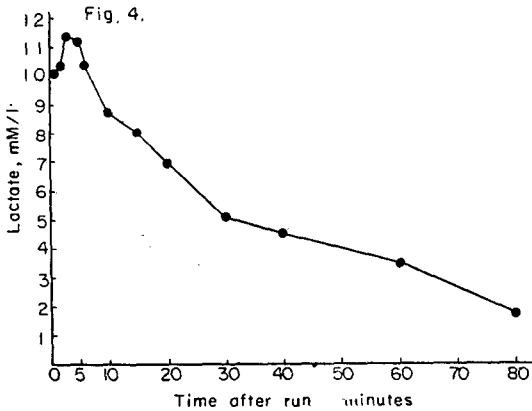


Fig. 4. Lactate concentration changes after maximal exercise. Peak concentration appeared at 3 minutes from the onset of recovery.

도의 상관 관계를 보이였다.

산소 부채의 총량은 다같은 최대 작업 이후라 할지라도 개인차가 크게 보이나 이것을 체중 기준으로 보인 것이 제 1도인바 헤마토크릴 비율이 낮을수록 체중 단위의 산소 부채는 증가하며 둘 사이의 상관 계수는 제 4표에서 보는 바와 같이 $r = -0.770 (p < .001)$ 이었다. 산소 부채가 헤마토크릴 비율과 밀접한 관계가 있음은 제 2도에 보는 바와 같다. 산소 부채 곡선은 일반적으로 지수곡선을 보이면서 감소하는데 헤마토크릴 비율이 낮을수록 본래의 안정시 산소 섭취량으로 회복하는데 장시간이 걸린다. 따라서 각 개인마다 최초의 100%로 남아있던 산소 부채로부터 그 절반인 50%로 감소하는데까지의 반감 시간(半)도 상이하여서 4분 내지 12분 사이에 널려 있다. 산소 부채가 완전히 없어지기 까지

의 시간도 빠르던 30분부터 대개는 60분 또는 그 이상 70분에 이르러서야 없어졌다. 반감 시간이 긴 사람에 있어서 회복에 장시간이 걸렸다. 즉 헤마토크릴 비율과의 관계를 제 3도에 보였는데 상당히 고도의 상관 관계가 있어서 $r = -0.669 (p < .001)$ 이었다. 즉 헤마토크릴 비율이 낮으면 체중 기준의 산소 부채도 크며 그 회복에도 오랜 시간이 걸렸다.

젖산 및 과잉 젖산 발생 속도: 최대 작업 후의 젖산 및 과잉 젖산 성적을 제 3표에 보이며 농도의 시간적 경과를 각각 제 4도와 제 5도에 보인다. 이것으로 보면 2분 45초의 최대 신체 운동 후 3분에 혈액내 젖산 농도는 최고값에 도달하며 다음에 10분까지는 급속히 감소하고 그 이후는 조금 서서히 감소하여 80분에 비로소 신체 운동 이전의 안정시 수준으로 회복되었다. 이 경과는 호흡성 산소 부채 곡선과 일치하는 것이나 회복 시간은 호흡공기 채집으로 측정되는 산소 부채의 회복 시간보다도 현저하게 긴 것이었다. 과잉 젖산의 농도도 마찬가지로 운동 정지 후 3분에 최고값에 이르러 다음에 급속히 감소하나 6분에서 20분에 이르는 기간에서는 수평을 유지하여서 호흡성 산소 부채의 감소 곡선이나 젖산의 감소 곡선과는 현저한 차이를 보이였다.

안정시 젖산 농도가 평균 1.28 mM/l, 피루빈산은 0.13 mM/l이었으며 L/P 비율은 9.8이었는데 신체 운동을 멈춘 후 최고값에 이르는 3분에는 젖산의 증가분 ΔL 은 평균 10.4 mM/l이며 $\Delta L/P$ 또한 26.0을 보이어서 젖산이 평상치 축적되었음을 나타냈다. 피루빈산의 변동도 고려에 넣은 과잉 젖산이 6.34 mM/l에 이르렀다.

Table 4. Coefficient of correlation

	Hema- tOCRIT (%)	O ₂ debt account- ed for by	
		△L	XL
Total O ₂ debt, ml/kg	-0.770		
t _{1/2} of total O ₂ debt, min.	-0.669		
Peak lactate after maximal exercise	-0.463		
Total O ₂ debt, ml/kg		-0.375	-0.710

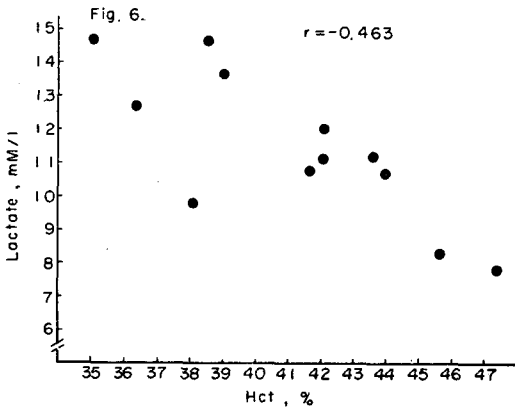


Fig. 6. Hematocrit ratio and peak lactic acid concentration after exercise. The peak appeared at 3 minutes(see Fig. 4).

그러나 이들 측정된 젖산의 산소 당량은 평균 4,273 ml로서 호흡성 산소 부채 총량의 63.3%에 지나지 않았으며, 과잉 젖산의 산소 당량은 평균 2,569 ml로서 호흡성 산소 부채의 38.4%에 해당하는 크기로서 젖산이나 과잉 젖산의 측정만으로는 최대 신체 운동 후의 산소 부채 전부를 설명할 수가 없었다.

이 실험의 대상자는 헤마토크릴 비율이 평균 39.8%인 빈혈자로서 혈액의 산소 함유량이 적으며 산소 운반 능력이 적을 것이 예상되는 바인데, 젖산의 축적이 조직의 산소 부족과 관련이 있을 것이므로 이것을 밝히기 위하여 제 6도에 헤마토크릴 비율과 젖산의 최고값 사이에 관계를 보인다. 둘 사이에는 밀접한 상관 관계가 있었으며 상관 계수는 $r = -0.463 (p < .05)$ 이었다. 즉 빈혈의 정도가 큰 사람일수록 신체운동 후의 젖산의 최고값이 컸으며 △L은 최고 13.4 mM/l에 이르렀다.

헤마토크릴 비율과 산소 부채의 관계는 제 7도에 더욱 뚜렷하다. 실험대상자들은 모두 각각의 최대 산소섭취량을 나타내는 신체 운동을 하였고 그후의 회복기에 절대량이 상이하고 나아가서는 몸무게 기준으로 표시되는 값이 상이한 호흡성 산소 부채의 값을 나타내었는데

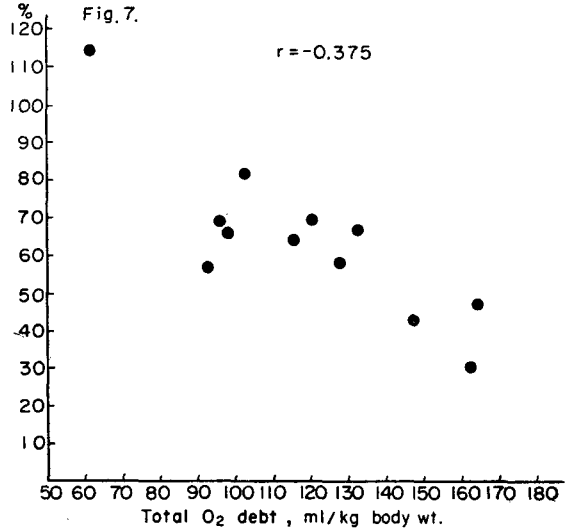


Fig. 7. Relationship between the total maximal O₂ debt in ml/kg b.wt. and % O₂ debt accounted for by peak △L after maximal exercise.

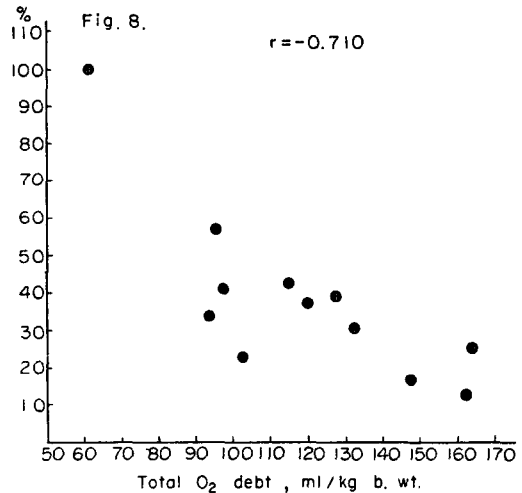


Fig. 8. Relationship between the total maximal O₂ debt in ml/kg b.wt. and % O₂ debt accounted for by peak excess lactate after maximal exercise.

여기에 제 7도와 같이 체중 기준의 산소 부채와 △L의 산소 당량 사이의 상관 관계는 $r = -0.375 (p < .20)$ 이었다. 즉 헤마토크릴 비율이 낮은 사람일수록 체중 기준의 산소 부채가 크며 이것이 젖산의 축적으로 63.3%가 설명이 되는 것이다. 헤마토크릴 비율이 정상에 가까운 사람에서는 산소부채가 100 ml/kg 부근을 보였으며 이런 사람에서는 부채의 절반 이상을 젖산 축적으로 설명할 수가 있었다. 8번 대상자의 헤마토크릴이 43.6%, 산소 부채가 61 ml/kg이었는데 이 사람의 경우에는 △L의 산소 당량이 오히려 산소 부채의 총량인 3,230 ml 보

다도 컸었다. 다시 말하면 산소 부채량이 적은 예에서는 젖산의 축적의 상당한 부분의 설명이 가능하나 산소 부채량이 큰 것은 이것만으로는 설명이 아니된다.

이러한 결론을 보충한다고 주장된 것이 과잉 젖산의 개념인데 이것으로는 젖산으로 설명되는 것보다 오히려 열등하다. 즉 제 8 도에 보이는 것 같이 과잉 젖산량과 산소 부채(ml/kg b. wt) 사이에 좋은 상관 관계가 있어서 $r = -0.710 (p < .001)$ 의 값을 보이거나 산소 부채량을 설명할 수 있는 %는 어느 예에 있어서도 젖산보다 훨씬 적으며, 대략 보아서 그 절반에 지나지 않는다. 즉 과잉 젖산의 발생 내지는 축적이 산소 부채와 별반 관계가 적은 것이다.

고 찰

사람의 일상 생활은 안정시 산소 섭취량보다도 큰 산소 섭취량을 요구하는 것으로 낱말의 정의로부터 항상 산소 부채를 동반한다. 과잉 젖산의 개념을 주장하는 Huckabee(1958 a, b)에 따르면 과잉 젖산은 신체운동의 경중에 정비례하여 변동하고 또한 이것으로부터 계산되는 당량은 작업의 어떤 크기에 있어서도 호흡성 산소 부채와 잘 일치하므로 산소 부채는 전적으로 과잉 젖산만으로 설명이 가능하다고 주장한다. 그러나 저자의 실험에서는 이것을 증명할 수가 없고 더구나 혈액의 헤마토크릴 비율과 호흡성 산소 부채가 밀접한 관계가 있는 것이 알려지므로써 산소 부채라는 현상의 설명은 더욱 곤란하게 됨을 느낀다.

신체 운동 후의 산소 부채는 운동량이 클수록 따라서 운동 기간중의 산소 섭취량이 클수록 증가하는 일은 널리 알려진 사실이다. 이것은 정상 대기압에서나(Knuttgen, 1962), 저기압 조건 아래의 작업에서나(Lorentzen, 1962) 증명된 일이다. 저자의 실험에서는 최대 산소 섭취량을 필요로하는 트레드밀(treadmill) 운동을 하였으므로 최대 산소 부채가 이루어졌을 것이다. 이 일은 대상자의 몸무게로부터 예측되는 최대 산소 섭취량(任昇宰·南基鏞, 1965)과 이 실험의 측정치가 잘 부합되며 운동 후의 안정 회복 기간을 60 분 내지 80 분으로 잡아서 호흡 공기를 채집하였으므로 산소 부채의 총량을 측정하였다고 믿어진다.

산소 부채의 총량을 100%로 잡고 남아 있는 분량을 %로 각 시각에 표시하여 그린 그래프가 개인마다 곡선의 형태가 달랐고 50%로 감소하기까지의 이른바 반감 시간이 헤마토크릴 비율이 낮은 사람일수록 긴 것은 주목할만하다. 정상적인 헤마토크릴 비율의 사람에서 반감 시간이 3 분 내지 5 분이었는데 비하여 혈구혈장 비율이 36~37%인 사람에서는 10 분 이상이나 걸렸으며

더구나 산소 부채의 총량도 빈혈자가 정상인에 비하여 현저하게 많으며(辛鳳夏·南基鏞, 1965) 몸무게 기준의 값도 큰 사실은 최대의 신체 운동으로 신체 내에 발생하였던 무기적(anaerobic) 활동의 보상이 이들 빈혈자에서는 잘 아니됨을 가리킨다.

과잉 젖산에 반대되는 재래의 견해(Hill et al., 1924; Margaria et al., 1933)에 따르면 무기적 근육 활동의 결과로 신체 내에 쌓이는 젖산의 제거에 필요한 산소 소요량이 산소 부채인바, 이 실험에서 신체운동 후 ΔL 이 최고값에 이르는 3 분 값과 헤마토크릴 비율 사이의 상관 계수가 $r = -0.463$ 이란 사실은 빈혈이 고도일수록 많이 쌓였던 신체 내 젖산의 제거에 몸무게 킬로그램당 산소 부채가 크고 이것의 제거에도 더욱 긴 시간이 필요하다고 해석할 수 있다. 한편 과잉 젖산의 신체 운동 후 농도는 대상자의 빈혈의 정도와는 별반 관계가 없으나 이것의 산소 당량의 크기가 몸무게 킬로그램당의 산소 부채와 좋은 상관 관계에 있어서 $r = -0.710$ 을 보인 일은 과잉 젖산 또한 무기적 근수축의 결과로 나타난 것이라 말할 수 있다. 그러나 산소 당량의 크기는 ΔL 이 호흡성 산소 부채의 평균 54.6%의 크기이나 과잉젖산은 이보다 훨씬 적은 38.4%에 지나지 않으므로 무기적 근 수축 후의 대사 현상을 설명하는데 좋은 연장이 될 수는 없다.

이 실험은 최대 산소 부채를 측정하였으므로 이 때의 젖산이나 과잉젖산의 농도도 최대의 것이 나타났다고 보았으므로 과잉 젖산의 출현이 없을 것으로 짐작되는 경한 신체 운동의 경우는 직접으로 말할 수는 없다. 그러나 Huckabee는 과잉 젖산을 주장하면서(1958 a, b) 신체 운동이 약하거나 심하거나 아무때나 과잉 젖산이 발생한다고 주장하나 이 실험의 인상으로는 그렇지 않은 것 같다. Hill(1924), Margaria et al. (1933), Wasserman et al.(1965) 등에 의하면 경도의 신체 운동에서는 ΔL 은 거의 없으며 과잉 젖산의 발생도 없었으며 신체 운동에는 어떤 크기의 문턱이 존재하여 이보다 심한 운동에서 비로소 젖산과 과잉 젖산의 발생을 보고하였다. Knuttgen(1962)은 이러한 문턱으로서 운동 도중의 산소 섭취량이 1.5 l/min. 이상이며 운동 후의 산소 부채량이 1.5 리터 이상인 경우에 비로소 ΔL 과 과잉 젖산의 농도 증가가 뚜렷하게 나타난다고 보고하였다. 저자의 실험에서는 산소 섭취량이 2.8 l/min.이며 산소 부채 총량이 7.5 리터에 이르는 심한 운동이므로 과잉 젖산이 발생함을 것을 기대할 수 없는고로 경한 운동의 경우에 빈혈자에서의 과잉 젖산 태도를 말할 수는 없다. 그러나 저자의 실험에서 과잉 젖산으로 설명될 수 있는 호흡성 산소 부채는 38%에 지나지 않으므로 경한 운동

에서 ΔL 이 거의 나타나지 않으면 피루빈산과의 비율과 관련있는 과잉 젖산의 발생도 그리 기대할 수가 없다고 보겠다.

Margaria et al.(1933)은 사람의 신체 운동에서 젖산 없는 기전(alactacid phase)이 있음을 재확인하면서 젖산→피루빈산 기전 이외의 기전도 산소 부채의 원인일 것을 주장한다. 저자의 실험에서 헤마토크릴 비율이 낮은 사람에서는 운동 후 젖산 농도의 최고값이 일반적으로 크게 나왔는데 이 사람들은 최대 신체 운동이 아니라 경한 정도에서도 ΔL 이 커지고 과잉 젖산이 발생할 가능성도 있다. 그러나 산소 부채의 젖산없는 기전과 젖산 있는 기전과 같이 운동의 문턱을 인정한다면 이들 빈혈자에서는 정상인에 비하여 비교적 정도의 작업에서도 ΔL 이 크게 되고 과잉 젖산이 발생할 수는 있으나 아무때나 과잉 젖산이 발생하고 이것만으로 호흡성 산소 부채의 총량을 설명할 수는 없다. 저자의 실험에서 헤마토크릴비율이 낮았던 대상자인 18번의(35.0%) 경우는 과잉 젖산의 산소 당량은 호흡성 산소 부채의 30.1%에 지나지 않는다. 8번 대상자는 헤마토크릴 비율이 43.6%인 정상인이었는데 이 경우에는 산소 당량이 젖산 증가분이 111.3%, 과잉 젖산이 100.0에 이르러 산소 부채가 완전히 과잉 젖산과 부합하였다. 이 사람은 총 산소 부채가 61 ml/kg에 지나지 않는 경우여서 최대로 신체 운동을 하였는데 불구하고 산소 부채가 극히 적은 예인데 이런 경우는 과잉 젖산과 호흡성 산소 부채와는 완전히 같은 것이라 말할 수 있겠다. 과잉 젖산개념을 주장하는 Huckabee 실험(1958 a)의 산소 섭취량은 제일 큰 예가 33 ml/kg에 지나지 않고 적은 예는 9 ml/kg이어서 저자 실험의 45 ml/kg에 비하면 중등정도 내지는 경한 운동이라 하겠는데 이때에는 산소 부채 총량도 적어서 체중 기준의 값 또한 적을 것인데 이런 경우는 과잉 젖산의 경과와 잘 일치한다. 그러므로 과잉 젖산의 산소 당량이 호흡성 산소 부채와 일치하는 것은 우연히 체중 기준의 산소 부채가 적은 경우라 말할겠다. 이렇게 특수한 경우에는 과잉 젖산 기전으로 산소 부채기전의 설명이 가능할 때도 있으나 일반적인 현상으로는 통용할 수가 없다. 이리하여 과잉 젖산으로 산소 부채가 설명되는 일은 우연한 일이며 일반적인 현상은 될 수가 없다고 하겠다.

회복 기간 중의 총젖산의 경과와 과잉 젖산의 경과는 잘 일치하지 않는다. 최초 3분까지 급격한 상승을 보여서 최고값에 이르는 것은 같으나 그 이후는 다르다. Carlson과 Pernow(1961)는 두 곡선의 경과가 같은 것이라 보고하였으나 저자의 실험에서는 호흡성 산소 부채의 반감시간($t_{1/2}$)이 존재하는 5분 이후 20분경까

지는 서로 병행하지 않는다. 젖산 곡선은 3분 후부터 지수곡선적 감소를 보이는데 반하여 과잉젖산 곡선은 5분에서 20분에 이르는 기간에는 같은 수준으로 머물러 있어서 피루빈산의 태도가 상이함을 가리킨다. 빈혈자에서는 이 기간에 피루빈산 농도가 높은 수준에 머물러 있는 것이 아닌가 생각된다.

결론

빈혈증이 있는 사람(헤마토크릴 비율 평균 39.8%) 13명을 대상으로 최대의 산소 섭취를 필요로 하는 신체운동을 2분 45초 동안 시키고 그후의 회복기에 산소 부채를 측정하면서 운동 전후에 채혈한 동맥혈 내의 젖산, 피루빈산을 검정하고 과잉 젖산을 산출하여 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 헤마토크릴 비율이 낮을수록 체중 기준의 최대 산소 부채는 증가하였으며 $r = -0.770$ 이라는 높은 상관도를 보였다.
2. 최대 산소 부채 총량(100%)의 절반으로 감소하는 소위 반감기가 헤마토크릴 비율이 낮을수록 길었다. 빠른 것은 운동 정지 후 4분에, 늦은 것은 12분이나 걸렸으며, 안정시 산소 소비량 수준으로 완전히 회복되는 시간도 헤마토크릴 비율이 낮은 사람은 80분이나 걸렸다.
3. 최대의 신체 운동 후 3분에 혈액내 젖산 농도가 최고에 이르렀는데 그 후의 시간 경과는 호흡성 산소 부채 곡선과 대략 일치하여 감소하나 이것보다 더 긴 시간이 걸려서 안정시 농도로 회복되었다.
4. 안정시 젖산 농도가 1.28 mM/l, 피루빈산은 0.13 mM/l, L/P 비율이 9.8이었는데 운동후에 ΔL 이 10.4 mM/l, $\Delta L/P$ 가 26.0을 나타내었다. 과잉 젖산의 농도는 6.34 mM/l에 이르렀다.
5. 과잉 젖산의 산소 당량으로는 호흡성 산소 부채의 38.4%가 설명될 뿐이었다. 젖산과 산소 부채 사이의 관계는 이보다 밀접하여서 산소 부채의 63.3%가 젖산의 축적으로 설명되었다.
6. 빈혈의 정도가 큰 사람일수록 운동후의 젖산 최고값이 컸으며 체중 기준의 산소 부채량이 컸다.
7. 산소 부채가 100 ml/kg 이상인 경우에는 산소부채의 60% 이상이 젖산 축적으로 설명되었으며 과잉 젖산은 이러한 경우에도 겨우 30% 밖에 설명이 아니 되었다.
8. 과잉 젖산은 호흡성 산소 부채를 설명하는 좋은 연장이 아니었다.

REFERENCES

Barker, S.B., and W.H. Summerson: *The colorimetric*

- determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.* 138:535, 1941.
- Carlson, L.A., and B. Pernow: *Studies on the peripheral circulation and metabolism in man. I. Oxygen utilization and lactate-pyruvate formation in the legs at rest and during exercise in healthy subjects. Acta Physiol. Scand.* 52: 328, 1961.
- Consolazio, C.F., R.E. Johnson, and L.J. Pecora: *Physiological Measurements of Metabolic Functions in Man.* New York, 1963.
- 韓格富 : 남자에서 엔티피린과 치오싸이아네이트 회색법에 의한 신체 성분 분석 및 산소 소비량에 관한 연구. *醫學다이제스트* 2:21, 1960.
- Hill, A.V., C.N.H. Long, and H. Lupton: *Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen.V. The recovery process after exercise in man. Proc. Roy. Soc. London, Ser. B.* 97:19, 1924.
- Huckabee, W.E.: *Relationships of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism. II. Exercise and formation of O₂ debt. J. Clin. Invest.* 37:255, 1958 a.
- Huckabee, W.E.: *Relationships of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism. III. Effect of breathing low-oxygen gases. J. Clin. Invest.* 37:264, 1958 b.
- Huckabee, W.E.: *The role of anaerobic metabolism in the performance of mild muscular work. II. The effect of asymptomatic heart disease. J. Clin. Invest.* 37:1593, 1958c.
- Huckabee, W.E.: *Relationship of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism. IV. Local tissue components of total body O₂ debt. Am. J. Physiol.* 196:253, 1959.
- 任昇宰, 南基鏞 : 남자의 최대 산소 섭취량과 신체 구성 성분 사이의 관계. *스포츠科學研究報告書* 2(1): 89, 1965.
- Knuttgen, H.G.: *Oxygen debt, lactate, pyruvate, and excess lactate after muscular work. J. Appl. Physiol.* 17:639, 1962.
- Lorentzen, F.V.: *Lactic acid in blood after various combinations of exercise and hypoxia. J. Appl. Physiol.* 17:661, 1962.
- Margaria, R., H.T. Edwards, and D.B. Dill: *The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. Am. J. Physiol.* 106: 689, 1933.
- Margaria, R., P. Cerretelli, P. E. Di Prompero, C. Massari, and G. Torell: *Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. J. Appl. Physiol.* 18:371, 1963.
- Naimark, A., K. Wasserman, and M.B. Mc Ilroy: *Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. J. Appl. Physiol.* 19: 644, 1964.
- Owles, W.H.: *Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise, and associated changes in the CO₂-combining power of the blood and in the alveolar CO₂ pressure. J. Physiol.* 69:214, 1930.
- Scholander, P.F.: *Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem.* 167:235, 1947.
- 辛鳳夏, 南基鏞 : 헤마토크릴 비율이 낮은 사람의 최대 산소 섭취량. *스포츠科學研究報告書* 2:97, 1965.
- Wasserman, K., and M.B. Mc Ilroy: *Detecting the threshold of anaerobic metabolism. Am. J. Cardiol.* 14:844, 1964.
- Wasserman, K., G.G. Burton, and A.L. Van Kessel: *Excess lactate concept and oxygen debt of exercise. J. Appl. Physiol.* 20:1299, 1965.