

심장 박동수를 통하여 관찰한 몇몇 신체운동의 분석*

Physiological Analysis of some Selected Sports Activities through Telemetered Heart Rate

서울대학교 의과대학 생리학교실 및 국민체력과학 연구소

韓 圭 漢 · 南 基 鏞

여러 가지 스포츠 경기 기타 작업에 있어서 산소 섭취량, 나아가서 에너지 소비량이 여러 연구자에 의하여 측정되어 왔다(朴喆斌·洪礪基, 1964; 金東俊 등 1966). 이러한 연구에는 피검자의 호흡공기를 채집하는 일이 필요하며, 이 공기 속의 산소와 탄산가스 함량을 분석하여야 한다. 이 일을 위하여 실험실 내에서는 여러 가지 측정기구를 피검자에 장비하고서도 별반 지장이 없이 실험이 수행된다. 그러나 위와 같은 방법을 사용하면서는 야외나 실험실을 떠난 장소 또는 실제로 스포츠 경기를 하고 있는 동안에는 산소 섭취량을 측정하기가 곤란하다. 이런 목적으로는 가스 분석을 위하여 특수하게 만든 장비를 사용하기도 하나 스포츠 경기가 극심하여 폐환기량이 많은 경우에는 신빙성이 적어지며 이용 가치가 감소된다(Astrand and Saltin, 1961; Karovich and Millman, 1944; Malhotra et al., 1962).

산소 섭취량을 간접적으로 측정하여 스포츠 경기 도중에도 응용할 수 있게 하는 노력이 있다. 즉 심장 박동수를 통하여 측정하는 것(McArdle et al., 1967; Maxfield, 1963; Skubic and Hodgkins, 1966), 폐환기

량을 통하여 측정하는 것(Malhotra et al., 1962) 등이 있다. 이러한 방법들은 신빙성을 별반 손상하지 않으면서도 산소 섭취량을 활동 도중에 측정할 수 있다고 주장한다. 이 논문은 남자 대학생에서 심장 박동수를 통하여 간접적으로 몇몇 스포츠의 산소 섭취량을 측정하여 운동의 경중을 비교한 것이다.

실 험 방 법

대상자: 의과대학 학생 남자 6명이 대상자이었는데 그들의 신체 특징은 제 1표와 같았다. 연령이 19.9세 내지 21.6세, 체중 55.8—64.7kg, 신장 167—176cm, 체표면적 1.60—1.73m²이었다. 피부두겹법에(朴景華, 1963; 南基鏞, 1962) 의한 신체 총지방량이 13.6—19.2% 체중, 무지방체중이 80.8—86.3% 체중이었다. 피부두겹은 Lange의 집계(Cambridge Sci. Co. 제조)를 사용하여 南基鏞(1962) 및 朴景華(1963)에 따라서 등, 허리, 팔 및 배의 4군데에서 측정한 것이며 다음의 공식으로 총지방량을 계산하였다.

Table 1. Anthropometric data of 6 male medical students

No.	Age (yr)	Body length (cm)	Body weight (kg)	Body surface area (m ²)	Skinfold thickness(mm)					Body fat		LBM	
					Back	Waist	Arm	Abdomen	Mean	kg	%	kg	%
1	20.3	176	59.0	1.70	8.4	6.9	4.6	6.5	6.6	8.2	13.9	50.8	86.1
2	19.9	173	55.8	1.64	8.2	4.4	4.3	5.7	5.7	7.6	13.7	48.2	86.3
3	21.5	170	64.7	1.73	14.9	15.9	8.1	13.3	13.0	12.4	19.2	52.3	80.8
4	21.7	167	56.2	1.60	7.9	7.3	3.8	6.2	6.2	7.9	14.5	48.3	85.5
5	21.6	169	56.9	1.63	7.7	15.9	5.8	6.8	9.1	9.9	17.4	47.0	82.6
6	21.0	171	57.2	1.65	10.9	9.7	5.8	7.5	8.5	9.5	16.5	47.7	83.5
Mean	21.0	171.0	58.3	1.66	9.7	10.0	5.4	7.7	8.2	9.3	15.9	49.1	15.9
S. D.		2.8	3.03	0.044	2.54	4.4	1.4	2.6	2.47	1.61	2.03	1.9	2.0

* 국민체력과학 연구소 논문 제35호

Fat (kg) = 0.653 × Mean skinfold thickness (mm) + 2.91.

실험 조작 : 먼저 심장 박동수와 산소 섭취량을 6개의 조건 즉 안정 상태, 바로서기 상태, 가정 체조, 하워드 계단 검사(Harvard step test), 트레드밀(treadmill), 달리기 검사(6km/hr, 0도 경사 및 8.0 km/hr, 8.5도 경사)에서 측정하여 각 개인별 및 전체로 심장 박동수와 산소 섭취량 사이의 관계식을 구하였다. 다음에 스포츠 경기를 자유로이 하고 있는 동안에 심장 박동수를 원격계측(telemetry)에 의하여 측정하고 이 값을 앞서 얻은 공식에 대입하여 산소섭취량을 간접적으로 계산하였다.

안정상태는 보통대로의 아침 식사를 한 대상자가 오전 8시에 실험실에 도착하여 30분 이상을 가만히 누워있던 후의 상태이다. 바로서기에서는 편안히 서서 5분이 경과한 후에 심장 박동수와 산소 섭취량을 1분동안 측정하였고, 가정 체조는 문교부 제정의 일반 국민용 보건 체조이며 신체 운동으로는 중등 정도 이하의 강도(崔圭旻, 南基鏞, 1967)를 가지는 것이다. 하워드 계단 검사(Harvard step test)는 대한 체육회 제정의 남자용 높이 50cm를 사용하여 5분 동안 보통 쓰이는 술식에 따라서 상하 운동을 시킨 것으로 3분 30초에서 4분 30초까지의 1분 동안에 필요한 채기와 측정을 하였다. 트레드밀 검사에 있어서는 任昇宰·南基鏞(1965)에 따라서 2분 45초 동안 달리게 하면서 마지막 1분 동안에 필요한 측정을 하였다.

스포츠 경기의 종류는 국제식 단식 탁구 경기를 하는 동안 2.5—3.0분 사이에 심장 박동수를 측정하였고(이 시간은 대략 11점 경기 시간이 된다), 야구의 캐치볼(catch ball)에서는 거리 20 미터에서 4—5초에 한번 걸

력으로 공을 던지게 하여 4.5—5.0분 사이에 심장 박동수를 측정하였다. 배구(volley ball)는 2명이 톱싱(tossing)을 하면서 피검자가 2—3초에 한 번 공을 치게 하여 2.5—3.0분 사이에 심장 박동수를 측정하였다. 100미터와 50미터를 전력으로 뛰는 경우에는 도착 후 10초 동안의 심장 박동수로써 1분 값을 산출하였다.

일상 생활과 관련된 신체 운동으로 계단 상하운동을 시켰다. 의과대학 건물의 1층에서 4층까지 계단이 모두 72계단이 있는데 이 계단 하나의 디딤판 폭이 26cm, 철판의 높이 18cm이며 도중에 계단참이 5군데 있다. 보통 속도로 오르면 대략 50초 가량이 걸리고, 반대로 내려올 때는 45초 가량 걸리는데 학생이 3.28kg 무게의 Cecil 내과학 교과서를 들고서 운동하게 하여 마지막 10초 값으로부터 1분값 심장 박동수를 환산하였다.

호흡 공기 채집은 더글라스 주머니(Douglas bag)에 일방향전을 통하여 채집하였고 가스 분석은 micro-Scholander 장치(Scholander, 1947)에 의하였으며 산소 섭취량 산출은 Consolazio(1963)의 도표를 사용하였다. 심장 박동수 측정은 원격계(telemeter)를 이용하였는데, 이것을 피검자의 허리에 단단히 붙들어 매고 운동을 시켰다. 이 원격계는 무게가 300그램(허리띠까지 합하여)에 불과하므로 아무런 짐도 되지 않았다.

이 실험은 1966년 7월에 한 것이다.

실험 성적

대상자 6명에 있어서 안정 상태에서부터 바로서기, 가정 체조, 하워드 계단 검사 및 트레드밀 검사에 이르는 최대 산소 섭취 상태까지의 산소 섭취량, 폐환기량 및 이때의 심장 박동수를 제 2표, 제 1도 및 제 2도에 제시한다.

Table 2. Oxygen uptake (l, STPD), pulmonary ventilation (l, BTPS) and corresponding heart rate per minute in various activities up to the maximal oxygen uptake of individual subjects

Subject	Resting	Standing	Gymna- stics	Havard step	Treadmill run		Max \dot{V}_{O_2} ml/kg	
					Submax	Max		
1	\dot{V}_{O_2}	0.204	0.614	1.102	3.095	1.078	3.10*	52.5
	\dot{V}_E	5.86	22.2	21.1	77.4	28.4	86.4	
	Heart rate	60	84	120	162	126	186	
2	\dot{V}_{O_2}	0.175	0.581	1.155	2.409	1.767	2.574*	46.2
	\dot{V}_E	4.73	15.4	26.3	71.5	42.6	91.3	
	Heart rate	65	96	130	155	156	198	
3	\dot{V}_{O_2}	0.349	0.473	1.183	2.892*	1.712	2.526	39.1
	\dot{V}_E	8.28	11.5	25.1	82.4	57.0	89.2	
	Heart rate	73	84	135	168	168	192	

4	$\dot{V}O_2$	0.330	0.586	1.554	2.907	1.651	2.667*	47.4
	\dot{V}_E	7.41	17.6	33.7	86.5	40.0	93.8	
	Heart rate	68	110	130	162	140	192	
5	$\dot{V}O_2$	0.237	0.379	0.818	2.658	1.523	2.560*	45.9
	\dot{V}_E	5.95	12.9	21.1	69.4	39.7	89.6	
	Heart rate	66	90	125	192	156	198	
6	$\dot{V}O_2$	0.242	0.394	1.375	2.712	1.387	2.764*	48.4
	\dot{V}_E	6.96	12.7	35.9	72.3	34.4	86.3	
	Heart rate	60	78	152	192	156	204	
Mean $\dot{V}O_2$		0.256	0.505	1.200	2.778	1.520	2.700	
S. D.		0.0822	0.0953	0.228	0.217	0.227	0.196	
Mean \dot{V}_E		6.53	15.4	27.2	76.6	40.4	89.4	
S. D.		1.13	3.64	5.73	3.21	8.91	9.73	
Mean heart rate		65.3	90.3	132.0	171.8	150.3	195.0	
S. D.		4.53	10.4	10.1	14.7	13.6	5.58	
Mean Ventilation eq.		25.9	30.5	22.7	27.6	26.5	33.3	
S. D.		2.39	4.00	2.48	1.81	0.73	0.69	
Mean oxygen pulse		3.89	5.59	7.56	16.3	10.1	13.9	
S. D.		0.74	0.90	1.89	1.95	1.17	1.29	

* denotes the maximal oxygen uptake value.

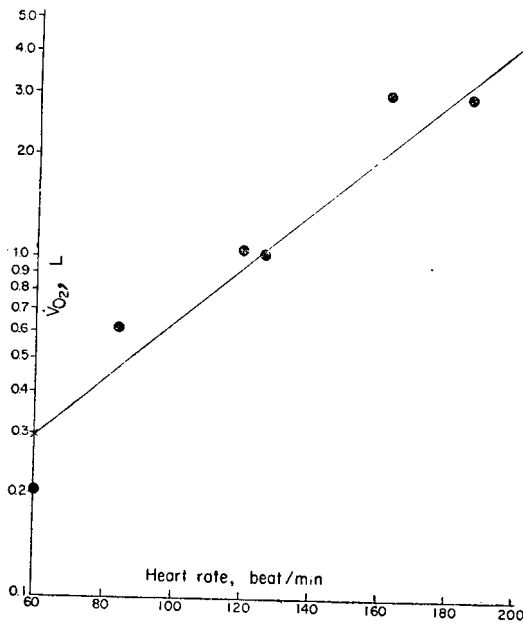


Fig. 1. Relationship between heart rate per minute and oxygen uptake per minute in one subject.

대상자 1번을 표시한 것이 제 1도인데 심장 박동수와 $\log \dot{V}O_2$ 사이에는 상관계수 $r=0.94$ (제 5표)라는 고도의 상관 관계가 있었다. 즉 산소 섭취량의 많고 적음이 심장 박동수에 정확하게 반영되었다고 하겠으며 심장 박동수만으로도 산소 섭취량을 통하여 신체 운동

의 경중 평가가 가능함을 가리킨다. 다만 하파드 계단 검사의 경우는 심장 박동수가 162 beat/min이라는 비교적 적은 값인데 불구하고 산소 섭취량은 3.095 l/min로서 트레일 검사로 측정된 최대 산소 섭취량과 같다. 이와 같은 경향은 다른 대상자에서도 볼 수 있었으며, 특히 대상자 3번과 4번에 있어서는 하파드 계단 검사의 산소 섭취량이 트레일 검사보다 컸다. 이런 경우에는 최대 심장 박동수와는 관계없이 값이 큰 쪽을 최대 산소 섭취량으로 채택하였다. 이리하여 하파드 계단 검사만으로도 최대 산소 섭취량 측정이 가능함을 알 수 있었다.

대상자 6명의 평균치를 표시한 것이 제 2도이다. 안정 상태 산소 섭취량이 평균 0.256 l/min인데 대하여 심장 박동수 평균은 65.3 beat/min이었다. 바로서기는 섭취량 0.505 l/min에 대하여 심장 박동수가 90.3 beat/min이었으며, 가정 체조에서는 산소 섭취량 1.20 l/min에 대하여 심장 박동수 132.0 beat/min, 하파드 계단 검사에서는 섭취량 2.778에 대하여 심장 박동수가 171.8, 트레일 회전속도 6 km/hr 및 수평에서 산소 섭취량이 1.520에 대하여 박동수가 150.3이었으며, 8 km/hr의 속도와 8.5도 경사의 트레일 검사에서 산소 섭취량이 2.70 l/min에 대하여 심장 박동수가 195.0 beat/min이었다. 이리하여 심장 박동수와 $\log \dot{V}O_2$ (liter) 사이의 상관 계수는 $r=0.95$ 에 이르는 고도의 상관 관

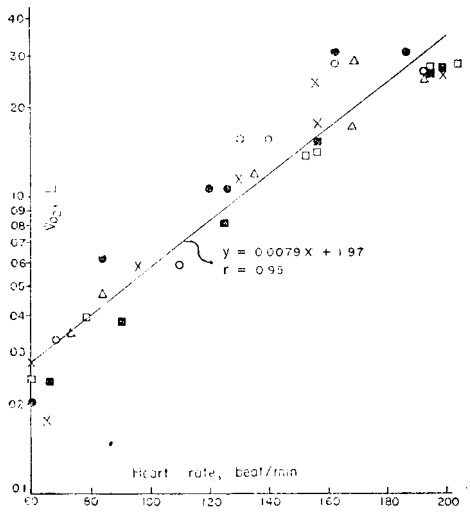


Fig. 2. Relationship between heart rate per minute and oxygen uptake per minute in all 6 subjects. The coefficient of correlation between two was $r=0.95$, and regression equation was $y=0.0079x+1.97$.

계를 보였으며 회귀 방정식은 다음과 같았다.

$$\log \dot{V}O_2(\text{liter}) = 0.0079 \times \text{Heart rate (beat/min)} + 1.97.$$

이상으로 보아 어떤 신체 운동을 할 때에 심장 박동수를 측정하면 산소 섭취량이 간접적으로 측정되며, 이 값은 직접 측정되는 섭취량과 거의 같은 것이라 할 수 있다.

대상자 6명의 폐환기량은 평균치가 안정시에 6.53 l/min, 바로서기 15.4, 가정 체조 27.2, 하바드 계단 검사 76.6, 트랜밀 검사 6.6km/hr에서 40.4, 8km/hr와 8.5° 경사에서 89.4 l/min이었다. 제 3도는 각 신체 운동의 경우의 폐환기량과 산소 섭취량의 관계를 보이는 것이다. 둘 사이에는 상관 계수 $r=0.92(p<0.001)$ 의 상관관계가 있었다. 이 일은 앞서의 산소 섭취량과 같이 폐환기량도 $\log \dot{V}_E$ 로 표시하면 심장 박동수와 직선관계가 있음을 가리킨다. 사실 제 4도와 같이 $\log \dot{V}_E$ 와 심장 박동수 사이에는 직선적 비례 관계가 있었으며 상관 계수는 $r=0.96$ 이었고, 둘 사이의 회귀 방정식은 다음과 같았다.

$$\log \dot{V}_E (\text{liter}) = 0.0085 \times \text{Heart rate (beat/min)} + 3.33$$

환기 당량은 안정 상태에서 25.9 l/100ml O₂, 바로서기 30.5 l/100ml O₂, 가정 체조 22.7 l/100ml O₂, 하바드 계단 검사 27.6, 트랜밀 최고 산소 섭취 상태에서 33.3으로 가정 체조 때에 제일 작았다.

산소 맥박은 안정 상태에서 3.89 ml/beat, 바로서기 5.59, 가정 체조 7.56, 하바드 계단 검사 16.3, 트랜

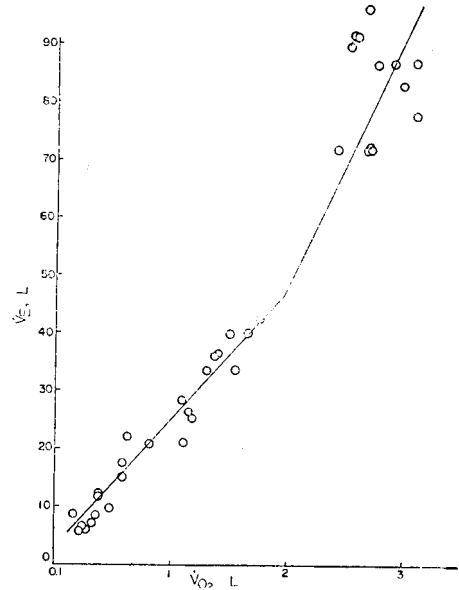


Fig. 3. Relation between oxygen uptake and pulmonary ventilation in various sports activities. Straight line is inflected at the point corresponding to 2 l/min of oxygen uptake and 48 l/min of pulmonary ventilation.

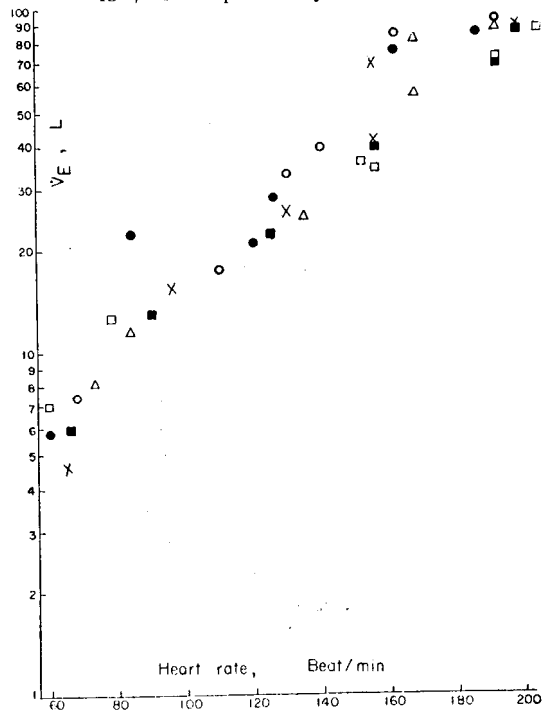


Fig. 4. Relationship between heart rate per minute and pulmonary ventilation per minute expressed on a semi-logarithmic scale. The coefficient of correlation between two was $r=0.96$, and regression equation was $y=0.0085x+3.33$. Symbols same as Fig. 2.

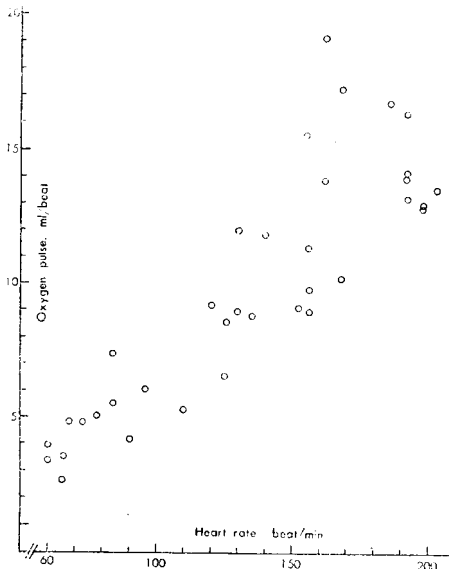


Fig. 5. Relationship between heart rate and oxygen pulse.

밀 검사에서 13.9 ml/beat이었다. 제 5도는 6명 대상자의 심장 박동수와 산소 맥박 사이의 관계를 보이는 것이다. 즉 신체 운동이 격심하여질 수록 심장 박동수가 증가하며 산소 섭취량도 증가하는데 심장 수축 하나에 대한 산소 섭취량도 같이 증가함을 표시한다.

자유로이 운동 경기를 시행하는 동안에 원격계로 측정된 심장 박동수의 모양을 제 3 표에 제시한다. 각 운동 경기에서 개인마다 심장 박동수에 약간의 차이가 있으며 이것을 6명 값을 평균하면 테이블 테니스에서 122.3, 캐치볼에서 143.6 beat/min, 배구의 툃싱에서 139.3, 50미터 달리기에서 149.0, 100미터 달리

기에서 155.0, 의과대학 건물의 35 계단 오르기 116, 72 계단 오르기 130.0, 35 계단 내려오기 99.0, 72 계단 내려오기 100.7 beat/min 등이었다.

이와 같은 평균 심장 박동수를 앞서 얻은 심장 박동수와 산소 섭취량 사이의 회귀 방정식 $\log \dot{V}O_2 = 0.0079 \times \text{Heart rate} + 1.97$ (제 2 도)에 적용하여 산소 섭취량을 얻은 것이 제 4 표이다. 즉 운동 경기를 하고 있는 도중의 산소 섭취량을 간접적으로 측정할 것이다. 테이블 테니스의 산소 섭취량은 0.898 l/min이며 안정시 섭취량의 3.6배이고 최대 섭취량의 0.33배이었다. 캐치볼은 산소 섭취량이 1.291 l/min이며 이것의 안정시 및 최대 산소 섭취량에 대한 비율은 각각 5.4 및 0.47 이었다. 배구의 툃싱에서 산소 섭취량은 1.183 l/min이며 안정시의 4.8 배이고 최대 섭취량의 0.43배이었다. 50미터 달리기에서 산소 섭취량은 1.411 l/min이며 안정시의 5.9배이고 최대 섭취량의 0.51배이었다. 100미터 달리의 산소 섭취량은 1.566 l/min이며 안정시 섭취량의 6.4배이고 최대값의 0.57배이었다. 35 계단 오르기의 산소 섭취량은 0.771 l/min이며 안정시의 3.2 배이고 최대 산소 섭취량의 0.28배이었다. 72 계단 오르기에서는 산소 섭취량이 0.991 l/min이며 안정시의 4.1 배이고 최대 섭취량의 0.36배이었다. 35 계단 내려오기의 산소 섭취량은 0.567 l/min이며 안정시의 2.4배이고 최대값의 0.21배이었다. 72 계단 내려오기의 산소 섭취량은 0.583 l/min이며 안정시 산소 섭취량의 2.4배이고 최대 산소 섭취량의 0.21배이었다.

산소 섭취량을 직접 측정된 바로서기, 가정 체조, 하바드 계단 검사, 트레일 검사 등의 성적과 원격계로 얻은 심장 박동수를 통하여 간접적으로 산소 섭취량을 측정된 테이블 테니스, 캐치볼 등의 신체 운동의 경중을 일괄하여 비교하는데 있어서 첫째로 안정시 산소 섭취량에 대한 비율이 기준이 된다. 이 기준으로는 제

Table 3. Heart rate measured by telemetry during various sports activities of individual subjects

No.	Table tennis	Catch ball	Volley ball tossing	Dash		Staircase up		staircase down	
				50m	100m	35 steps	72steps	35 steps	72 steps
1	108	128	126	144	144	108	126	90	96
2	120	153	144	144	150	120	132	108	108
3	144	137	146	144	156	114	132	102	108
4	102	137	144	144	156	120	120	90	96
5	140	147	132	156	162	108	132	96	96
6	120	160	144	162	162	126	138	108	100
Mean	122.3	143.6	139.3	149.0	155.0	116.0	130.0	99.0	100.7
S. D.	15.3	10.8	7.54	7.28	6.40	6.63	7.32	7.54	5.37

Table 4. Predicted oxygen uptake of sports activities estimated from the mean heart rate versus mean $\dot{V}O_2$ curve (Fig. 2)

	Table tennis			Catch ball			Volley ball			Dash, 50 meter		
	$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to	
		Rest	Max		Rest	Max		Rest	Max		Rest	Max
Mean	0.894	3.6	0.33	1.291	5.4	0.47	1.183	4.8	0.43	1.411	5.9	0.51
S. D.	0.253	1.04	0.095	0.253	1.92	0.11	0.154	1.2	0.068	0.194	1.5	0.084

	Dash, 100 meter			Staircase up						Staircase down					
	$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		35 Steps			72 Steps			35 Steps			72 Steps		
		Rest	Max	$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to		$\dot{V}O_2$ (l)	Ratio to	
					Rest	Max		Rest	Max		Rest	Max		Rest	Max
Mean	1.566	6.4	0.57	0.771	3.2	0.28	0.991	4.1	0.36	0.567	2.4	0.21	0.583	2.4	0.21
S. D.	0.176	1.4	0.088	0.094	0.87	0.044	0.099	1.1	0.045	0.076	0.74	0.034	0.056	0.67	0.026

6도와 같이 바로서기 1.98, 35 계단 및 72 계단 내려오기 2.4, 35 계단 오르기 3.2, 탁구 3.6, 72 계단 오르기 4.1, 가정 체조 4.7, 배구 톡싱 4.8, 야구의 캐치볼 5.4, 50 미터 달리기 5.9, 100 미터 달리기 6.4, 최대 산소섭취량(트랜달 달리기와 하바드 계단 검사의 어느

것으로도 얻을 수 있었다)이 안정시의 10.5배이었다.

운동시 산소 섭취량의 최대 산소 섭취량에 대한 비율을 보인 것이 제 7 도인데 안정시가 0.095, 바로서기 0.19, 35 또는 72 계단 내려오기 0.21, 35 계단 오르기 0.28, 72 계단 오르기 0.28, 탁구 0.33, 가정 체조 0.44, 배구의 톡싱 0.44, 야구의 캐치볼 0.47, 50 미터 달리기 0.51, 및 100미터 달리기에서 최대 산소 섭취량의 0.57배이었다.

Table 5. Correlation coefficients and regression equation.

	$\log \dot{V}O_2$	$\log \dot{V}_E$
Heart rate	$r=0.94$	$r=0.96$
P	$<.001$	$<.001$

$-\log \dot{V}O_2$ (liter) = $0.0079 \times$ Heart rate per min. $+1.97$

$\log \dot{V}_E$ (liter) = $0.0085 \times$ Heart rate per min $+3.33$

이리하여 신체 운동의 경중을 비교하기 위한 기준으로 안정시 산소 섭취량을 사용할 때나 최대 산소 섭취량을 사용할 때나 각 신체 운동의 경중 순서는 뒤바뀌지 않고 같은 순서를 유지하였다. 즉 신체 운동 경중(輕重)의 기준은 둘 모두 신병성이 있다고 하겠다.

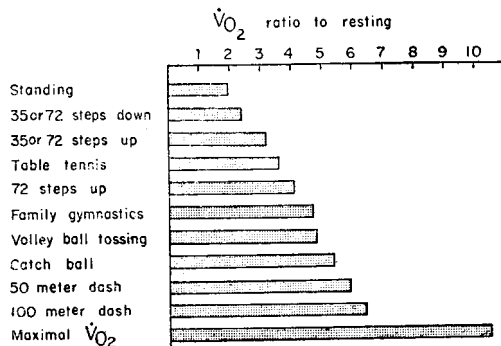


Fig. 6. Oxygen uptake in various activities compared to the resting oxygen uptake.

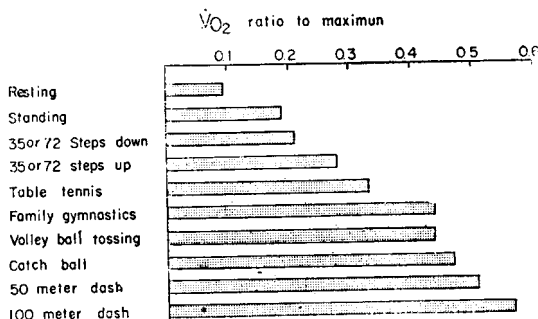


Fig. 7. Oxygen uptake in various activities compared to the maximal oxygen uptake.

고 찰

생리적 스트레스 작용 아래에 있어서 심장 박동수 변동은 스트레스를 충실히 표현하는 것이나 이때에 동반되는 산소 섭취량의 변동은 반드시 충실한 표현이 아닌 경우도 있다. 환경 온도가 높지 않으며 비습도 적당한 소위 안락한 환경에 있어서는 산소 섭취량의 변동과 심장 박동수의 변동은 서로 평행하게 변화하여서 생리적 스트레스의 크기를 잘 표현하나, 온도가 높고 비습도 높은 고온다습의 환경에서의 생리적 스트레스, 가령 신체 운동에 있어서 심장 박동수는 증가하나 산소 섭취량의 증가는 이것을 뒤따르지 못한다고 한다 (Brouha et al., 1960; Brouha et al., 1963). 즉 심장 박동수 변동은 신체 운동 같은 생리적 스트레스 상태에 있어서 환경 조건도 충실히 반영하는 것으로 신체 운동을 하고 있는 동안에는 산소 섭취량과 심장 박동수 사이에는 일정한 관계가 있다는 보고가 많다 (Asmussen and Nielsen, 1955; Astrand and Ryhming, 1955; Wyndham et al., 1959; Maxfield and Brouha, 1963). 이리하여 심장 박동수 변동을 지표로 하여 신체 운동을 분석하는 일은 산소 섭취량을 측정하여 분석하는 일과 함께 정상 환경에서는 신뢰할 수 있는 것이라 하겠다.

한편으로는 신체 운동 훈련을 거듭하면 심장 박동수에 영향을 미친다. 즉 훈련된 사람은 훈련되지 않은 사람에 비하여 같은 량의 신체 운동에 있어서 심장 박동수가 적으며 (Richardson, 1965), 한 개인에 있어서도 신체 운동 훈련을 거듭한 후에는 같은 작업량에 대한 심장 박동수가 감소된다 (Maxfield, 1964). 어떤 보고에 의하면 (McArdle et al., 1967) 60 야드 및 220 야드의 경주에서는 훈련자의 심장 박동수가 비훈련자보다 오히려 많았고 440 야드, 880 야드, 1마일 및 2마일 경주에서는 훈련자의 심장 박동수가 적었다 한다. 이런 차이는 훈련자의 소요 시간이 비훈련자 보다 짧으므로 단위 시간당 작업량은 훈련자 쪽이 훨씬 큰고로 앞서 기술한 것 같은 작업량이 동일한 경우와는 다르다.

이 실험의 대상자는 의과대학 학생으로서 모두 특별한 신체 운동 훈련의 경험이 없는 사람들로써 신체 운동이 그들에게는 격심한 스트레스로 작용할 사람들이다. 즉 이들의 최대 산소 섭취량에 해당하는 심장 박동수가 6명의 평균치로 195.0 beat/min에 이르는 것으로 증명된다, 심장 박동수가 180 beat/min이면 최대 산

소 섭취 상태라고 평가되고 있으며 (Balke, 1960), 저자의 대상자 연령인 21 세에 있어서는 매년 190 박동을 넘는 일은 드물다. 20 세 이하의 남자 고등 학생의 최대 심장 박동수가 195 beat/min인 (郭坂達 · 南基鏞, 1968) 것이나, 40 세대의 중년 남자의 최대 심장 박동수 176 best/min (權承洛 · 南基鏞, 1968) 등을 참고하여 연령을 고려하면 20 세에서 최대 심장 박동수는 189 beats/min (南基鏞)이므로 저자의 대상자들이 나타낸 최대 심장 박동수 평균치 195.0 beat/min은 그들 나이에 비하여 많은 것이다. 즉 저자의 대상자들은 신체 운동 훈련이 없는 사람들이다.

심장 박동수와 산소 섭취량을 표시한 관계에 있어서 산술 좌표에서 직선을 이루는 것이 많이 있으나 (Astrand and Ryhming, 1955; Astrand, 1960), 여기에는 제한이 있다. 즉 Davies (1968)의 보고와 같이 심장 박동수가 적은 범위에서는 직선 비례 관계를 이루나 최대 심장 박동수에 접근함에 따라 산소 섭취량의 증가율이 감소하여 접근선 (asymptote)을 이루게 된다. 이리하여 아최대 (亞最大, submaximal) 심장 박동수에서는 심장 박동수 대 산소 섭취량 관계에서 산소 섭취량을 읽을 수 있으나 최대 섭취량 부근에서는 큰 오차를 동반하게 된다. 그러나 저자가 시도한 것 같이 심장 박동수 대 산소 섭취량 관계를 반대수 (semi-log) 좌표상에 그리면 직선 관계를 이루고 Davies (1968)가 보고한 것 같은 접근선 (漸近線)은 나타나지 않는다. 다시 말하면 몇몇 스포츠 경기에서 심장 박동수를 통하여 간접적으로 측정된 산소 섭취량은 타당한 것이라 할 수 있다.

심장 박동수와 폐 환기량 사이에도 반대수 좌표상에서 직선 관계를 나타냈는데, 이 일은 제 3도에 보는 산소 섭취량과 폐 환기량 사이의 관계에 있어서 산소 섭취량 2.0 l/min 및 환기량 48 l/min의 점을 경계로 하여 두 부분으로 갈리는 일과는 부합되지 않는 것 같이 보인다. 즉 심장 박동수는 반대수 좌표상에서 산소 섭취량이나 폐 환기량 어느 것보다도 비례 관계를 이루었는데 산소 섭취량과 폐 환기량을 산술 좌표상에 그렸으므로 직선이 도중에 한 번 꺾이는 일이 생긴다고 하겠다.

이상에서 고찰한 것 같이 산소 섭취량을 심장 박동수를 통하여 간접적으로 측정하여 분석한 몇몇 스포츠 경기의 경중 (輕重) 순서는 최대 산소 섭취량에 대한 비율을 기준으로 하면 그 순서는 바로서기, 계단 내려오기, 계단 오르기, 테이블 테니스, 가정 체조, 배구의 톱싱, 야구의 캐치볼, 50 미터 달리기 및 100미터 달리기 순서로 신체 운동이 힘들어진다. 여기에 50 미터

나 100 미터를 전력으로 달리는 일은 아주 격심한 운동이나 다만 운동을 수행하는 시간이 몇초에 불과하므로 순환기-호흡기 계통이 충분히 반응을 일으키고 항정상태(steady state)에 도달하지 못하였으므로 산소 섭취량이 최대 섭취량의 0.6 이하의 값으로 나타났을 뿐이다. 사실 세계 일류의 단련된 경기자도 전력으로 달리는 300 미터를 넘지 못하며 순환기-호흡기 활동의 항정상태는 이러한 단시간에는 이룩되지 못한다.

신체 운동 분석의 또 하나의 방법이 안정 상태를 기준으로 하는 것인데, 이 방법에 의하여도 신체 운동 경중의 순서는 최대 산소 섭취량 기준을 사용할 때와 거의 전부가 일치하나 다만 테이블 테니스와 72 계단 오르기 가 그 순서를 바꾼다. 이것은 72 계단 오르기에 있어서는 35 계단에 비하여 시간이 오래 걸리므로 항정상태에 접근하여 있으므로 순환기-호흡기 계통의 반응이 충분히 발휘되어 72 계단 오르기가 테이블 테니스 보다도 힘든 신체 운동으로 나타난다고 하겠다.

결 론

의과대학 남자 학생 6 명(19.9 세 내지 21.6 세)을 대상으로 신체 운동을 시키면서 원격계로 심장 박동수를 측정하고 더글라스 주머니 법으로 산소 섭취량을 측정하여 둘 사이의 관계를 알고 이것을 응용하여 몇몇 신체 운동을 분석하였다. 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 심장 박동수와 산소 섭취량 사이의 관계는 반대수 좌표상에 직선을 이루었다. 둘 사이의 상관 계수는 $r=0.94$ 이었으며 다음과 같은 회귀방정식을 얻었다.
 $\log \dot{V}_{O_2} \text{ (liter)} = 0.0079 \times \text{Heart rate (beat/min)} + 1.97$
2. 폐 환기량도 심장 박동수와 반대수 좌표상에 직선을 이루었으며 $r=0.96$ 이고 다음의 회귀식을 얻었다.
 $\log \dot{V}_E \text{ (liter)} = 0.0085 \times \text{Heart rate (beat/min)} + 3.33$
3. 산소 섭취량과 폐 환기량 사이의 관계는 두 직선으로 같았는데 산소 섭취량 2.0 l/min 및 폐 환기량 48 l/min에 해당하는 점을 경계로 두 직선으로 되었다.
4. 산소 맥박은 안정 상태에서 3.89 ml/beat, 바로서기 5.59, 가정 체조 7.56, 하바드 계단 검사 16.3, 및 트랜틸 검사에서 13.9 ml/beat 이었다.
5. 신체 운동을 자유로이 하고 있는 동안의 심장 박동수는 다음과 같았다. 즉 테이블 테니스 경기 때 매분 122박동, 캐치볼 143박동, 배구의 톡싱 139박동, 50 미터 달리기 149박동, 100 미터 달리기 155박동, 35 계단 오르기 116박동, 72 계단 오르기 130박동, 35 계단 내려오기 99박동 및 72 계단 내려오기 100 beat/min 등 이었다.

6. 위에 얻은 심장 박동수를 앞서 얻은 반대수 좌표상의 심장 박동수와 산소 섭취량 사이의 관계에 대입하여 각 신체 운동의 산소 섭취량을 산출하였다.
7. 안정 상태 섭취량에 대한 비율 또는 최대 섭취량에 대한 비율을 기준으로 신체 운동의 경중(輕重)을 판단하였다.

최대 섭취량에 대한 비율을 보면 바로서기가 0.19, 계단 내려오기 0.21, 계단 오르기 0.28 및 0.36, 테이블 테니스 0.33, 가정 체조 0.44, 배구의 톡싱 0.43, 야구의 캐치볼 0.47, 50미터 달리기 0.51, 및 100 미터 달리기 0.57의 순서로 신체 운동이 힘들어졌다. 안정 상태 산소 섭취량을 기준으로 경중을 판단하여도 순서는 하나만 예외로 하고 앞서와 같았다. 즉 테이블 테니스 보다 72 계단 오르기가 힘든 운동으로 차이가 바뀌었다.

ABSTRACT

Physiological Analysis of some Selected Sports Activities through Telemetered Heart Rate

Kyu Ho Hahn, M. D. and Kee Yong Nam, M. D.

Department of Physiology and Physical Culture

Research Institute, Seoul National University

College of Medicine, Seoul, Korea

Sports activities of freely moving 6 male medical students (19.9-21.6 years) were analysed through telemetered heart rate. First, heart rate versus oxygen consumption were plotted on a semi-logarithmic scale and resulted in a straight line. Next, heart rate only was determined during the free sports activity and corresponding oxygen consumption was determined from the heart rate-oxygen consumption diagram. The following results were obtained.

1. The coefficient of correlation between heart rate and oxygen consumption was $r=0.94$ on a semi-logarithmic plot. The regression equation was:
 $\log \dot{V}_{O_2} \text{ (liter)} = 0.0079 \times \text{Heart rate (beat/min)} + 1.97$
2. Heart rate versus lung ventilation diagram on a semi-logarithmic plot showed a straight line and the coefficient of correlation was $r=0.96$. The following regression equation was obtained.
 $\log \dot{V}_E \text{ (liter)} = 0.0085 \times \text{Heart rate (beat/min)} + 3.33$
3. The relation between oxygen intake and ventilation showed an inflection at the point corresponding

to 2.0 l/min of oxygen intake and 48 l/min of lung ventilation.

4. Oxygen pulse was: 3.89 ml/beat in resting, 5.59 in standing, 7.56 in family gymnastics, 16.3 in the Harvard step test, and 13.9 ml/beat in the treadmill test(maximal oxygen intake).
5. Telemetered heart rate in the freely moving muscular activities were as follows: 122 beat/min in table tennis, 143 beats in catch ball, 139 beats in tossing of volley ball, 149 beats in 50 meter dash, 155 beats in 100 meter dash, 116 beats in 35 staircase up movement, 130 beats in 72 staircase up movement, 99 beats in 35 staircase down movement, and 100 beats/min in 72 staircase down movement. The maximal heart rate was 195 beat/min.
6. Oxygen consumptions in sports activities were read from the $\log \dot{V}O_2$ -heart rate diagram substituting the telemetered heart rate value.
7. Sports activities were assessed in relation to the maximal oxygen uptake. Ratios of oxygen uptake of sports activities to the maximal oxygen uptake were: standing: 0.19, staircase down movement: 0.21, staircase up movement: 0.28 (35 staircases) and 0.36 (72 staircases), table tennis: 0.33, family gymnastics: 0.44, tossing of volley ball: 0.43, catch ball: 0.47, 50 meter dash: 0.51, and 100 meter dash: 0.57.

Assessed on the resting oxygen intake basis, the order of severity of muscular activities was the same as on the maximal oxygen intake basis with only one exception. On this basis 72 staircase up movement was more severe than the table tennis.

REFERENCES

- 1) Asmussen, E., and M. Nielsen: *Cardiac output during muscular work and its regulation. Physiol. Rev.*, 35:778, 1955.
- 2) 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.
- 3) Astrand, I.: *Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physiol. Scand.* 49: Suppl., 169, 1960.
- 4) Astrand, P.-O., and B. Saltin: *Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. J. Appl. Physiol.* 16:977, 1961.
- 5) Balke, B.: *The effect of physical exercise on the metabolic potential. In: Exercise and Fitness: Athletic Institute, Chicago, 1960.*
- 6) Brouha, L., P.E. Smith, Jr., R. De Lanne, and M. E. Maxfield: *Physiological reactions of men and women during muscular activity and recovery in various environments. J. Appl. Physiol.*, 16:133, 1960.
- 7) Brouha, L., M. E. Maxfield, P. E. Smith, Jr. and G. J. Stopps: *Discrepancy between heart rate and oxygen consumption during work in the warmth. J. Appl. Physiol.*, 18:1095, 1963.
- 8) 崔吉旻·南基鏞: *키대하 운동의 생리학적 분석, 제 1 권 가정체조, 스포츠科學研究報告書, 4:61, 1967.*
- 9) Consolazio, C. F., R. E. Johnson, and L. J. Pecora: *Physiological Measurements of Metabolic Functions in Man. New York, 1963.*
- 10) Davies, C.T.M.: *Limitations to the production of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. J. Appl. Physiol.*, 24: 700, 1968.
- 11) 任昇宰·南基鏞: *남자의 최대 산소 섭취량과 신체 구성성분 사이의 관계, 스포츠科學研究報告書, 2:89, 1965.*
- 12) Kaporvich, P. V., and N. Millman: *Energy expenditure in swimming. Am. J. Physiol.*, 142: 140, 1944.
- 13) 金東俊·金龜子·盧光瑞·崔慶植: *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.*
- 14) 郭板達·南基鏞: *남자 중·고등학교생의 최대 산소 섭취량, 대한생리학회지, 2: 105, 1968.*
- 15) 權承洛·南基鏞: *중년 남녀의 최대 산소 섭취량, 대한생리학회지, 2: 149, 1968.*
- 16) Malhotra, M. S., S. S. Ramaswamy, S. N. Ray, and T. N. Shrivastav: *Minute ventilation as a measure of energy expenditure during exercise. J. Appl. Physiol.*, 17:775, 1962.
- 17) McArdle, W.D., G.F. Foglia, and A.V. Patti: *Telemetered cardiac response to selected running events. J. Appl. Physiol.*, 23:566, 1967.
- 18) Maxfield, M. E., and L. Brouha: *Validity of*

- heart rate as an indicator of cardiac strain. *J. Appl. Physiol.*, 18:1099, 1963.
- 19) Maxfield, M.E.: *Use of heart rate for evaluating cardiac strain during training in women. J. Appl. Physiol.*, 19:1139, 1964.
- 20) 남기용 : 인체의 총지방량, 대한군진의학, 2:27, 1962.
- 21) 南基鏞 : 미발표.
- 22) 朴景華 : 피부 두껍짐기법에 의한 한국 공군 장병의 총지방량, 항공의학, 11:89, 1963.
- 23) 朴喆斌 : 洪碼基 : 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.
- 24) Richardson, M. : *Effect of repetition on the energy expenditure of women performing selected activities. J. Appl. Physiol.*, 20:1312, 1965.
- 25) Scholander, P.F. : *Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem.*, 167:235, 1947.
- 26) Skubic, V., and J. Hodgkins : *Energy expenditure of women participants in selected individual sports. J. Appl. Physiol.*, 21:133, 1966.
- 27) Wyndham, C.H., N.B. Strydom, J.S. Maritz, J.F. Morrison, J. Pelter, and Z. U. Potgieter : *Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. J. Appl. Physiol.*, 14:927, 1959.
-