

산소 섭취량을 통하여 관찰한 수영의 생리학적 분석*

서울대학교 의과대학 생리학교실 및 국민체력과학 연구소

南基鏞 · 權承洛 · 曹允植 · 金潤菴 · 金大成 · 金永泰

=Abstract=

Physiological Analysis of Freestyle and Breast Stroke Swimming in High School Boys

Seung Rak Kwon, Yoon Sik Cho, Yoon Sun Kim, Dai Sung Kim,
Young Tai Kim and Kee Yong Nam

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

Physiological analysis of swimming in 13 (age:16.3 years, freestyle swimming) and 15 (age:17.2 years, breast stroke swimming) high school boys through oxygen uptake and oxygen debt measurements were performed. The following results were obtained.

1. In freestyle swimming oxygen debt was greater and mechanical efficiency was lower in subjects with less speed. In beginner efficiency was only 1.35%, whereas, in a more skilled subject it ranged to 4.28%. The mean efficiency was 2.59%.

2. In freestyle swimming the speed-oxygen debt curve was convex to the speed axis and the curve shifted to the right the more the speed was greater.

3. Maximal oxygen uptake in breast stroke swimming was 2.51 l/min or 41.8 ml/kin/kg and was 79.3% of treadmill running.

Maximal pulmonary ventilation in breast stroke swimming was 73.1 l/min and was 87% of treadmill running. Maximal ventilation equivalent was 2.89 liters.

4. In subjects with greater speed of breast stroke swimming maximal oxygen uptake and mechanical efficiency of swimming were greater. The mechanical efficiency of breast stroke swimming averaged 1.08% (range:0.51~1.70%). The coefficient of correlation between speed and efficiency was $r=0.87$.

서 론

사람의 신체운동 특히 스포츠 경기의 신체운동을 생리학적으로 분석하여 그 기계적 효율을 증가하고 움직임의 힘과 속도를 증진하려는 노력이 많다(韓圭濩, 南基鏞, 1968; 崔圭玟, 南基鏞, 1967; 金東俊등, 1966; 朴喆斌, 洪福基, 1964). 이들의 대부분은 실험실 내에서 한 것이며 트레드밀 등을 사용하여 최대의 또는 아최대(亞最大, submaximal) 작업을 부과하여 일어나는 여러가지 생리적 지수의 변화를 측정하고 있다. 수영은 물속에서의 전신 운동이며 여기에 참가하는 근육의 무리가 광범

위하고 크나 실험실내 조작이 불가능하므로 쉬이 분석이 아니되며 우리나라에서는 수영에 관한 생리학적 분석보고는 아직 없다.

이러한 난점을 해결하는 방법으로 사람이 물통 속에서 수영을 하나 앞으로 나가지 못하게 붙들어매는 방식(Van Hussand and Cureton, 1955; Adrian et al., 1966)이 쓰이기도 한다. 이 경우에는 물의 저항을 계산에 넣을 수 없으므로 기계적 효율의 값은 정확하게 얻을 수가 없다. 반면에 자유로운 수영을 할 경우에는 호흡기의 채집이 곤란하여 특히 자유형(crawl)수영에서 그러하다. 이런 제약으로 수영 운동의 최대 산소 섭취량이 트레드밀 달리기로 얻는 그것보다 5~10%가량 적다고 한다(Astrand

* 국민체력과학 연구소 논문 제 44호

and Saltin, 1961). 한편으로는 실험 수기에 따라서는 수영이나 트랩밀 달리기나 최대 산소 섭취량에 차이가 없다는 보고도 있다(Magel and Faulkner, 1967). 이 논문은 남자 고등학생이 자유로이 평영(breast swimming) 또는 자유형(crawl swimming) 수영을 할 때의 산소 섭취량을 중심으로 수영 운동을 분석 보고하는 것이다.

실험 방법

남자 고등학생 28명이 대상자이었으며 자유형 수영에 13명(연령 평균 16.3세), 평영에 15명(연령 평균 17.2세)이었으며 이들 모두의 신체적 특징을 제 1 표에 보인다.

수영을 자유로이 할 때에 호흡기를 채집하고 이것으로부터 산소 섭취량을 알았다. 수영장은 길이가 25미터의 것이었으며 여름철로서 물 온도는 22°C가량이었다.

Table 1. Mean physical characteristics of high school swimmers

Stroke	N	Age, yr	Height, cm	Weight, kg
Freestyle	13	16.3	170.0(3.95)	55.9(3.95)
Breaststroke	15	17.2	171.6(4.90)	60.1(4.67)

() : S.D.

자유형 수영에 있어서 정지출발*(dead start)후 운동 도중에는 숨을 멈추고 전력으로 25미터를 헤엄쳐서(대략 20초 전후) 수영장의 한쪽 끝에 다달으면 곧 호흡기 채집을 시작하여 회복기간 10분 내지 15분 동안 하였다. 즉 이 경우에는 운동 도중의 산소 섭취량을 측정하는 것이 아니며, 일종의 산소부채를 측정하는 것이다. 즉 수영 후 10여분 동안의 산소부채에 운동 기간중(약 20초 전후)의 산소 섭취가 가미된 것인데 이 기간에는 호흡 운동을 하지 않았으므로 수영운동은 거의 무기적(anaerobic)으로만 되었다고 보겠다. 개인 사이의 성적 비교에는 10여분 동안의 산소 섭취량으로부터 안정 상태 섭취량을 빼고 이 값을 1분값으로 환산한 가상적인 산소부채량을 사용하였다.

평영(breast swimming)에 있어서는 항정상태(steady state)의 산소 섭취량을 측정하였다. 길이가 25미터인 수영장에서 수영자는 미리 호흡기 채집용 기구를 몸에 달고 25미터를 전력으로 헤엄쳐서 항정상태에 도달하게 하고 다음 50미터를 전력으로 수영하는 동안(약 1분 20초 전후) 호흡공기를 채집하였다.

* 정지 출발 : 발로 벽을 차거나 위로부터 뛰어서 물에 들어가거나 하지 않고 물에 뜬채로 출발.

호흡공기 채집에는 일방활전과 더글래스 주머니를 사용하였다. 일방 활전을 입에 다는데는 특수한 모자를 수영자가 쓰고 여기에 일방활전과 고무대와 더글래스 주머니를 연결한 것을 사용하고 수영중에는 밖에서 딴 사람이 물위에 떠있는 더글래스 주머니를 끌고 같이 걸어가게 하여 수영자에게는 지장이 가지 않도록 하였다.

더글래스 주머니에 채집된 공기의 용량은 wet test gas meter 로 측정하였다. 공기 중의 산소와 탄산가스 농도는 Scholander 장치 (Scholander, 1947)로 측정하였으며 산소 섭취량 계산은 Consolazio 등 (1963)의 계산 도표를 사용하여 결정하였다.

실험 성적

자유형 수영 : 자유형 수영을 정지출발(dead start)로부터 25미터를 헤엄친 성적을 제 2 표에 보인다. 호흡운동을 정지하고 25미터를 전력으로 헤엄친 후 10분 내지 15분 동안 호흡공기를 채집하여 분석한 것이다. 여기에 총 산소부채는 엄밀한 의미의 그것은 아니며, 25미터를 20초 전후에 헤엄치는 동안에는 폐환기는 없었으므로 이것이 어떤 형태로 가미되어 있는 것이다. 여기에 산소부채—속도의 관계를 보인 것이 제 1 도이다.

속도—산소부채 곡선을 보던 자유형 수영에서 고등학생의 학교대표자는 속도가 크면서도 산소부채는 적으나 초심자는 속도가 적으면서 산소부채만이 크게 되었음이 뚜렷하다. 자유형 수영 자체에 익숙치 않으므로 에너지 소비에 비하여 속도가 나지 않았던 것이다.

속도—산소부채 곡선의 대상자들은 고등학교 학생으로서 결코 우수한 수영가가 아니었는데 외국의 우수 선수의 속도—산소부채 곡선과 비교하면 그 모습이 더욱 뚜렷하다. 이것을 보인 것이 제 4 도인데 우수 선수의 곡선은 오른 쪽으로 이동하며 세계적 선수의 곡선이(가상적인 것으로, 계산으로 얻은 것) 가장 오른쪽에 자리잡는다.

자유형 수영의 작업량 크기와 산소 섭취량으로부터 기계적 효율을 계산한 성적을 제 2 표에 보인다. 단 여기에서 산소 섭취량이라 하였지만 수영 도중의 실제 섭취량은 아니며 회복 기간 중의 산소부채량으로 대신한 것이다. 수영 초심자의 기계적 효율은 1.35%에 지나지 않았으나 학교대표자는 4%에 이르러서 평균 2.59%가 되었다. 이것은 또한 자유형 수영의 속도가 커지는데 따라 기계적 효율이 증가함을 말한다.

평영 : 고등학생 15명의 평영 수영 성적을 제 3 표에 보인다. 대상자들은 모두 전력을 다하여 헤엄쳤으나 육상에서 달리기를 할 경우보다 값이 일반적으로 작았다. 즉 평영에서 폐환기량은 평균 73.3l/min 또는 41.8 ml/

Table 2. Data on 13 high school swimmers during freestyle swimming for 25 meters

S subj. No.	Speed m/sec	Recovery period of air collection, min	Work kg. m m	$\dot{V}_{E,l}$, BTPS		$\dot{V}_{O_2,l}$, STPD		Total O ₂ debt normalized for/min		Mechanical efficiency %
				Rest	Recovery	Rest	Recovery	l	Energy kg. m m	
1*	1.47	10	6.33	8.2	33.3	.216	.702	17.2	112.9	3.86
3	1.25	12	4.58	13.5	26.7	.298	.547	9.3	81.7	2.64
5	1.19	10	4.15	9.7	29.2	.255	.744	14.0	140.3	1.94
6	1.21	15	4.29	11.2	24.6	.276	.522	10.7	104.1	1.94
7	1.39	10	5.66	—	29.6	—	.652	13.4	—	—
8	1.23	10	4.43	30.0	86.1	.345	.679	9.9	92.7	2.35
12	1.46	11	6.25	11.5	26.6	.236	.568	12.8	85.1	4.28
13*	1.56	10	7.13	9.0	32.6	.265	.789	19.7	114.7	4.13
14*	1.45	13	6.16	13.9	25.3	.399	.659	11.8	79.6	3.05
16	1.32	10	5.11	7.8	30.7	.283	.741	14.5	131.1	2.40
18	1.06	12	3.29	13.1	25.6	.297	.504	5.3	66.7	1.75
19+	1.14	10	3.81	17.9	36.8	.270	.944	18.4	201.9	1.35
20+	1.06	10	3.29	9.9	27.3	.088	.715	15.1	202.0	1.35

*: Varsity boys.

+: Beginners.

Table 3. Data on 15 high school swimmers during breast stroke swimming for 50 meters.

Subj. No.	Speed m/sec	Work kg m m	$\dot{V}_{E,l}$, BTPS	\dot{V}_{O_2} , STPD			Mechanical efficiency %	Ventilation equivalent l
				l	Energy	ml/kg		
21	.662	1.28	68.1	2.23	115.1	39.8	1.12	30.4
22	.639	1.19	58.2	2.08	111.2	40.8	1.08	28.0
23	.746	1.63	44.9	2.10	96.2	35.9	1.70	21.4
24	.749	1.64	91.4	3.33	151.9	53.3	1.08	27.4
25	.763	1.71	67.0	2.56	114.6	42.7	1.49	26.2
26	.718	1.51	64.5	2.02	96.1	35.4	1.57	31.9
27	.744	1.62	81.6	2.90	133.2	46.0	1.22	28.1
28	.735	1.58	82.5	2.52	117.1	37.1	1.35	32.7
29	.628	1.16	90.3	3.01	163.7	49.3	0.71	30.0
30	.598	1.05	96.5	2.88	164.5	49.7	0.64	33.5
31	.530	0.82	68.7	2.44	157.3	40.0	0.52	28.1
32	.578	0.98	81.3	2.48	146.6	40.7	0.67	32.8
33	.570	0.95	56.9	1.93	115.7	37.8	0.82	29.5
34	.662	1.28	56.4	2.45	126.4	36.6	1.02	23.0
35	.667	1.30	84.3	2.59	132.6	41.8	0.98	32.5
Mean	—	—	73.3	2.51	—	41.8	1.08	28.9
S.D.	—	—	14.72	0.386	—	5.29	0.349	3.43

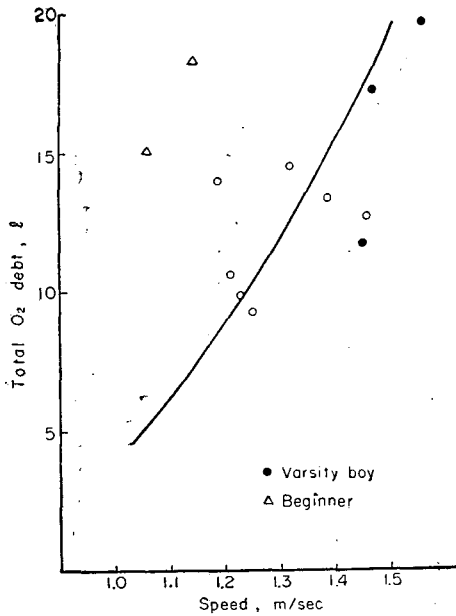


Fig. 1. Speed-O₂ debt curve of the crawl stroke. Curve is drawn omitting two beginners.: Varsity boys, Δ :Beginners.

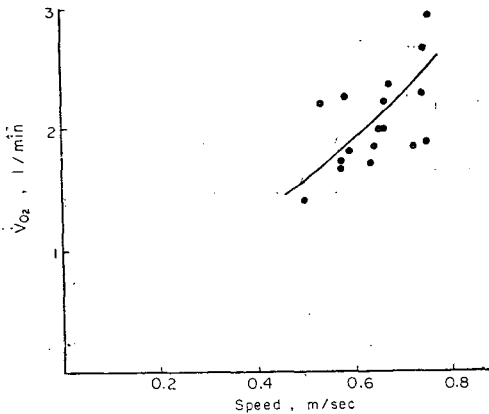


Fig. 2. Speed-oxygen consumption curve of breast stroke swimming in 15 high school boys.

min/kg의 값을 보였다. 이들 값은 같은 연령의 남자 고등학생의 최대 폐환기량이 84.0 l/min이며 최대 산소섭취량이 2.86 l/min 또는 52.7 ml/min/kg (郭板達, 南基鏞, 1968)인 것에 비교하면 적다. 특히 체중단위로 표시한 최대 산소섭취량이 평영 수영에 있어서 41.8 ml/min/kg 임은 달리기 최대값이 52.7 ml/min/kg 인데 비하여 79.3%에 지나지 않는다. 또한 수영의 최대 폐환기량은 달리의 87%에 불과한 것이 된다.

평영 수영의 속도와 산소섭취량 사이의 관계를 보인

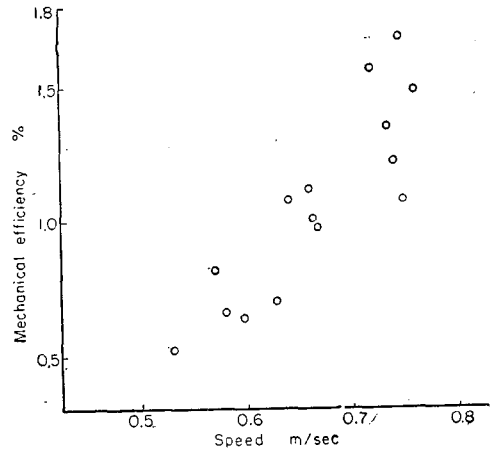


Fig. 3. Relation of speed (m/sec) and mechanical efficiency (%) of breast stroke swimming in 15 high school boys.

것이 제 2도인데 일반적으로 평영을 잘하거나 못하거나 산소섭취량이 많은 사람이 속도가 크게 나타나 있다. 한편 평영 수영의 기계적 효율은 평균 1.08%(범위: 0.52-1.70%)이었으며 제 3도에 보듯이 속도가 커질수록 기계적 효율도 같이 커졌다($r=0.87$). 즉 평영 수영의 속도가 큰 사람 다시 말해서 평영을 잘하는 사람은 산소섭취를 많이 하면서 더 큰 속도를 냈다고 말할 수 있다.

평영 수영의 환기당량은 평균 2.89 리터이었으며 이것은 같은 연령의 고등학생이 육상에서 달리기 때에 얻는 최대 환기당량 29.3 리터(郭板達, 南基鏞, 1968)와 별반 차이가 없는 값이다.

고찰

이 논문의 대상자는 고등학생들로서 학교의 체육 시간에 수영을 즐기는 사람들이어서 특히 뛰어난 수영을 잘하는 것이 아니며 개중에는 수영의 초심자도 끼어 있었다. 즉 대상자는 수영의 기술이라는 면에서 균등하지 않은 집단이었다. 물에 겨우 뜰수 있는 사람이 헤엄치면서 산소를 섭취하는 일과 이 사람이 육상에서 달리면서 산소를 섭취하는 일과는 직접 비교할 수 없는 일인지도 모르겠다. 달리기에서는 달리기 자체를 위해서는 특별히 학습이 필요없었으나 수영은 물에 뜨는 일 자체에 커다란 노력이 필요하다. 이것이 반영되어 있는 것이 기계적 효율이라고 생각된다. 자유형 수영에서 초심자의 값은 1.35%에 지나지 않았는데 학교의 대표 3명 수영자의 값은 3.86%, 4.13% 및 3.05%로 높은 값을

보였다. 즉 수영의 초심자에서는 섭취된 산소량이 헤엄쳐서 속도를 얻는 일에 사용되는 부분과 물에 뜨는 일 자체에 쓰이는 부분의 두가지 요소 가운데서 물에 뜨는 일에 산소가 많이 사용되어 기계적 효율은 대단히 낮게 나타났다고 하겠다. 이리하여 이 실험 대상자의 자유형 수영의 기계적 효율은 평균 2.59%(범위 : 1.35~4.28%)에 이르렀는데 평영 수영의 기계적 효율 1.08%보다는 훨씬 높다.

자유형 수영의 기계적 효율로 보고된 것을 보면 수영 훈련을 제대로 받은 남자 대학생에서 1.71~3.99%(Adrian et al., 1966), 팔은 자유형이되 다리는 개구리 헤엄 같이 하는 수영법에서 2.2%(Liljestrand and Stenström, 1919) 등이 보고되어 있는바 저자들의 값과 대동소이하다. 그러나 호흡장치와 발에 물갈퀴를 달고 물속에서 수영할 경우에는 기계적 효율은 좋아져서 값이 1.2~5.6%(Goff et al., 1957)에 이른다고 한다. 한편 평영 수영의 기계적 효율은 0.52~1.70% (평균 1.08%)에 불과하여 자유형 수영보다 훨씬 낮다. 평영 수영의 팔 운동과 다리 운동을 따로 분석한 결과에 의하면 팔운동만의 효율은 2.16%이어서 다리 운동만의 효율 0.05—1.23%보다 월등하게 컸다고 한다(Adrian et al., 1966).

수영에서는 최대 산소 섭취량을 얻기가 곤란하였다. 수영을 그렇게 서투르게는 하지 않는 고등학생들이었지만 최대 노력으로 평영 수영을 하였는데 불구하고 얻어진 산소 섭취량은 2.51 l/min 또는 41.8 ml/min/kg에 불과하여 같은 연령 고등학생이 육상에서 달릴 때에 나타난 최대 산소 섭취량이 2.86 l/min 또는 52.7 ml/min/kg (郭板濂, 南基鏞, 1968)에 비하여 체중 단위값이 21%나 적다. 이런 차이의 이유로 생각되는 것은 수영 도중에는 물의 저항 등으로 호흡운동이 방해받을 것이 있었으나 이것만으로는 21%라는 커다란 차이를 전부 설명할 도리가 없다. 평영 수영의 폐환기량이 평균 73.3 l/min 이었는데 같은 연령 고등학생이 육상에서 최대로 달릴 때의 최대 폐환기량이 84.0 l/min에 이르는 일에 비하면 수영의 경우는 달리기 87%에 해당하므로 평영 수영에서 산소 섭취량이 적은 것은 허파에서의 산소 추출률(oxygen extraction)이 적었기 때문이라고 하겠다. Astrand 와 Saltin(1961)의 보고에 의하면 평형 수영의 최대 산소 섭취량은 트랜틸 달리의 경우의 81%가 된다고 한다. 한편 Magel 과 Faulkner(1967)에 의하면 수영에 잘 훈련된 남자 대학생에서 최대 산소 섭취량은 트랜틸 달리기에서 55.5 ml/min/kg 이며 붙들어맨 자유형 수영에서도 역시 55.0 ml/min/kg 이어서 차이가 없었다고 한다. 이들 대상자는 수영에 능숙하였다고 하며 아만 이런 경우에는 수영으로도 최대 산소 섭취량이 정확

하게 측정된다고 하겠으나, 저자들 실험같이 그저 헤엄 칠 줄 아는 사람에서는 수영으로는 최대 산소 섭취량에 도달 못한다고 하겠다. 일반적으로 어떤 작업을 부과하여 최대 산소 섭취량을 측정하는 경우에 작업에 가담하는 근육의 덩어리가 크고 범위가 넓을수록 값이 큰 것을 얻으며 팔만의 운동보다는 팔과 다리를 함께 움직이는 운동일 때에 산소 섭취량은 커진다(Taylor et al., 1955; Asmussen and Hemmingsen, 1958). 수영운동에는 가담하는 근육의 덩어리도 크고 범위도 넓은데 불구하고 얻어지는 최대 산소 섭취량이 달리기보다 적은 이유로는 허파에서의 산소 추출이 적지 않은가 생각되나 이것은 사실이 아니다. 즉 저자들 실험에서 허파의 산소 추출은 환기량 73.3 l/min에 대하여 산소 섭취량이 2.51 l/min 즉 추출률은 3.42%인데 남자 고등학생의 달리기에서 3.4%(郭, 南, 1968)로 별반 차이가 없다. Magel 과 Faulkner(1967)에 의하여도 산소 추출이 달리기에서 3.32%, 수영에서 3.83%로 수영쪽이 오히려 높다.

최대 폐환기량은 수영에서도 달리기보다 적은 것 같다. 저자들이 평영에서 얻은 최대 폐환기량은 73.3 l/min 인데 달리기보다 적나함은 앞서 기술한 바와 같거나와 Magel 과 Faulkner(1967)의 보고도 같은 경향을 보인다. 즉 달리기에서 최대 폐환기량이 127 l/min 인데 대하여 수영에서 109 l/min 로 상당한 차이를 보였다. 이렇게 최대 노력의 수영에 있어서 폐환기량이나 산소 섭취량이 육상의 달리기보다 작으나 섭취된 산소 1 리터에 필요한 폐환기량으로 셈되는 환기당량도 육상의 달리기보다 대체로 적다. 즉 Magel 과 Faulkner(1967)에 의하면 달리의 환기당량이 30.4 리터인데 대하여 수영에서는 26.4 리터라 보고하였으며, 저자들의 실험에서는 수영에서 28.9 리터이며, 육상의 달리기에서 29.3 리터로 별반 차이는 없었다.

속도—산소 섭취량 곡선은 수영의 숙련도를 가리킨다고 하겠다. 제 4 도는 자유형 수영의 속도(m/sec)와 수영 후의 산소 부채의 크기 사이의 관계인데 저자들의 성적과 문헌에 나와있는 보고들의 값을 같이 그린 것이다. 이 관계는 속도가 클수록 산소부채도 큰 경향을 보이며 직선은 아니고 속도축으로 볼록한 곡선을 이루었다. 자유형 수영의 멕시코 올림픽 세계기록이 100 m/52.2 sec 즉 1.916 m/sec 인데 이런 세계 선수의 곡선은 맨 오른쪽에 위치하나 저자들의 대상자(속도 평균 1.29 m/sec) 곡선은 맨 오른쪽에 위치한다. 저자들의 대상자는 수영에 능숙하지 못하였으나 Adrian et al. (1966)의 대상자는 잘 훈련된 대학생이었으며 Karpovich 와 Millman (1944)의 대상자도 수영에 잘 단련된 사람들로서 이들의 곡선은 중간에 위치한다. 수영 운동 후에 총 산소부채량이

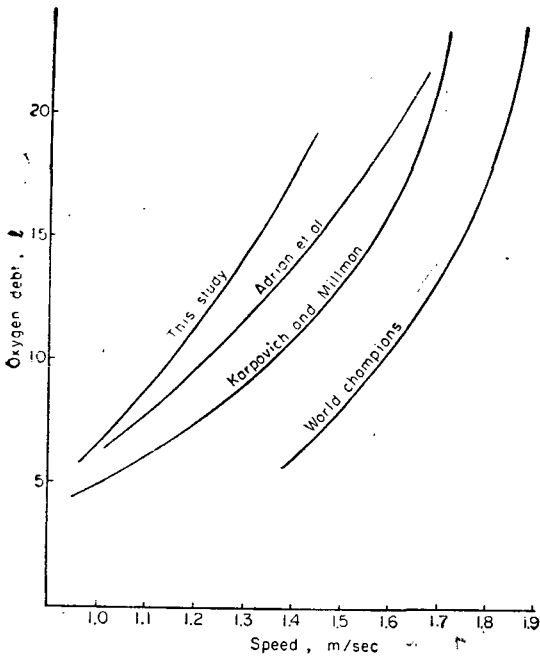


Fig. 4. Speed-oxygen debt curve of freestyle swimming. References: Adrain et al., 1966; Karpovich and Millman, 1944; World champions: hypothetical curve.

수영 도중의 산소 섭취량과 어떤 관계에 있는지 이것을 밝힌 연구는 아직 없지만 속도—산소부채 곡선으로부터 말할 수 있는 일은 수영에 능숙한 사람일수록 같은 량의 산소부채를 필요로 하면서도 수영 속도가 크다는 사실이다. 이 일은 앞서 관찰한 기계적 효율의 모습과 일치하는 현상이다. 저자들의 성적에서 이것이 뚜렷이 보이는바, 제 1 도의 세모꼴 표시 대상자 두명은 수영의 초심자였는데 속도는 각각 1.14, 1.06 m/sec 에 지나지 않았는데 산소부채량은 18.4, 15.1 리터에 이르렀으며, 반면에 헤엄을 좀 잘한다는 세명의 속도는 각각 1.47, 1.56 및 1.45 m/sec 에 대하여 산소부채량은 각각 17.2, 19.7 및 11.8 리터이었다. 자유형 수영에서는 호흡공기 채집용 기구를 달고 자유로이 헤엄치기가 곤란하여 부득이 수영후의 산소부채를 측정하는 수법을 쓰게 되었으나 평영에서는 이러한 제약이 없으므로 직접 수영 도중의 산소 섭취량을 측정하여 속도와와 관계를 검토할 수가 있었다. 즉 제 2 도는 평영 수영의 경우 속도와 산소 섭취량 사이의 관계를 그린 것인바 속도를 크게 내는 사람일수록 수영 도중의 산소 섭취량은 컸다. 제 3 도에 표시한 속도와 기계적 효율 사이의 관계와 함께 고려하면 평영 수영을 잘하는 사람은 속도가 크며, 수영 중의 산소 섭취량이 크고, 기계적 효율이 높다고 말할 수 있다.

결론

남자 고등학생 13명(연령 평균 16.3세)에서 자유형 수영을, 15명(연령 평균 17.2세)을 대상으로 25미터 수영장에서 수영을 시키고 수영중의 산소 섭취량 및 수영후의 산소부채량을 측정하여 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 자유형 수영에서 속도가 적은 사람일수록 산소부채량단이 컸으며 기계적 효율도 낮았다. 수영 초심자의 기계적 효율은 1.35%에 지나지 않았으나 잘하는 사람에서는 4.28%에 이르렀다. 자유형 수영의 기계적 효율은 평균 2.59%이었다.

2. 자유형 수영의 속도—산소부채 곡선은 속도축으로 볼록한 곡선이었으며 수영에 능숙한 사람의 것일수록 오른쪽에 위치하였다.

3. 평영 수영의 최대 산소 섭취량은 평균 2.51 l/min 또는 41.8 ml/min/kg 이었으며 트렐밀 달리기에 비하여 79.3%에 지나지 않았다.

평영 수영의 최대 폐환기량은 73.3 l/min 이었으며 달리기의 87% 에 해당하였다. 최대 환기당량은 2.89 리터로서 달리기와 별반 차이가 없었다.

4. 평영 수영 속도가 큰 사람일수록 산소 섭취량이 컸으며 기계적 효율도 컸다. 기계적 효율은 평균 1.08% (범위 : 0.52—1.70%)이었다. 속도와 기계적 효율 사이의 상관계수는 $r = .87$ 이었다.

REFERENCES

- Adrian, M.J., M.Singh, and P.V. Karpovich: *Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke. J. Appl. Physiol.* 21:1763, 1966.
- Asmussen, E., and I. Hemmingsen: *Determination of maximum work capacity at different ages in work with legs or with the arms. Scand. J.Clin. Lab. Invest.* 10:67, 1958.
- Astrand, P.-O, and B. Saltin: *Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. J. Appl. Physiol.* 16:977, 1961.
- 崔圭玟, 南基鏞: 최대하 운동의 생리학적 분석. 스포츠科學研究報告書 4:66, 1967.
- Consolazio, C.E., R.E. Johnson, and L.J. Pecora: *Physiological Measurements of Metabolic Functions in Man. New York, 1963.*
- Goff, L.F., H.F. Braubach, and H. Specht: *Measurements of respiratory responses and work efficiency of underwater swimming utilizing improved*

- instrumentation. *J. Appl. Physiol.* 10:197, 1957.
- 韓圭護, 南基鏞 : 심장 박동수를 통하여 관찰한 몇몇 신체운동의 분석. *서울의대잡지* 9:163, 1968.
- Karpovich, P.V., and N. Millman: *Energy expenditure in swimming. Am. J. Physiol.* 142:140, 1944.
- 金東俊, 金龜子, 盧光瑞, 崔慶燾 : *Studies of basal metabolism and energy expenditure of koreans in daily life. 梨花女子大學校韓國文化研究院論叢* 8:231, 1966.
- 郭板達, 南基鏞 : 남자 중·고등학생의 최대 산소 섭취량. *대한생리학회지* 2:105, 1968.
- Liljestrand, G., and N. Stenstroem: *Studien uber die physiologie des Schwimmens. Skandn. Arch. Physiol.* 39:1, 1919.
- Magel, J.R., and J.A. Faulkner: *Maximun oxygen uptake of college swimmers. J. Appl. Physiol.* 22:929, 1967.
- 朴喆斌, 洪弼基 : 運動選手의 心肺機能 및 運動代謝. 스포츠 科學研究報告書 1:51, 1964.
- Scholander, P.F.: *Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem.* 167:235, 1947.
- 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.
- Van Huss, W.D., and T.K. Cureton: *Relationship of selected tests with energy metabolism and swimming performance. Research Quart.* 26:205, 1955. cited from Magel and Faulkner.