

## 공군 조종사의 최대 운동부하에 대한 심 · 폐기능의 반응

공군 제 11전투 비행단 항공의무전대

곽충환 · 배재훈 · 민태형

대구 유성스포츠프라자 스포츠과학연구소

박희명 · 김유진 · 김유영\* · 김유문 · 김종석

= Abstract =

### Cardiorespiratory Responses of Pilots to Maximal Exercise Loading

Choong Hwan Kwak, M.D., Jae Hoon Bae, M.D., Tae Hyung Min, M.D.

*The 11th Aeromedical Group*

Hi Myung Park, M.D., Yoo Jin Kim, M.B.A., Yoo Young Kim, Ph.D.,

Yoo Moon Kim, M.D., Jong Suk Kim, M.D.

*Sports Science Research Institute, Yu-Sung Sports Plaza, Taegu, Korea*

**Background :** To provide some fundamental physiological basis for the physical training of pilots to improve orthostatic intolerance, cardiorespiratory responses to the symptom-limited maximal exercise loading were studied in pilots and non-pilots, and the results were compared.

**Method :** Cardiorespiratory responses to the symptom-limited maximal exercise loading by Bruce protocol was studied in 11 pilots and 11 matched controls (non-pilots).

**Results :** Comparisons of various data at maximal exercise in the pilots with those in the controls revealed that RR,  $V_E/M^2$ ,  $V_E/VO_2$ ,  $V_E/VCO_2$ ,  $V_T/VC$  and  $V_E/MVV$  as well as HR,  $VO_2$ ,  $O_2$  pulse and AT showed no significant difference.

**Conclusion :** The fact that the aerobic power in the pilots is not superior to that in the controls seems to emphasize the necessity of aerobic endurance training along with muscular strength training to improve orthostatic tolerance of pilots flying modern high-performance aircrafts.

**KEY WORDS :** Pilots · Aerobic exercise training · Orthostatic tolerance.

## 서 론

규칙적인 동적운동은 심 · 폐지구력을 향상시키

는데 매우 효과적이며<sup>1,2)</sup> 이러한 심 · 폐기능의 향상은 주로 운동에 대한 전신의 적응반응의 일부로서 나타나는 심 · 혈관계의 형태학적 및 기능적 변화<sup>3-5)</sup>와 호흡근력의 발달 강화<sup>6-8)</sup>, 폐 확산능의 증가<sup>9,10)</sup> 등에 의하는 것으로 알려져 있다. 한편 체력훈련을

\*현소속 : 경북대학교 자연과학대학 생화학과

**Table 1.** Demographic characteristics of controls and pilots

	Control (n=11)	Pilot (n=11)
Age(year)	26.1±1.64	25.9±1.53
Height(cm)	171.3±4.22	170.4±3.33
Weight(kg)	69.2±8.50	65.4±8.85
Flight time(hr)	—	583.3±448.43

Values are mean±SD.

통해서 고성능 항공기를 조종하는 조종사의 중력내성을 증가시키려는 것은 항공의학의 중요 관심사가 되어 왔으며, 이러한 관점에서 이때까지 많은 연구가 이루어 졌다<sup>11-14)</sup>. 그러나 근년에 와서는 중력내성을 향상시키는데 지구성(endurance) 훈련보다 근력훈련이 보다 더 중요한 역할을 할 것이라는 견해도 대두되고 있다<sup>15,16)</sup>.

저자들은 조종사와 비조종사간의 최대운동부하에 대한 심·폐기능 반응의 차이를 비교해 봄으로써 향후 중력내성을 향상시킬 수 있는 체력단련의 방향에 대해 접근할 수 있는 기본적인 자료를 마련해 보고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 대 상

검사를 자원한 공군조종사 11명과, 대조군으로서 이들과 연령, 신장, 체중이 비슷한 조종사가 아닌 일반 공군 장병 11명을 대상으로 하였으며 이들의 신체적 조건은 Table 1과 같다. 조종사와 대조군은 각각 1명이 30세인 것을 제외하면 모두 20대였고, 이들은 모두 심·폐기능이나 최대운동부하 검사성적에 영향을 줄 만한 병력이 없고, 흉부 X-선 사진, 안정시 및 운동부하시의 심전도, 폐활량(VC), 최대환기량(MVV), 노력성 폐활량(FVC)과 그 1초율(FVC<sub>1</sub>/FVC%)이 정상 범위 내에 있었다.

### 2. 방 법

최대운동부하 검사는 Bruce법<sup>17)</sup>에 의하여 미국 Quinton회사제 답차(treadmill) Q55를 사용하여 같은 회사제인 Q5000으로 심전도를 감시 기록하면서, 피검자가 피로나 호흡곤란 때문에 그 이상 운동을 계속할 수 없을 때까지, 즉 증상제한성(sym-

ptom-limited) 최대운동을 시켰으며, 운동중 답차의 손잡이는 몸의 균형을 유지하는데 필요한 최소한의 이용만을 허용하였다. 운동중과 회복기 동안의 호기의 분석은 피검자의 안면에 저저항 고속판막(low resistance high velocity valve)이 부착되어 있는 미국 Hans Rudolph회사제 mask를 기밀하게 씌우고, 이를 사관(蛇管, corrugated tube)으로 pneumotachometer와 zirconia oxide 고열로 감지기 (high temperature furnace sensor) 및 적외선 흡수 감지기 (infrared absorption sensor)를 사용한 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 분석기가 내장되어 있는 Q-Plex I(미국 Quinton회사제)에 연결하여 매 20초마다 분당 O<sub>2</sub> 섭취량(VO<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub> 배출량(VCO<sub>2</sub>), 호기량(V<sub>E</sub>), 호흡수(RR), 상시호흡량(V<sub>T</sub>), 그리고 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>의 환기당량(V<sub>E</sub>/VO<sub>2</sub> & V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub>)등을 숫자와 곡선으로 기록해내도록 하였다.

최대운동시의 이들 지표의 성적 판정은 최대운동을 중지한 순간을 중심으로 해서 그 직전 또는 직후에 기록되어 나온 여러 성적 가운데 VO<sub>2</sub>가 많은 순간의 것을 택하였다.

무산소 역치(anaerobic threshold, AT)는 이른바 V-slope법<sup>18)</sup>, Caiozzo등<sup>19)</sup> 및 Wasserman등<sup>20)</sup>의 방법으로 구하였다.

한편 VC, FVC, MVV 및 FEV<sub>1</sub>/FEV%는 Q-Plex I에 내장되어 있는 spirometry program을 이용해서 측정하였다.

본 연구에서 통계학적 처리는 SPSS/PC<sup>+</sup>의 통계 package(V 4.0)로 하였다.

## 성 적

조종사군 및 대조군의 최대운동부하시의 심박수(HR max)와 최대 O<sub>2</sub> 섭취량(VO<sub>2</sub> max), 그리고 이들로부터 유도되는 대사당량(metabolic equivalent, MET's) 및 O<sub>2</sub> 맥(oxygen pulse)의 성적은 Table 2와 같이 이들 지표는 모두 양군간에 유의한 차이가 없었다. AT는 Table 3과 같이 대조군 및 조종사군의 평균이 각각 2.07L/min, 1.99L/min로 서로 비슷하였고, AT의 VO<sub>2</sub> max에 대한 비(AT/VO<sub>2</sub> max)의 평균도 각각 55.1%, 53.5%로 유의한 차이가 없었다.

최대운동시의 RR, 단위 체표면당 분당 환기량

**Table 2.** Maximal heart rate (HR max), oxygen uptake ( $\text{VO}_2$  max), and their derivatives

	Control (n=11)	Pilot (n=11)
HR max(beat/min)	198.6±9.07	195.8±6.71
$\text{VO}_2$ max(ml/kg/min)	55.1±9.68	56.7±5.12
MET's	15.8±2.77	16.0±1.58
$\text{O}_2$ pulse(ml/beat)	19.0±3.13	19.2±1.68

Values are mean±SD.

MET's=metabolic equivalents.

All differences are not significant.

**Table 3.** Anaerobic threshold (AT) and its derivatives

	Control (n=11)	Pilot (n=11)
AT(L/min)	2.07±0.291	1.99±0.316
AT/ $\text{VO}_2$ max(%)	55.1±5.29	53.5±4.92

Values are mean±SD.

All differences are not significant.

**Table 4.** Respiratory rate(RR), minute ventilation ( $\text{V}_E$ ), and ventilatory equivalents for oxygen and carbon dioxide ( $\text{V}_E/\text{VO}_2$  &  $\text{V}_E/\text{VCO}_2$ ) at maximal exercise

	Control (n=11)	Pilot (n=11)
RR(min)	51.1±10.72	47.9±5.41
$\text{V}_E/\text{M}^2$ (L/min)	72.9±11.78	71.0±8.34
$\text{V}_E/\text{VO}_2$	34.9±2.47	33.9±2.84
$\text{V}_E/\text{VCO}_2$	31.4±1.86	31.1±2.95

Values are mean±SD.

All differences are not significant.

( $\text{V}_E/\text{M}^2$ ),  $\text{V}_E/\text{VO}_2$  및  $\text{V}_E/\text{VCO}_2$ 의, 성적은 Table 4와 같이 이들 모두가 양군사이에 큰 차이가 없었다. 또한 최대운동시의  $\text{V}_T$ 의 VC에 대한 비( $\text{V}_T/\text{VC}$ )와  $\text{V}_E$ 의 MVV에 대한 비( $\text{V}_E/\text{MVV}$ )는 Table 5와 같이 역시 양군간에 유의한 차이가 없었다.

## 고 안

일반적으로  $\text{VO}_2$  max는 개체의 유산소 능력 즉 최대운동시의 심·혈관계의 최대 기능을 나타내므로 장기간에 걸쳐 동적 운동훈련을 한 사람에서는  $\text{VO}_2$  max가 증가하고, 그 증가의 정도는 훈련 효

**Table 5.** Ratios of tidal volume to VC( $\text{V}_T/\text{VC}$ ) and minute ventilation( $\text{V}_E$ ) to Maximal Voluntary Ventilation( $\text{V}_E/\text{MVV}$ ) at maximal exercise

	Control (n=11)	Pilot (n=11)
$\text{V}_T/\text{VC}$ (%)	47.4±5.47	43.8±4.57
$\text{V}_E/\text{MVV}$ (%)	66.5±12.02	58.7±11.05

Values are mean±SD.

All differences are not significant.

과를 객관적으로 평가하는 지표로 사용되고 있다<sup>20-22</sup>). 현재까지 조종사들의 가속도에 대한 내성 증가를 위해 주로 사용되고 있는 방법으로는 항 G복(anti-gravity suit)의 bladder를 공기로 팽창시키거나, Valsalva maneuver와 근육긴장법을 자발적으로 시행하는 것 등을 들 수 있으며, 이러한 방법에 의한 내성 증진을 전반적 혹은 기본적으로 보완하기 위해서 유산소(有酸素) 체력단련에 속하는 운동들이 권장되어 왔다. 그러나 몇몇 연구자들<sup>11-14</sup>)은 조종사의 경우는 유산소 체력단련을 받음으로써 기립성 stress(orthostatic stress)에 노출되었을 때 쉽게 실신증상(syncopal symptoms)을 일으킨다고 하여 유산소 체력단련이 아닌 다른 훈련법을 해야 한다고 하였다. 그런가 하면 Convertino등<sup>23</sup>)은 조종사에서 앉은 자세에서 하루에 2시간씩  $\text{VO}_2$  max의 65%에 해당되는 부하로 cycle ergometer로 연속 8일간 훈련을 시키는 방법으로 짧은 기간 동안에  $\text{VO}_2$  max를 증가시켰던 바 tilt table maneuver에서 기립성 내성이 증가됨을 보고하여 조종사의 체력단련 방법에 대해 논란의 여지가 있음을 시사하였다. 즉 Convertino등<sup>23</sup>)의 연구에서 보면, 훈련으로  $\text{VO}_2$  max가 증가된 후에는 60도의 head-up tilt를 시행하는 동안, 훈련전에 비해 유의하게 낮은 심박수로도 수축기 및 이완기 혈압과 평균 혈압이 유지되어, 중력에 대한 심·혈관계의 적응이 유산소 훈련으로 향상되는 것으로 나타났고, 또한 그 훈련으로 인한 안정시의 과혈량(resting hypervolemia)에 의해서 훈련전보다 낮은 심박수로도 심박출량이나 혈압이 잘 유지됨을 알 수 있다. 그러므로 Convertino등<sup>23</sup>)의 연구는 지구성 훈련과 그에 따른  $\text{VO}_2$  max의 증가가 기립성 내성을 향상시킬 수 있음을 밝힘으로써 유산소 체력단련이 기립성 내

성을 저하시킨다는 개념이 재고되어야 할 것임을 시사한다. 본 연구에서는 조종사군과 비조종사군간에  $VO_2 \max$ 에 유의한 차이가 없었다.

그러나 향후에 이루어질 신체적성과 기립성 stress에 대한 반응을 연관시키는 연구에서는  $VO_2 \max$ 에 결정적 역할을 하는 심박출량을 비롯하여 이와 관련된 자율신경계의 역할, 심비대, 말초 혈관 저항, 혈장량 등 여러가지를 고려한 적정한 유산소 적성 program(aerobic fitness program)이 개발되어야 할 것으로 생각된다<sup>24-29)</sup>.

운동시에 나타나는  $VO_2$ 의 증가는 심박출량의 증가와 근육의  $O_2$  추출능력의 증가에 의하는데, 정상인에서 운동시에 나타나는 심박출량의 증가는 박출량(stroke volume)의 증가에도 기인하나 주로 심박수의 증가에 의한다<sup>30)</sup>. 한편  $O_2$  맥은 박출량의 지표로 간주할 수 있는데<sup>31)</sup> 본 연구에서 심박수 및  $O_2$  맥은 조종사군과 대조군간에 유의한 차이가 없었다.

그리고 운동부하량의 증가에 따른 근육의  $O_2$  수요량의 증가를 충분히 충족시켜주지 못하게 되면 혐기성 당분해가 일어나며, 이로 인해 혈중 젖산 농도가 정상인의  $0.5 \sim 1.6 \text{ mEq/L}$ 에서 갑자기 상승하기 시작하는 데 이 시점의 젖산 농도를 젖산 역치라하며 이때의  $VO_2$ 를  $AT$ <sup>32)</sup>라 하는데  $AT$ 는 지구성 운동 수행능력(endurance exercise performance)의 좋은 지표<sup>32,33)</sup>가 된다. 그리고  $AT$ 의 측정은 운동중에 짧은 시간 간격으로 혈중 젖산 농도의 변화를 측정해서 구하는 것이 가장 정확한 방법이다. 그러나 근육에 젖산과  $H^+$  ion이 증가되면  $CO_2$ 의 형성이 증가되므로, 호기의 gas분석 성적을 이용해서 비관혈적 방법으로도  $AT$ 를 구할 수 있다.  $AT$ 의 비관혈적 측정방법에는 여러가지가 있으며 각각의 장단점이 있으나<sup>18,19,20)</sup> 그 중에서 분당  $CO_2$  배출량 -  $O_2$ 섭취량( $VCO_2 - VO_2$ )곡선의 변이점을  $AT$ 로 정하는 Beaver등<sup>18)</sup>의 방법이 가장 정확한 방법이라고 한다. 저자들이 사용한 Bruce법은 단계적 운동부하법으로서  $AT$ 를 구하는데 이용되는 ramp 부하법은 아니기는 하였으나 V-slope법<sup>18)</sup>과 Caiozzo등<sup>19)</sup> 및 Wasserman등<sup>20)</sup>의 방법으로써 대조군 및 선수군의 전 예에서  $AT$ 를 구할 수 있었다.  $AT$ 는 일반적으로 그 시점에서의  $VO_2$ 의 절대치 혹은  $VO_2 \max$ 에 대한 백분율로 표시하는데<sup>33)</sup> 주로 앉아서

생활하는 정상인의  $AT$ 는  $VO_2 \max$ 의  $50 \sim 60\%$ 이며<sup>34,35)</sup>  $40\%$ 가 정상인의 하한치로 알려져 있다<sup>36)</sup>. 반면 장기간의 지구력 훈련을 받은 운동선수의  $AT$ 는  $VO_2 \max$ 의  $60 \sim 80\%$ 까지 증가될 수 있다고 하며<sup>33,37)</sup>, 그 기전은 훈련된 근육으로의 혈류량의 증가, 세포단위에서의 산화능의 향상, 적색 산화 근섬유의 활성화 등으로 인한 근육의  $O_2$  추출능력의 향상에 의한 것으로 알려져 있다. 저자들의 예에서는 대조군과 조종사군의  $AT/VO_2 \max$ 는 각각  $55.1\%$ ,  $53.5\%$ 로 양군간에 유의한 차이가 없었다.

정상인에서 운동시에 나타나는 환기의 변화는 안정시의 동맥혈  $CO_2$ 분압과 생리적사광( $V_D/V_T$ )에 의해 결정되는데  $AT$ 이하의 운동에서는 대체로  $V_E$ 가  $VCO_2$ 의 증가에 비례해서 증가하며  $AT$ 이상의 운동에서는 젖산에 의해서 경동맥체의 화학수용체가 자극되어  $V_E$ 가  $VCO_2$ 에 비해 보다 더 많이 증가되며<sup>38)</sup> 최대운동시에는  $V_E$ 가  $MVV$ 의  $50 \sim 80\%$ 에 달한다고 한다<sup>37)</sup>. 그리고  $V_E$ 의 증가는  $V_T$ 와  $RR$ 의 증가에 의해서 이루어지는데,  $V_T$ 의 증가는  $VC$ 와 밀접한 관계가 있으며 일반적으로  $VC$ 의  $50\%$  정도까지 증가될 수 있다<sup>36,39)</sup>. 한편  $V_T$ 의 증가에 의한  $V_E$ 의 증가는 주로  $AT$ 이하의 운동에서 볼 수 있고, 보다 더 많은  $V_E$ 의 증가가 필요한  $AT$ 이상의 운동에서는  $V_E$ 의 증가가 주로  $RR$ 의 증가로 초래된다고 한다<sup>36,40)</sup>. 본 관찰에서 최대운동시의  $V_T/VC$ 의 평균은  $50\%$  미만이었고  $V_E/MVV$ ,  $V_E/VO_2$  및  $V_E/VCO_2$  등은 양군사이에 유의한 차이가 없었다.

## 요 약

### 연구배경 :

공군조종사에서 중력내성을 향상시키기 위한 체력단련의 방향설정의 기초자료를 마련해 보기 위하여 조종사와 비조종사간의 최대운동부하시의 심·폐기능 반응을 비교 관찰하였다.

### 방 법 :

조종사 11명과 이들과 연령 및 신체적 조건이 비슷한 일반 장병 11명에서 Bruce법으로 최대운동부하검사를 실시하여 양군간의 심·폐반응의 차이를 비교 관찰해 보았다.

### 결 과 :

조종사와 비조종사간에  $VO_2 \max$ ,  $O_2$  맥 및

AT에는 유의한 차이가 없었고, RR,  $V_E/M^2$ ,  $V_E/VO_2$ ,  $V_E/VCO_2$ ,  $V_T/VC$  및  $V_E/MVV$ 에도 유의한 차이가 없었다.

## 결론 :

조종사의 유산소 능력이 일반 공군장병과 차이가 없는 것으로 보아 조종사의 중력 내성을 증가시키기 위해서는 근력증가훈련과 더불어 유산소 훈련의 중요성도 간과되어서는 안될 것으로 생각된다.

## References

- 1) The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults(position stand). *Med Sci Sports Exerc* 22 : 265, 1990
- 2) Wasserman K, Kessel ALV, Burton GG : *Interaction of physiological mechanisms during exercise*. *J Appl Physiol* 22 : 71, 1967
- 3) Huston TP, Puffer JC, Rodney WM : *The athletic heart syndrome*. *N Engl J Med* 313 : 24, 1985
- 4) Schaible TF, Scheuer J : *Cardiac adaptation to chronic exercise*. *Prog Cardiovasc Dis* 27 : 297, 1985
- 5) Saltin B : *Hemodynamic adaptation to exercise*. *Am J Cardiol* 55 : 420, 1985
- 6) Martin BJ, Stager J : *Ventilatory endurance in athletes and non-athletes*. *Med Sci Sports Exerc* 13 : 21, 1981
- 7) Stuart DG, Collings WD : *Comparison of vital capacity and maximum breathing capacity of athletes and nonathletes*. *J Appl Physiol* 14 : 507, 1959
- 8) Clanton TL, Dixon GF, Drake J, Gadek JE : *Effects of swimming training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning*. *J Appl Physiol* 62 : 39, 1987
- 9) Magel JR, Anderson KL : *Pulmonary diffusing capacity and cardiac output in young trained Norwegian swimmers and untrained subjects*. *Med Sci Sports* 1 : 131, 1969
- 10) Mostyn EM, Helle S, Gee JBL, Bentivogli LG, Bates DV : *Pulmonary diffusing capacity of athletes*. *J Appl Physiol* 18 : 687, 1963
- 11) Klein KE, Bruner H, Jovy D, Vogt L, Wegmann HM : *Influence of stature and physical fitness on tilt-table and acceleration tolerance*. *Aerospace Med* 40 : 293, 1969
- 12) Klein KE, Wegmann HM, Kuklinski P : *Athletic endurance training-advantage for space flight ? : the significance of physical fitness for selection and training of spacelab crews*. *Aviat. Space Environ. Med* 48 : 215, 1977
- 13) Goldwater DJ, DeLada M, Polese A, Keil L, Leutscher JA : *Effect of athletic conditioning on orthostatic tolerance after prolonged bedrest*. *Circulation* 65 : S287, (suppl) 1980
- 14) Mangseth GR, Bernauer EM : *Cardiovascular response to tilt in endurance trained subjects exhibiting syncopal reactions*. *Med Sci Sports Exerc* 12 : 140, 1980
- 15) Tesch PA, Hjort H, Balldin UT : *Effects of strength training on G tolerance*. *Aviat Space Environ Med* 54 : 691, 1983
- 16) Burton RR, Shaffstall RM : *Human tolerance to aerial combat maneuvers*. *Aviat Space Environ Med* 51 : 641, 1980
- 17) Bruce RA, Blackmon JR, Jones JW and Strait G : *Exercise testing in adult normal subjects and cardiac patients*. *Pediatrics* 32 : 742, 1963
- 18) Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ : *A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange*. *J Appl Physiol* 60 : 2020, 1986
- 19) Caiozzo VJ, Davis JA, Azus JL, Vandagriff R, Prietto CA, McMaster WC : *A comparison of gas exchange indices used to detect the aerobic threshold*. *J Appl Physiol* 53 : 1184, 1982
- 20) Wasserman K, Whipp BJ, Royal SN and beaver WL : *Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise*. *J Appl Physiol* 35 : 236, 1973
- 21) Simon HB : *Exercise, health, and sports medicine*, In *Scientific American Medicine*, Rebenstein E, Federman DD (eds), New York, Scientific American Medicine Inc. 1990
- 22) Cunningham DA, Waterschooy BMV, Paterson DH, Lefcoe M and Sangal SP : *Reliability and reproducibility of maximal oxygen uptake measurement in children*. *Med Sci Sports* 9 : 104, 1977
- 23) Convertino VA, Montgomery LD, Greenleaf JE : *Cardiovascular responses during orthostasis : Effect of an increase in  $VO_2$  max*. *Aviat Space Environ Med* 55 : 702, 1984
- 24) Mitchell JH, Blomqvist CG : *Maximal oxygen up-*

- take. *N Engl J Med* 284 : 1018, 1971
- 25) Bjurstedt H, Rosenhamer G, Balldin U, Katkov V : *Orthostatic reactions during recovery from exhaustive exercise of short duration. Acta Physio Scand* 119 : 25, 1983
  - 26) Orlander J, Kiessling K-H, Ekblom B : *Time course of adaptation to low intensity training in sedentary men : dissociation of central and local factors. Acta Physio Scand* 108 : 85, 1980
  - 27) Saltin B, Henriksson J, Nygarrrd E, Anderson P, Jansson E : *Fiber type and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. N Y Acad Sci* 301 : 3, 1973
  - 28) Montgomery LD, Kirk PJ, Payne PA, Gerber RL, Newton SD, Williams BA : *Cardiovascular response of men and women to lower body negative pressure. Aviat Space Environ Med* 48 : 138, 1977
  - 29) Nelson RR, Gobel FL, Jorgensen CR, Wang K, Wang Y, Taylor HL : *Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. Circulation* 57 : 549, 1978
  - 30) Bruce RA : *Normal values for VO<sub>2</sub> and the VO<sub>2</sub>-HR relationship. Am Rev Respir Dis* 129 : S41, (suppl) 1984
  - 31) Jones NL : *Physiologic basis of exercise testing. In : Fishman AF (ed). Pulmonary Diseases and Disorders. New York, McGraw-Hill Book Company, 1988*
  - 32) Wasserman K : *The aerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. Am Rev Resp Dis* 129 : S35, (Suppl) 1984
  - 33) Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL : *Plasma lactate accumulation and distance running performance. Med Sci Sports* 11 : 338, 1979
  - 34) Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K : *Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. J Appl Physiol* 46 : 1039, 1979
  - 35) Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P : *Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. J Appl Physiol* 41 : 544, 1976
  - 36) Hansen JE, Sue DY, Wasserman K : *Predicted values for clinical exercise testing. Am Rev Respir Dis* 129 : S49, (suppl) 1984
  - 37) Davis JA : *Anaerobic threshold : Review of the concept and directions for future research. Med Sci Sports Exerc* 17 : 6, 1985
  - 38) Jones NL : *Normal values for pulmonary gas exchange during exercise. Am Rev Respir Dis* 129 : S44, (suppl) 1984
  - 39) Pardy RI, Hussain SNA, Macklem PT : *The ventilatory pump in exercise. Clin Chest Med* 5 : 35, 1984
  - 40) Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ : *Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. J Appl Physiol* 63 : 1936, 1985