

□ 원 저 □

## 호흡기 질환 환자에서 자전거 타기와 답차를 이용한 운동 부하 폐기능 검사의 비교

전북대학교 의과대학 내과학교실

박지현, 이흥범, 이용철, 이양근

= Abstract =

### Comparison of Exercise Pulmonary Function Test Using by Treadmill and Bicycle Ergometer in Patients with Respiratory Diseases

Ji Hyun Park, M.D., Heung Bum Lee, M.D.,  
Yong Chul Lee, M.D., and Yang Kuen Rhee, M.D.

*Department of Internal Medicine, Chonbuk National University, College of Medicine, Seoul, Korea*

**Objective :** Cardiopulmonary exercise testing in patients with heart and lung problems is used to assess functional capacity, evaluate responses to medical treatment, plan for exercise therapy, assess progression of disease process, and determine prognosis. Particularly in the patients with lung cancer, the exercise pulmonary function test gives significant physiologic assessment of the lung resection candidate. Common exercise modalities are running and cycling. Until now, the comparison of two tests mainly has been done in normal person and patients with cardiac diseases. This study is designed to compare the treadmill and bicycle exercise pulmonary function test in patients with respiratory diseases.

**Methods :** Twenty one patients underwent a progressively incremental exercise test to the symptom-limited stage with the treadmill (Vmax29 Sensor Medics, USA) and the bicycle(model No. 2,900 Sensor Medics, USA) with 7 days apart between the two tests. Measurements were made of the metabolic, cardiorespiratory parameters, blood gases, and symptoms.

**Results :** The results of the treadmill exercise showed significant elevation in the  $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}E_{max}$ , and anaerobic threshold compared to those of bicycle exercise. In contrast, the results of the breathing and heart rate reserve showed the reverse.

**Conclusion :** These results suggest that the type of exercise should be taken into consideration when interpreting exercise test in patients with respiratory diseases. (*Tuberculosis and Respiratory Diseases* 1999, 46 : 386-393)

---

**Key words :** Treadmill, Bicycle ergometer, Exercise pulmonary function test.

## 서 론

운동부하검사는 호흡곤란을 호소하는 환자 및 만성 심부전 환자 등에서 운동 능력을 평가하는데 널리 이용되고 있다. 폐질환에서 운동부하 검사의 의의는 호흡기 증상 및 장애의 객관적인 평가, 운동과 관련된 질병의 진단, 운동에 대한 비정상적인 반응의 확인, 운동시 산소 섭취 능력의 측정 및 치료 후 그 효과의 판정 등에 있다고 할 수 있다<sup>1)</sup>. 운동부하 검사의 방법중 일반적으로 답차(treadmill)를 이용한 운동부하검사는 주로 미국에서, 자전거(bicycle)를 이용한 검사는 유럽 지역에서 선호하는 방법으로 두 가지 운동 방법 간에는 서로 장단점이 있다. 즉, 답차 운동 검사는 손잡이에 의존할 경우 검사치의 변화, 소음, 가격 등의 제한점 및 환자의 임의대로 운동을 조절하기 어려운 단점이 있으며, 천식환자에서 기도 수축의 빈도가 높은 것으로 알려져 있다<sup>2-4)</sup>. 자전거 운동검사는 보다 안전하고 체중과 관련 없이 재현성이 좋고 경제적인 장점을 갖지만 수행의 용이도가 사람마다 다양하다는 단점을 지닌다. 최근에 폐암 환자의 생리적인 수술 가능성 여부를 판정하는 주요한 요소로서 최대 산소 섭취량(maximal oxygen consumption,  $\dot{V}O_{2max}$ )이 제시되고 있는데, 예를들어 수술전 측정된 최대 산소 섭취량이 20ml/min/kg 이상이면 수술후 합병증의 발생 빈도가 매우 적은 반면 10ml/min/kg 이하인 경우는 합병증의 발생 빈도와 사망율이 높은 것으로 보고되어 있다<sup>5)</sup>. 때문에 운동 부하 방법에 따라 최대 산소 섭취량에 차이가 있다면 환자, 특히 수술적인 처치 등을 고려하는 폐암 환자에 있어서는 임상적 의의가 크다고 할 수 있다. 그러나 이러한 두 종류의 운동부하 방법간의 비교는 주로 정상인이나 관상 동맥 질환을 지닌 환자군에서 이루어졌으며 호흡기 질환 환자 군을 대상으로 한 비교 검사는 극히 미미한 실정이다. 이러한 이유로 저자는 호흡곤란을 호소하는 폐질환 환자에 대하여 답차 및 자전거 타기 운동을 시행하여 운동 부하 방법에 따른 신체의 생리화학적 변화를 비교하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대 상

본 연구는 1998년 1월부터 1998년 8월까지 8개월간 전북대학교병원 호흡기 내과에 입원한 환자중 호흡곤란을 동반한 남자 17명과 여자 4명을 대상으로 하였다. 대상환자의 평균 연령은 44세였으며 평균체중은 59kg, 신장은 163cm이었다. 원인 질환별로는 기관지 천식이 6예, 폐종양 4예, 결핵성 흉막염 5예, 폐렴 2예였으며 기타 폐기종, 결핵종, 아스페루길루스증, 기관지 결핵이 각각 1예씩이었다.

### 2. 방 법

대상 환자는 1주일 이상의 간격을 두고 답차와 자전거 작업계를 이용한 운동 부하검사를 무작위로 오전 시간대에 시행하였다. 검사 시행전 환자에게는 운동 부하에 의한 환자의 불편감으로 인하여 운동을 조기에 중단하는 편견을 제거하기 위하여 검사의 필요성에 대하여 충분히 납득하도록 하였다. 아미노피린, 베타 수용체 자극제, 거담제 및 항결핵 약제 등 환자에게 투여되고 있던 약물은 계속적으로 복용하도록 하였다. 운동 부하 검사 전에 환자들은 키, 몸무게, 혈압 그리고 Sensor Medics사의 model No. 2200 폐활량 검사기로 노력성 1초 호기량(forced expiratory volume of 1 sec, FEV<sub>1</sub>), 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC) 및 노력성 1초 호기량/노력성 폐활량(FEV<sub>1</sub>/FVC)비를 측정하였고 심전도 검사와 동맥혈 가스분석을 시행하였다. 운동은 Sensor Medics사의 model No. 2900 자전거 작업계(bicycle ergometer)를 이용하여 자전거 타기를, Sensor Medics사의 Vmax29 treadmill을 이용하여 각각 incremental exercise를 실시하였다. 운동 부하 검사 방법은 자전거 작업계는 2-4분간 공회전 시킨 뒤 분당 10 Watt씩 운동 부하를 증가하면서 최대한의 운동을 시켰으며, 답차 운동 검사는 Bruce protocol<sup>6)</sup>에 따

라 각각 3분씩의 단계별로 각도와 속도를 증가시키면서 시행하였다. 운동중에는 심박동수를 계속 측정하였고 호흡수, 산소 섭취량(oxygen uptake,  $\dot{V}O_2$ ), oxygen pulse, 분당 호흡량(minute ventilation, VE), 그리고 이산화탄소 배출량(carbon dioxide output,  $\dot{V}CO_2$ ) 등은 2분 간격으로 측정하였다. 증상 제한적 최대 운동을 시행하도록 하였으나, 최소한 RER(respiratory exchange ratio)이 1.1을 초과하여 운동하도록 하였으며, 그 이하 일 때는 submaximal로 간주하여 연구에서 제외하였다. 운동의 종료는 참을 수 없는 호흡곤란, 흉통, 심전도상의 허혈성 또는 심한 부정맥과 같은 변화, 혈압하강이나 250/130 mmHg 이상의 심한 혈압상승 및 다리의 심한 통증 등을 호소하는 시점으로 하였다. 운동시 호기가스와 유속은 컴퓨터화된 측정기로 매 20초마다 기록하였고 혈압과 동맥가스 분석은 운동시작 전과 직후에 실시하였다. 호흡 예비력(breathing reserve, BR)은 최대수의 환기량(maximal voluntary ventilation, MVV)에서 운동시 최대 환기량을 뺀 값을 최대수의 환기량에 대한 백분율로 표시하였고 최대수의 환기량은 노력성 1초 호기량에 35를 곱하여 구하였다. 심박수예비력(heart rate reserve, HRR)은 예상 최대 심박수에서 실제 운동시에 측정된 최대 심박수를 뺀 값을 예상 최대 심박수에 대한 백분율로 표시하였으며, 예상 최대심박수는 “220-나이”로 구하였다. 무산소성역치(anaerobic threshold, AT)는 “V-slope 방법”으로 측정하였다<sup>8)</sup>. 분시호흡량은 최대운동시의 분시 호흡량에 대한 백분율로 표시하였으며 최대운동시의 분시호흡량은(ventilation at maximal exercise,  $VE_{max}$ )은 “(26.3×폐활량)-34 L/min”로 구하였다.

### 3. 분석 방법

연구 결과는 평균값±표준 편차로 표시하였다. 자료 분석 및 통계처리는 컴퓨터 통계 패키지인 SPSS (Statistical Package for Social Science)를 이용하여 분석하였으며, 자전거 타기와 답차 운동 검사 결과

사이의 유의성 검증은 *Mann Whitney U test*로 검정하였으며 p값이 0.05이하인 경우에 통계적 의의가 있는 것으로 간주하였다.

## 결 과

### 1. 환자의 임상적 특징 및 폐기능 검사

21명의 대상 환자는 남성 17명, 여성 4명이었으며, 평균 연령은 44세, 평균 체중은 59kg, 신장은 163cm 이었다. 단순 폐기능 검사상  $FEV_1$ 은 실제치 2.11 L, 기대치의 68%였으며, FVC는 실제치 2.4L, 기대치의 68%였다.  $FEV_1/FVC$ 의 비는 106%였다 (Table 1). 운동 부하 검사의 결과는 혈류 역학적, 가스 분석학적 변수들을 상호 비교하였다 (Table 2).

### 2. 최대 산소 섭취량 및 분당 최고 호흡량

최대 산소 섭취량은 자전거 작업계 운동군에서  $21.3 \pm 8.6$  ml/kg/min였으며, 답차 운동 검사군에서는  $27.4 \pm 10.5$  ml/kg/min로 답차 운동 검사군에서 유

Table 1. Patient characteristics and the results of spirometry

Number(M/F)	21(17/4)
Age(yr)	44±15
Weight(kg)	59±4.6
Height(cm)	163.16±3.11
Spirometry parameters	
$FEV_1$ (L BTPS) <sup>a</sup>	2.11±0.58
$FEV_1$ (% predicted) <sup>b</sup>	68.2±17.4
FVC(L BTPS)	2.4±0.72
FVC(% predicted) <sup>c</sup>	68±6.7
$FEV_1/FVC$ (% predicted)	106±12.3

a : Body temperature pressure saturated (mean±SD)

b : Actual  $FEV_1$ /Predicted  $FEV_1$

c : Actual FVC/Predicted FVC

Table 2. Exercise parameters

	Bicycle	Treadmill
Peak cardiovascular response		
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/m)	$21.3 \pm 8.56$	$27.4 \pm 10.52^{**}$
$\dot{V}O_2$ (% predicted) <sup>a</sup>	$61.2 \pm 18.42$	$80.1 \pm 26.56^{**}$
Anaerobic threshold (L/m)	$0.72 \pm 0.29$	$0.9 \pm 0.33^{**}$
Anaerobic threshold (%)	$30.2 \pm 8.60$	$36.3 \pm 12.17^*$
Oxygen-pulse(ml/b)	$9.03 \pm 4.15$	$10.55 \pm 5.05$
Heart rate-reserve(B)	$0.24 \pm 46.1$	$23.3 \pm 35.2^*$
Peak ventilatory response		
$\dot{V}E_{max}$ (L/min) BTPS	$53.2 \pm 17.4$	$68.3 \pm 23.4^{**}$
Breathing reserve(%)	$18.7 \pm 41.1$	$7.8 \pm 45.0^{**}$
Gas exchange response		
VD/VT(Rest)	$0.37 \pm 0.10$	$0.38 \pm 0.09$
VD/VT(Peak)	$0.19 \pm 0.07$	$0.17 \pm 0.07$

\*Bicycle vs treadmill  $p < 0.05$  (mean  $\pm$  SD)

\*\*Bicycle vs treadmill  $p < 0.01$

a : Measured  $\dot{V}O_2$ /Predicted  $\dot{V}O_2$

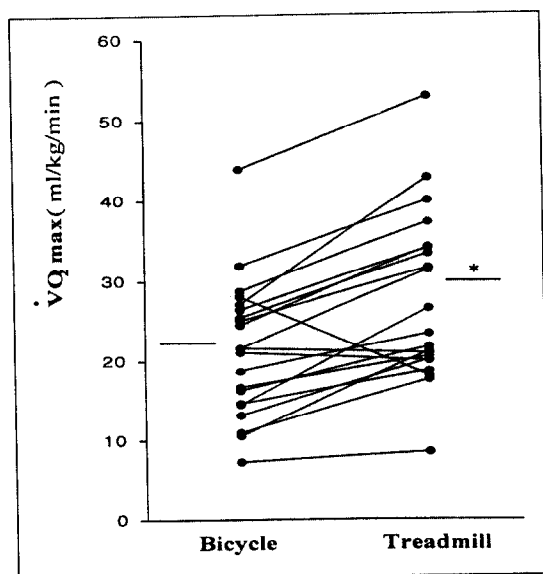


Fig. 1. Changes of  $\dot{V}O_{2max}$ . There was significant elevation of  $\dot{V}O_{2max}$  exercise when compared to bicycle exercise. (\* $p < 0.01$ )

의한 증가를 보였고( $p < 0.01$ ), 분당 최고 호흡량 역시 각각 53.2 L/min, 68.3 L/min로 답차 운동 검사군에서 유의한 증가를 보였다( $p < 0.01$ ) (Fig. 1, 2).

### 3. 무산소성 역치

V slope 방법으로 측정한 무산소성 역치값의 실제 측정치 및 기대값은 자전거 작업계 운동군에서  $0.72 \pm 0.29$  L/min,  $30.2 \pm 8.6\%$ 였으며, 답차 운동 검사군에서는  $0.90 \pm 0.33$  L/min,  $36.3 \pm 12.2\%$ 로 답차 운동 검사군에서 유의한 증가를 보였다( $p < 0.01$ ) (Fig. 3).

### 4. 호흡 예비력 및 심박수 예비력

호흡 예비력 및 심박수 예비력은 자전거 작업계 운동군에서  $18.7 \pm 41\%$ ,  $0.24 \pm 46.1\%$ 였으며, 답차 운동 검사군에서는  $-7.8 \pm 45\%$ ,  $-23.3 \pm 35.2\%$ 로 답차 운

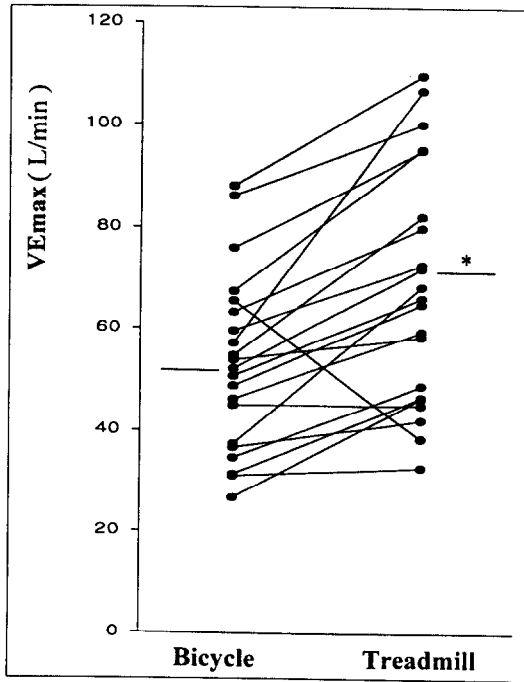


Fig. 2. Changes of VEmax. There was significant elevation of VEmax exercise when compared to bicycle exercise. (\* $p < 0.01$ )

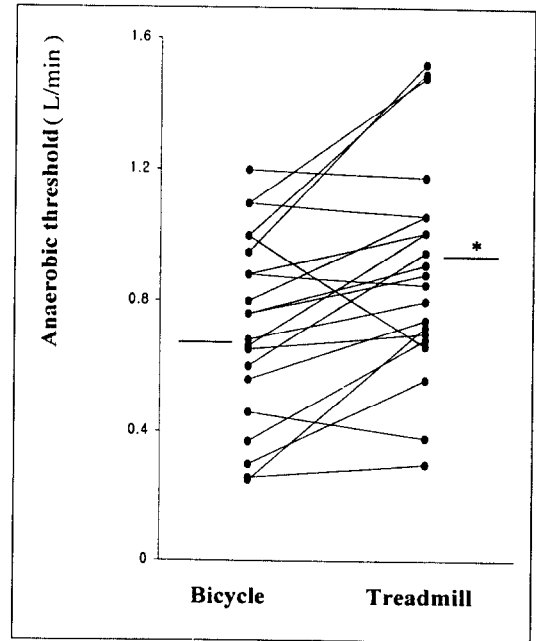


Fig. 3. Changes of anaerobic threshold. There was significant elevation of anaerobic threshold when compared to bicycle exercise. (\* $p < 0.01$ )

동 검사군에서 유의한 감소를 보였다( $p < 0.01$ )(Fig. 4, 5).

## 고 찰

폐 기능을 평가하는데 이용되는 검사방법으로는 단순 폐기능 검사, 폐관류 주사 이외에도 최근에는 운동 부하 검사가 널리 이용되어지고 있다. 운동 부하 검사를 실시하여 얻은 정보로 진단에 도움이 되는 질환들로는 심혈관 질환, 비만, 폐쇄성 폐질환, 폐 혈관질환 및 말초혈관질환 등이 있다<sup>8,10-13</sup>. 특히 폐질환 환자에서 운동 부하 검사는 호흡기 증상 또는 장애의 객관적인 측정, 운동과 관련된 질병의 진단, 운동시에 나타나는 비정상적인 반응의 확인, 운동시 산소 섭취 능력의 측정 그리고 치료에 대한 효과를 알아보기 위하여 실시하는 검사방법이다<sup>11</sup>. 이러한 운동 부하 폐기능 검사시

운동 부하의 방법으로는 답차와 자전거 작업계를 일반적으로 이용하고 있는데, 답차를 이용한 운동 부하 검사는 주로 미국에서, 자전거 작업계는 유럽 지역에서 선호하는 방법이며, 두 가지의 운동 부하 방법간에는 서로 장단점이 있는 것으로 알려져 있다. 답차 검사는 자전거 작업계에 비해 환자가 익숙한 종류의 운동이라는 장점이 있으나 제한대상이 많고, 일의 양을 측정하기 어렵고, 넓은 공간이 필요하며, 소음, 가격등의 제한점이 있고, 검사시 환자의 임의대로 운동을 조절하기가 어렵다. 또한 운동 부하시 기도의 수축이 올 수 있는데, 기도 수축의 심한 정도는 운동의 종류와 운동량에 따라 달라질 수 있으며 걷기나 달리기 운동이 자전거 타기보다 천식 환자에서 기관지수축을 일으키는 빈도가 높은 것으로 알려져 있다<sup>2-4</sup>. 그리고 답차 운동 검사에서는 손잡이에 의지할 경우 검사치의 변화를 초래할 수 있으나, 자전거 작업계는 운동중 심전도에

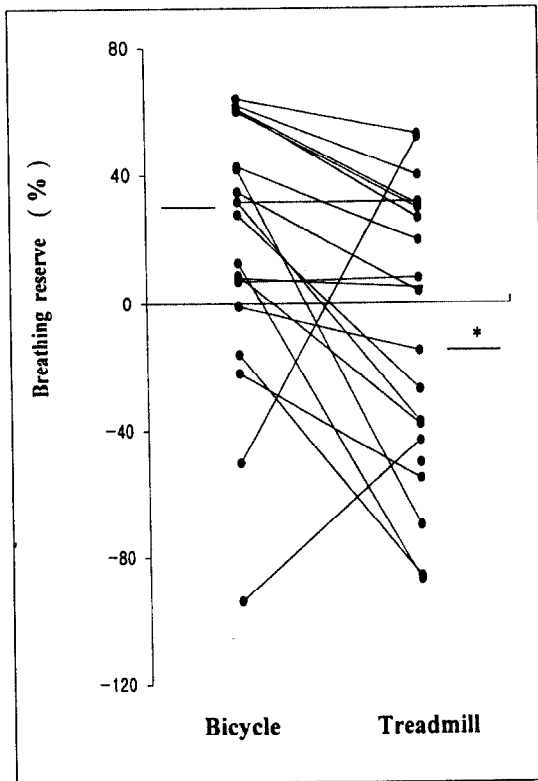


Fig. 4. Changes of breathing reserve. There was significant reduction of breathing reserve when compared to bicycle exercise. (\* $p < 0.01$ )

의한 artifact의 출현 빈도가 낮고 보다 더 규칙적인 호흡 양상을 보인다는 장점이 있다. 일반적으로 산소 섭취량의 증가와 자전거 작업계 운동 시간 상호간에는 서로 유의한 양의 상관성을 보이므로 submaximal exercise 상태에서 산소 섭취량의 분석을 위해서는 답차 운동보다는 자전거 작업계를 선호하는 경향이 있다. 운동의 방법에 따른 생리적 반응은 최대 산소 섭취량이 답차 운동 검사에서 자전거 작업계를 사용한 검사보다 6-15% 정도 더 높다고 보고되었다<sup>14-16</sup>. 하지만 이전의 비교 보고는 정상인과 심혈관 질환을 지닌 환자들에 대한 보고이며 폐 질환에 이환된 환자들의 비교 분석은 극히 미미하여 그 결과는 정확히 알려진 바 없다. 호흡기 질환자를 대상으로 한 본 연구

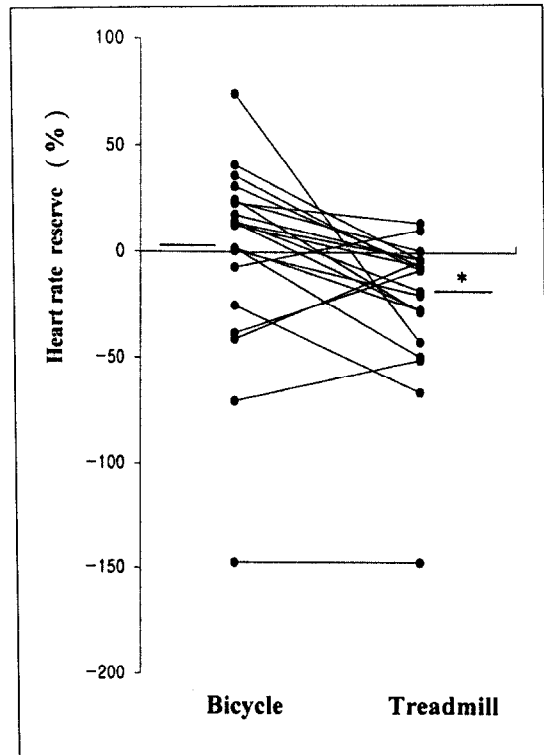


Fig. 5. Changes of heart rate reserve. There was significant reduction of heart rate reserve when compared to bicycle exercise. (\* $p < 0.01$ )

에서는 답차 운동시 자전거 작업계에 비하여 최대 산소 섭취량은 약 20%, 혐기성 역치는 약 6%의 상승을 보였다. 다양한 폐질환으로 호흡곤란을 호소하는 21명의 환자를 대상으로 일정 시간 간격을 두고 가능한 동일 조건하에서 2가지 운동 부하 검사, 즉 Bruce protocol에 따라 각 3분씩의 단계별로 각도와 속도를 증가시키면서 답차 운동 검사를 실시하고, 분당 10와트씩 순차적으로 운동량을 증가시킨 자전거 작업계 운동을 실시하여 상호 결과를 분석하였다. 두 가지 운동 부하검사 실시 순서는 무작위로 시행하였는데 이는 환자가 검사 방법에 익숙해짐으로써 분석에 오차가 반영되는 것을 막기 위함이다<sup>17</sup>. 본 연구에서 환자의 운동중단의 원인으로는 두 군 모두 하지 근

육 피로와 호흡곤란이 대부분이었다.

본 연구의 결과는 답차를 이용한 운동 부하 폐기능 검사는 자전거 타기에 비하여 최대 산소 섭취량 및 분당 최고 호흡량, 혐기성 역치 등은 실제 측정치 및 기대치가 유의한 상승을 보였으며, 호흡 및 심박수 예비력은 유의한 감소를 보였다. Miyamura 등<sup>18,19)</sup>은 자전거 운동이 답차 운동에 비하여 최대 산소 섭취량의 결과치가 유의하게 낮은 기전으로 운동부하 검사시 작용하는 근육양(mass)이 상대적으로 적고, 이로 인한 심박출량이 적으며, 국소 부위의 계속된 운동으로 인하여 피로감 증가에 따른 것으로 생각하였다.

운동부하 폐기능 검사의 중요성은 또한 폐암 환자에서 강조되어질 수 있는데 최근 폐암의 발생빈도는 증가 추세에 있고, 폐암으로 인한 사망률도 15년 간격으로 약 2배씩 증가한다고 알려져 있으며 환자 수가 증가함에 따라 이에 대한 관심도 증가하여 정기 신체 검사 등을 통한 폐암의 조기 발견을 위한 노력 및 폐암의 근치적 치료를 위하여 광범위한 폐 절제술이 시행되고 있다. 그러나 폐 절제술을 시행하는데 있어 대상 환자의 선택시 병기는 물론, 수술 후 예상되는 잔여 폐기능의 평가는 수술 가능 여부 및 수술시 폐절제 범위를 결정하여 수술 후 발생할 수 있는 호흡 부전증과 같은 합병증을 예방하는데 매우 중요하다. 수술 후 예상되는 잔여 폐기능의 평가를 위하여 폐국소 폐기능 검사나 폐판류 주사 등이 이용되고 있으나, 이들 검사만으로는 일상적인 생활을 영위하는데 요구되는 실제적인 운동 및 일에 대한 능력의 평가나 근본적인 폐환기능의 변화에 대한 예견은 부진한 것으로 사료되어 인 등<sup>20)</sup>은 폐암에 의한 폐절제후 운동부하 폐기능검사를 실시하여 수술 후 폐기능의 변화 및 노력성 1초 호기량과 최대 산소 섭취량의 감소 정도를 평가하였는데, 수술 후 폐기능은 시간 경과에 따라 다르게 나타나며 폐엽 절제술이 시행된 후 6개월에는 노력성 1초 호기량의 감소 정도로써 최대 산소 섭취량의 감소 정도를 간접적으로 평가할 수 있다고 보고하였다. 한등<sup>21)</sup>은 전체 폐암 환자중 14%만이 진단 당시에 수술이 가능한 병기로 판정되었으나 이중 26%는 폐기능의

저하로 말미암아 수술을 시행하지 못했다고 보고하였다. 때문에 가능한 환자의 폐기능을 정확히 측정할 수 있는 방법이 필요할 것으로 생각되지만, 본 연구에서 답차와 자전거 작업계를 이용하여 얻어진 이러한 검사 소견들로 미루어 볼 때, 답차를 이용한 운동 부하 검사는 환자의 운동능력을 측정하는데 있어 자전거 타기에 비하여 좀더 많은 운동량을 요구하는 것으로 해석할 수 있고 이로 인하여 동일 환자에서도 수술 여부를 결정할 수 있는 최대 산소 요구량에 유의한 차이가 있으므로 향후 폐암 등으로 인한 수술 적응 여부 및 예후의 판단에 대한 기준치에도 운동부하 검사 방법에 따른 새로운 적용치가 필요하리라 생각된다.

## 요 약

### 연구배경 :

호흡곤란을 호소하는 폐질환 환자에 대하여 답차 및 자전거 운동을 시행하여 각각의 운동 부하 방법에 따른 심폐기능의 변화의 차이점을 알아 보고자 하였다.

### 방 법 :

호흡곤란을 동반한 남자 17명과 여자 4명을 대상으로 1주일 이상의 간격을 두고 무작위로 Sensor Medics사의 model No. 2900 자전거 작업계(bicycle ergometer)와 Sensor Medics사의 Vmax29 treadmill을 이용하여 각각 incremental exercise를 실시하였다.

### 결 과 :

답차를 이용한 운동부하 폐기능 검사상 자전거 운동에 비하여  $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}E_{max}$ , 혐기성 역치값은 유의한 상승을 보였으며, 호흡 및 심박수 예비력은 유의한 감소를 보였다

### 결 론 :

운동부하 검사 방법에 따라 호흡기 질환 환자에서 심폐기능 검사치의 유의한 차이를 보이므로 어떠한 운동부하 방법을 사용하였는지에 따라 결과 해석에 고려가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Blackie SP, Pardy RL : Exercise testing in the assessment of pulmonary disease. *Clinical Review in Allergy* 8 : 215, 1990
2. Buckley, J. M. F., Souhrada, J : A comparison of pulmonary function test in detecting exercise-induced bronchoconstriction. *Pediatrics* 56(suppl 2) : 887, 1975
3. Eggleton, P.A. : Exercise challenge : Indications, techniques, and data analysis. Laboratory evaluation of exercise-induced asthma : Methodologic consideration. *J. Allergy Clin. Immunol* 64 : 604, 1979
4. Eggleton, P.A. : Methods of exercise challenge. *J. Allergy Clin. Immunol* 73 : 666, 1984
5. Bollinger CT, Jordan P, Soler M, et al : Exercise capacity as a predictor of postoperative complications in lung resection candidates. *Am J Respir Crit Care Med* 151 : 1472, 1995
6. Bruce RA : Progress in exercise cardiology. progress in cardiology, p113, Philadelphia, Lea & Febiger, 1975
7. Eric Page, Alain CS, Guillaume J : Comparison of treadmill and bicycle exercise in patients with chronic heart failure. *Chest* 106 : 1002, 1994
8. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ : Principles of exercise testing and interpretation, p36, Philadelphia, Lea & Febiger, 1987
9. Jones NL, Markrides L, Hitchcock C, Chyphar T, McCartney N : Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 131 : 700, 1985
10. Franciosa JA : Exercise testing in chronic congestive heart failure. *Am J Cardiol* 54 : 1447, 1984
11. Weber K, Janicki JS : Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of chronic heart failure. *Am J Cardiol* 55 : 22A-31A, 1985
12. Lipkin DP : The role of exercise testing in chronic heart failure. *Br heart J* 58 : 559, 1987
13. Cohen-Solal A, Gourgon R : Assessment of exercise tolerance in chronic congestive heart failure. *Am J Cardiol* 67 : 36C-4, 1991
14. Astrand P.O., B. saltin : Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. physiol* 16 : 977, 1961
15. Hermansen, L., B. saltin : Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physio* 29 : 82, 1969
16. Ikai, M., M. Shindo, and M. Miyamura : Aerobic work capacity of Japanese people. *Res. J. Phys. Ed.* 14 : 137, 1970
17. Elborn JS, Stanford CF, Nicholls DP : Reproducibility of cardiopulmonary parameters during exercise in patients with chronic cardiac failure. *Eur Heart J* 11 : 75, 1990
18. Hermansen L, Ekblom B, Saltin B : Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 29 : 82, 1970
19. Miyamura M, Honda Y : Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 32 : 185, 1972
20. 인병현, 문성기, 김현중, 김형식, 이홍, 이길홍, 이홍범, 이용철, 이양근 : 폐암에 의한 폐 절제 후 운동부하 폐기능 검사 - 4주 및 6개월 추적검사 -. *대한내과학회지* 54 : 341, 1998
21. 한성구, 이상도, 심영수, 김건열, 한용철 : 폐기능 저하로 수술대상에서 제외된 비소세포성 폐암환자의 분석. *대한내과학회잡지* 34 : 796, 1988