

운동이 폐기능에 미치는 영향

단국대학교 의과대학 내과학교실

박재석, 김운섭, 최은경, 지영구, 이계영, 김건열, 전 용

= Abstract =

The Effect of Exercise on Pulmonary Function

Jae Seuk Park, M.D., Youn Seup Kim, M.D., Eun Kyoung Choi, M.D.,
Young Koo Jee, M.D., Kye Young Lee, M.D., Keun Youl Kim, M.D., Yong Chun, M.D.

Department of Internal Medicine Dankook University College of Medicine, Cheonan, Korea

Background : The effects of exercise on pulmonary function are complex and have been the subject of many investigations. But, there has been disputes about the effect of exercise on spirometric parameters and there is no study about the effect of exercise on IOS(Impulse Oscillometry)parameters. IOS, a new method of pulmonary function test, is based on the relationship between the pressure and flow oscillation which is produced by applying sinusoidal pressure oscillation to the respiratory system via the mouth.

Method : Fifty-nine young adults without respiratory symptoms were divided into three groups according to degree of exercise(hard exercise group : mean exercise time is over three hours per week at least for the last one month, light exercise group : between thirty minutes to three hours, nonexercise group : less than thirty minutes) and undertaken pulmonary function test(simple spirometry and IOS).

Results : The effects of exercise on spirometric parameters ; percentage of predictive value of forced vital capacity(FVC % pred) was higher in hard exercise group than nonexercise group(hard exercise group : 102.4 ± 14.8 , nonexercise group : 93.7 ± 9.9 , $p=0.017$), but there was no significant difference in percentage of predicted value of forced expiratory volume in one second(FEV 1% pred) and percentage of predicted value of forced expiratory flow 50%(FEF 50% pred) between groups. The effects of exercise on IOS parameters : Reactance at 5Hz(X5) was significantly lower in hard exercise group than nonexercise group(hard exercise group : $-0.166 \pm 0.123\text{hPa}/1/\text{s}$, nonexercise group : $-0.093 \pm 0.036\text{hPa}/1/\text{s}$, $p=0.006$) but there was no significant difference in central resistance(Rc), peripheral resistance(Rp), resonance frequency(RF) and resistance at 5Hz, 20Hz between groups.

Conclusion : Hard exercise increased FVC % pred on spirometric parameters and decreased reactance at 5Hz (X5) on IOS parameters.

Key words : Exercise, Spirometry, Impulse oscillometry

서 론

규칙적인 운동은 여러 가지 신체기능을 좋게하여 질병의 예방 뿐만 아니라 스트레스의 해소에도 도움이 되는 것으로 알려져 있어 운동량이 부족하기 쉬운 현대에 있어서 운동의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 그러나 이러한 운동의 효과는 복잡하고 여러 장기들의 기능이 서로 영향을 미치므로 한 장기를 따로 분리해서 평가하는 데는 어려움이 많다.

운동이 폐기능에 미치는 영향에 대해서는 그간 수많은 연구가 진행되었으나 아직까지도 이견이 많으며 구체적인 결론이 없는 실정이다. Mungall 등은 운동이 폐기능에 있어 의미있는 변화를 일으키지 않으며 간혹 의미있는 변화가 있다 하더라도 변화의 크기가 적으며 임상적인 의미가 별로 없다고 하였다¹⁾. 그러나 Armour 등은 수영선수들에서 총폐용적(total lung capacity), 폐활량(vital capacity), 그리고 흡기용량(inspiratory capacity) 등이 일반인에 비하여 의미있게 증가하였다고 보고하였다²⁾. 그러나 Lakhear 등은 유전적 요인, 영양상태 등이 폐기능에 영향을 미친다고 보고하여 수영선수의 경우 폐활량의 증가가 운동 이외에 이와 같은 요인들이 관여하지 않았을까 하는 의문이 제기된다³⁾. 그러므로 연구대상을 운동선수가 아닌 일반인으로 한다면 운동의 효과를 보다 객관적으로 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

폐기능 검사법 중에서 노력성 호기성 폐활량 측정법(spirometry)는 검사 방법과 해석이 쉬워서 널리 이용되고 있다. 그러나 검사결과가 환자의 노력 여부에 따라 다르게 나올 수 있고 조기 기도폐쇄와 같은 폐기능의 작은 변화를 발견하는데 민감도가 낮은 단점이 있다. Impulse oscillometry(IOS)는 최근에 관심을 갖게 된 새로운 폐기능 검사방법으로 외부의 확성기

(loudspeaker)에서 발생하는 기류의 진동을 자발호흡에 부가시킴으로써 발생하는 압력의 변화를 분석하여 폐기능을 평가하는데 노력성 호기방법이 필요없고 자발성 상시호흡에서 수동적인 협조만으로도 검사가 가능하므로 소아와 같이 협조가 잘 안되는 경우 용이하게 이용할 수 있으며, 노력성 호기성 폐활량 측정법으로는 구별할 수 없었던 조기 기도폐쇄를 의미있게 구별하는 등 그 유용성에 대한 관심이 증대되고 있다⁴⁻⁶⁾. 그러나 운동이 IOS방법으로 측정된 폐기능의 지표들에 미치는 영향에 대해서는 아직 보고가 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 운동이 폐기능에 미치는 영향을 알아보기 위해 호흡기 증상이 없는 일반인을 대상으로 운동의 정도에 따른 노력성 호기성 폐활량 측정법과 IOS의 지표들을 측정하여 운동이 폐기능에 미치는 영향에 대해서 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

호흡기 증상이 없는 59명(남자 51명, 여자 6명)의 건강한 젊은 성인(19-38세)을 대상으로 하였으며 설문지조사를 통하여 검사시점으로 부터 최소 1달 전부터 땀이 날 정도의 운동을 하는 시간에 따라 임의로 세 군으로 나누었는데 1주에 평균 30분 이내의 경우를 제 1군(non-exercise group, 23명), 1주에 평균 30분에서 3시간 이내인 경우를 제 2군(light exercise group, 18명), 1주에 평균 3시간 이상인 경우를 제 3군(hard exercise group, 18명)으로 하였다. 각 군에 있어서 남녀 성비, 평균연령, 흡연자와 비흡연자의 비는 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of the study groups

	Group 1	Group 2	Group 3
Number	23	18	18
M : F	18 : 5	18 : 0	17 : 1
Age(Mean \pm SD)	27.0 \pm 3.6	29.4 \pm 3.2	26.0 \pm 4.7
Smoker : Non-smoker	11 : 12	14 : 4	8 : 10

2. 방법

연구 대상자들에 대하여 노력성 호기성 폐활량 측정법을 이용하여 노력성폐활량(FVC % pred), 일초간 노력성 호기량(FEV 1% pred), 노력성 호기중간기류량(FEF 50% pred)를 측정하였으며, Jaeger company의 IOS 프로그램 버전 4.1을 이용한 IOS 방법으로 폐기능 검사를 시행하였는데, 검사방법으로 대상자는 mouthpiece를 가볍게 입에다 대고, 입의 유순도에 대한 영향을 줄이기 위해서 손으로 뺨을 지지하면서 시행하였고 중심 기도저항(Rc), 변연부 기도저항(Rp), 공명주파수(Rf), 5Hz, 20Hz, 35Hz에서의 기도저항(R5, R20, R35), 그리고 5Hz에서의 유도저항(X5)을 측정하였다.

3. 통계처리

각 군에서의 노력성 호기성 폐활량 측정법과 IOS의 지표들의 측정치를 가지고 SAS의 일반선형 모델(general linear model)을 이용하여 흡연의 영향을 보정한 후에 분석하였다.

결 과

1. 운동이 폐활량 지표에 미치는 영향

1) FVC (% of pred. value)의 변화

운동시간이 1주에 3시간 이상인 군에서 1주에 30분 이내인 군에 비해 FVC % pred가 유의하게 높았으나 (p-value=0.017), 1주에 30분 이내인 군과 1

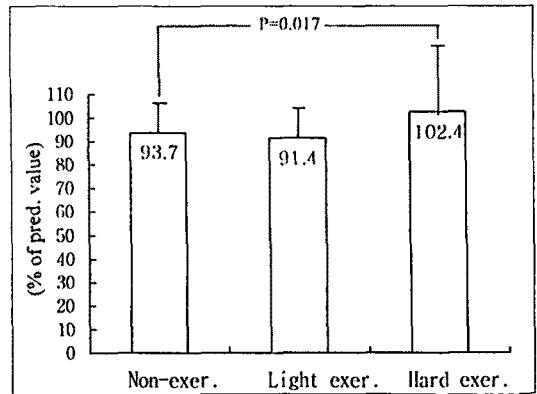


Fig. 1. The effect of exercise on FVE(% pred).

주에 30분에서 3시간 사이인 군 사이에는 차이가 없었다(1군 : 93.7 \pm 9.9, 2군 : 91.4 \pm 9.7, 3군 : 102.4 \pm 14.8, Fig. 1).

2) FEV 1 & FEF 50(% of pred. value)의 변화

FEV 1% pred와 FEF 50% pred는 각 군 사이에 유의한 차이가 없었다(FEV 1% pred : 1군 ; 100.1 \pm 10.7%, 2군 ; 99.4 \pm 10.8%, 3군 ; 103.4 \pm 8.3%, FEF 50% pred : 1군 ; 106.6 \pm 21.5%, 2군 ; 108.4 \pm 24.1%, 3군 ; 102.2 \pm 22.9%, Fig.2).

2. 운동이 IOS 지표에 미치는 영향

1) 5Hz에서의 유도저항(X5)의 변화는 측정치에서 예측치(predicted value)를 뺀 값으로 분석하였는데 운동시간이 1주에 3시간 이상인 군에서 1주에 30분 이내인 군에 비해 X5가 유의하게 낮았으나(p-value

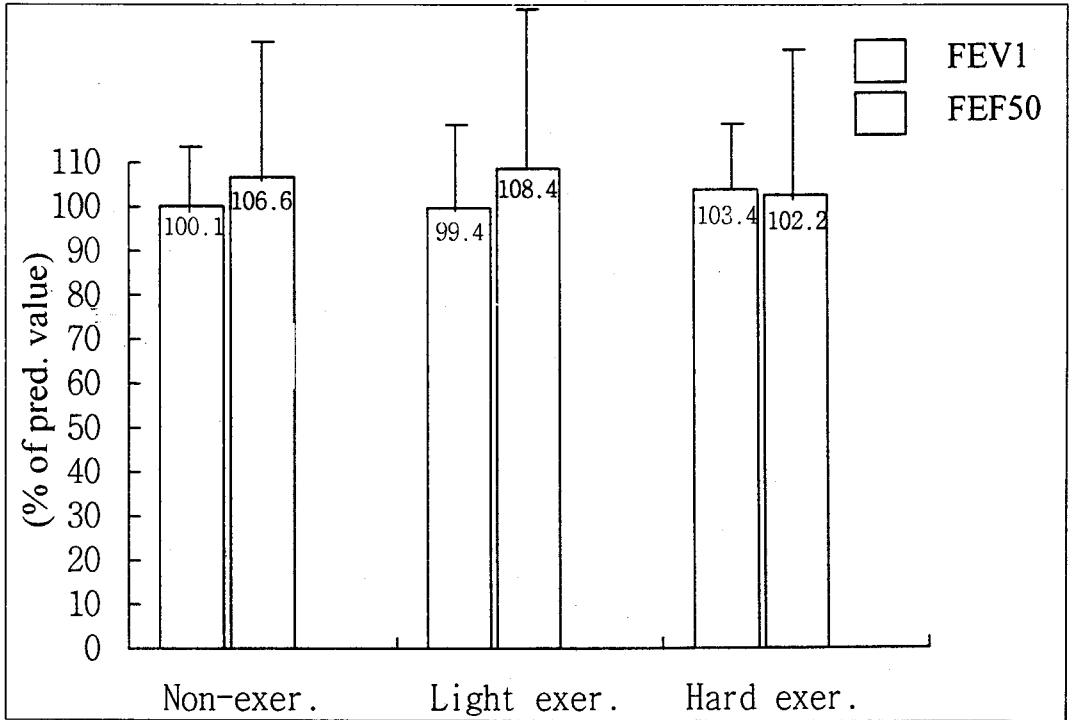


Fig. 2. The effect of exercise on FEV 1 and FEF 50.

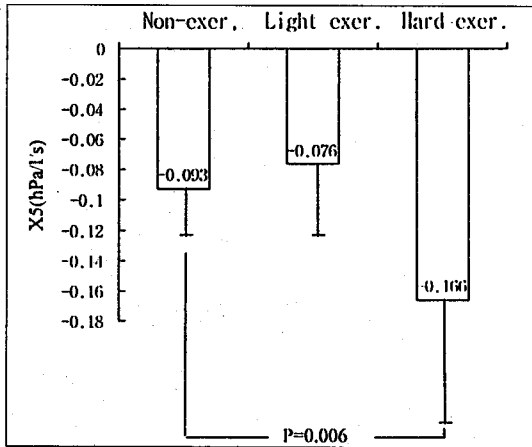


Fig. 3. The effect of exercise on reactance at 5Hz ($\times 5$).

=0.006), 1주에 30분 이내인 군과 1주에 30분에서 3시간 사이인 군 사이에는 차이가 없었다(1군: -0.

093 \pm 0.036hPa/1/s, 2군: -0.076 \pm 0.061hPa/1/s, 3군: -0.166 \pm 0.123hPa/1/s, Fig. 3).

2) 공명주파수(Rf)의 변화

공명주파수는 각 군 사이에 유의한 차이가 없었다(1군: 9.64 \pm 2.23Hz, 2군: 9.13 \pm 1.51Hz, 3군: 9.38 \pm 1.51Hz, Fig. 4).

3) 기도저항의 변화

5Hz에서의 저항(R5)와 20Hz에서의 저항(R20)은 측정치에서 예측치(predicted value)를 뺀 값으로 분석하였는데 각 군 사이에 유의한 차이가 없었다(R5: 1군; 0.009 \pm 0.07Pa/1/s, 2군; -0.014 \pm 0.070hPa/1/s, 3군; -0.024 \pm 0.108hPa/1/s, R20: 1군; 0.022 \pm 0.087hPa/1/s, 2군; -0.008 \pm 0.068hPa/1/s, 3군; 0.023 \pm 0.105hPa/1/s, Fig. 5, 6).

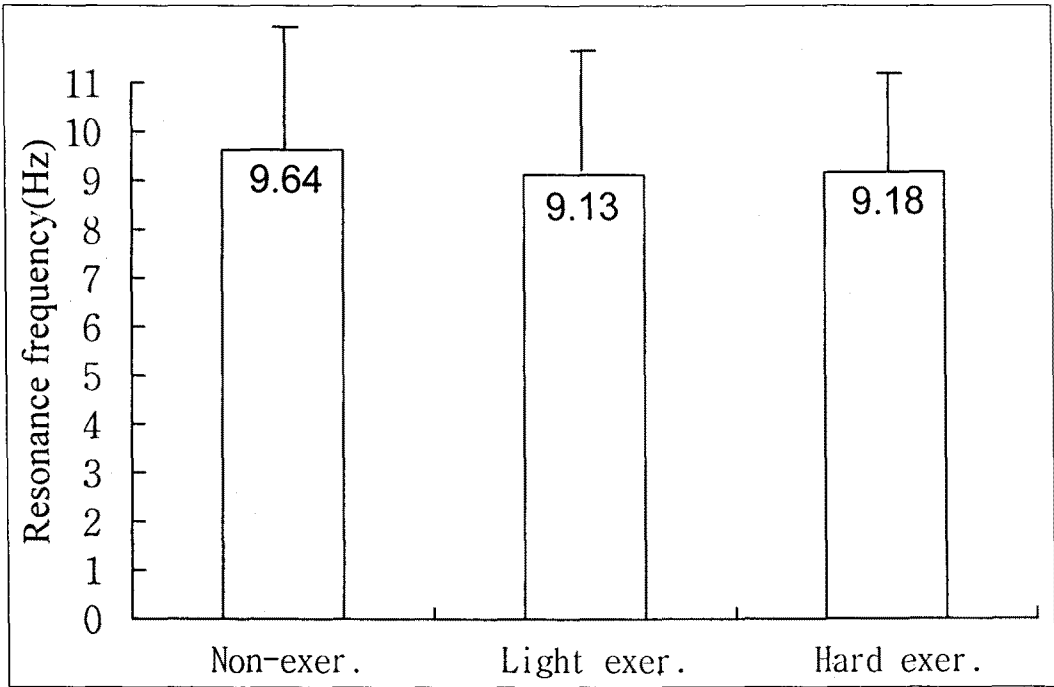


Fig. 4. The effect of exercise on resonance frequency(Rf).

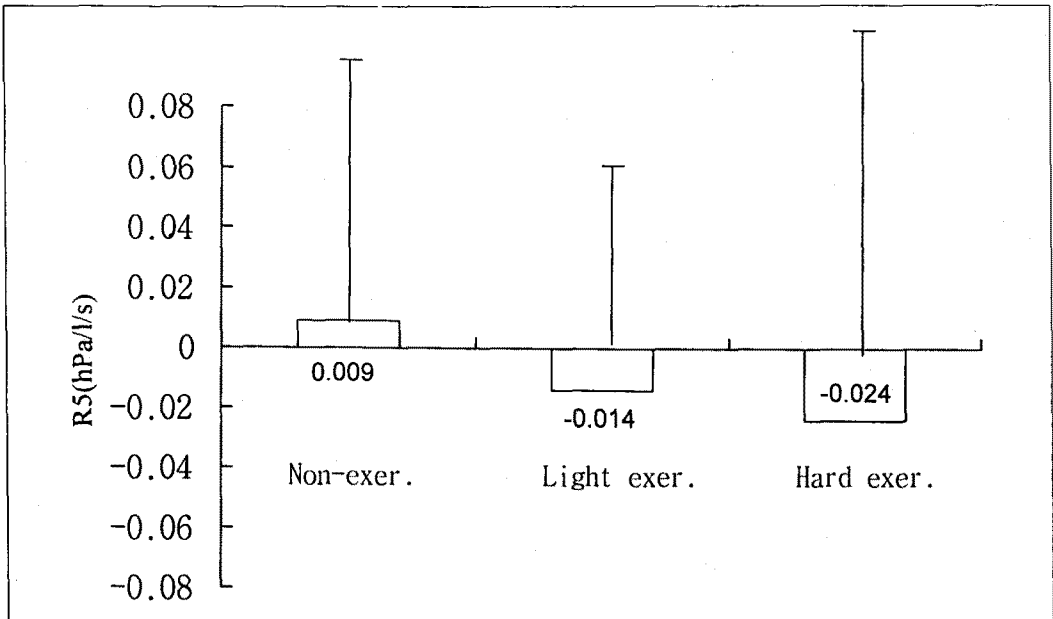


Fig. 5. The effect of exercise on resistance at 5Hz(R5).

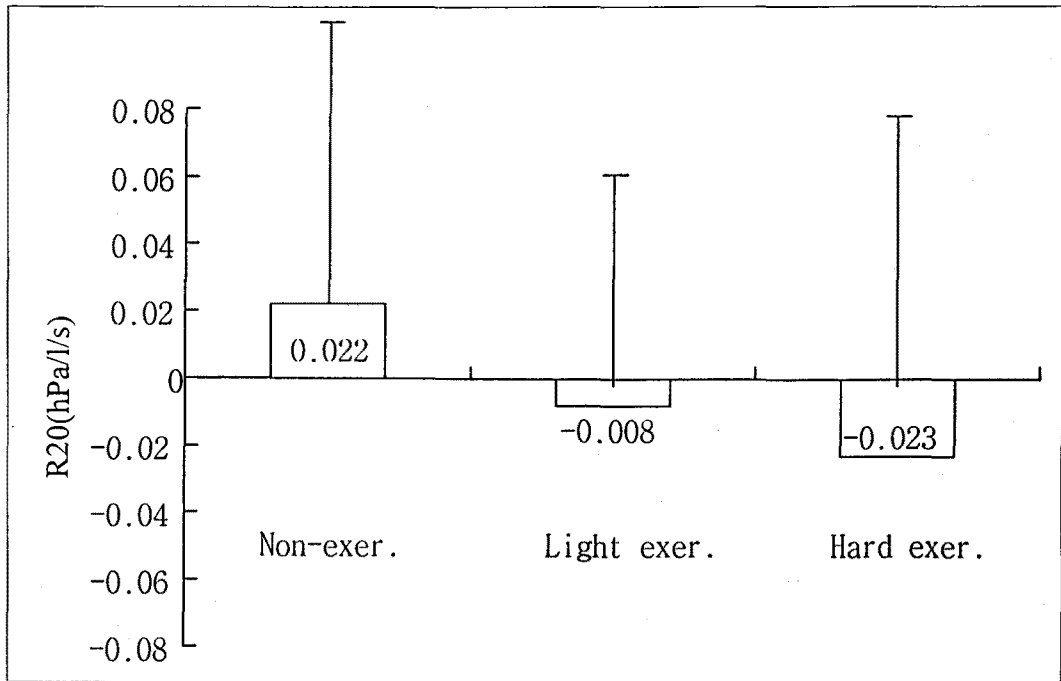


Fig. 6. The effect of exercise training on resistance at 20Hz(R20).

고 찰

운동은 여러 장기의 기능에 복합적으로 영향을 미치므로 폐기능에 미치는 영향만을 객관적으로 판정하는데 많은 어려움이 있는데 일반적으로 운동은 횡격막이나 늑간근육, 복근 등의 호흡근육의 근력을 강화시키며 환기량과 최대산소섭취량을 증가시키는데 도움이 되는 것으로 알려져있다^{7,8)}. 그리고 환기량과 최대산소섭취량은 연령증가와 더불어 반비례적으로 감소하므로 이 감소폭을 운동을 통하여 줄일 수 있다고 알려져 있다⁹⁾. 그러나 최대산소섭취량은 폐기능 뿐만 아니라 심장 기능의 개선, 증가된 혈액량과 적혈구량 등에 의해서도 증가될 수 있으므로⁹⁻¹¹⁾, 최대산소섭취량으로 폐기능의 개선을 객관적으로 판정하는 데는 어려움이 있다. 그래서 본 연구에서는 최대산소섭취량과 같은 신체의 다른 장기의 기능에 의해서도 영향을 받을 수 있는 변수들은 연구방법에서 제외하고 노력성 호기성 폐활량측정법과 IOS를 이용한 폐기능검사만을 시행하

였다.

Armour 등은 수영선수에 있어서 일반인에 비하여 폐용량이 증가되어 있는 것을 관찰하고 운동으로 인하여 폐용량의 증가가 이루어졌다고 주장하였다²⁾. 그러나 Lakhear 등이 유전적 요인, 영양상태 등이 폐기능에 영향을 미친다고 보고하여³⁾ 운동선수와 일반인을 비교할 경우 운동의 효과인지 아니면 다른 원인에 의해 폐기능이 개선된 것인지 판정이 어려워진다. 그러므로 연구대상을 운동선수가 아닌 일반 성인으로 한다면 보다 객관적인 평가를 할 수 있을 것으로 판단되어 본 연구에서는 운동선수가 아닌 직장인과 학생들을 대상으로 하였고 운동은 취미와 건강을 위해서 하는 사람들로 하였다. 그러나 연구 대상의 선정에 있어서 설문지 조사와 최근 1개월 간의 개략적인 운동량을 기준으로 하였으므로 과거에 앓았던 호흡기 질환의 유무와 운동량을 정확히 정량화 할 수 없었으므로 결과의 해석에는 한계가 있을 것으로 생각된다.

노력성 호기성 폐활량법의 경우 대상자들의 검사결

과를 예측치에 대한 백분율로 분석하였는데 지표들 중에서 FVC에서만 운동시간이 1주에 3시간 이상인 군에서 1주에 30분 이내인 군보다 유의하게 높게 측정되었다(Fig. 1). 그러나 1주에 30분에서 3시간 사이인 군과 30분 이내인 군 사이에는 유의한 차이가 없었다. 이러한 차이는 두 가지로 생각해 볼 수 있는데 첫째는 대상군 중에서 흡연자의 비율이 운동시간이 30분에서 3시간 사이인 군에서는 77퍼센트이고 30분 이내인 군에서는 49퍼센트로 30분에서 3시간 사이로 운동한 군에서 상대적으로 많았으므로(Table 1) 흡연으로 인해 FVC에 차이가 날 수 있다면 흡연이 교란 변수로 작용해서 실제로는 차이가 나는데 차이가 없는 것처럼 보일 수 있을 것이다. 그러나 본 연구에서는 일반선형모델을 이용하여 흡연이라는 변수를 보정한 후에 통계처리하였으므로 흡연이 영향을 미쳤다고 보기는 어려울 것으로 판단된다. 그리고 본 교실에서 흡연자와 비흡연자 사이에 폐기능에 차이가 있는지 알아본 연구에 의하면¹²⁾ 흡연자군과 비흡연자군 사이에 FVC에 있어서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 둘째로 FVC의 변화는 적어도 1주에 3시간 이상 땀이 날 정도로 운동해야 운동하지 않는 사람에 비해 차이가 날 정도로 증가하지만 약한 운동으로는 유의한 차이가 날 정도로 FVC가 증가하지 않는다고 볼 수 있다. 각군에 대한 FEV1과 FEF50에 있어서는 서로 차이가 없었는데 이는 기존에 기도 장애가 없는 사람에 있어서는 운동에 의해 기도저항이 감소할 여지가 없기 때문이 아닌가 생각된다. 그러므로 운동으로 폐기능이 개선된다면 그것은 아마도 흉곽의 크기의 증가에 의한 폐활량의 증가 때문일 것으로 생각된다. 폐질환이 있는 환자들이 있어서 운동이 폐기능에 미치는 영향은 운동전에 이미 상당히 의미있는 폐쇄성 환기장애를 보이고 있는 만성 폐쇄성 호흡기질환 환자들을 대상으로 많이 시행되었는데, 이들 대다수의 환자들은 운동후에 운동 지속성의 증가가 관찰되었다.¹³⁻¹⁵⁾ 그러나 운동지속성의 증가가 심폐기능을 포함한 신체 여러 장기의 기능의 호전에 의한 복합적인 결과이므로 폐기능의 개선이 어느정도 기여하는지에 대해서는 아

직 논란이 많다¹⁾. 만성 폐쇄성 호흡기질환 환자들을 대상으로 한 이들 연구에서 한가지 흥미로운 점은 운동으로 인한 생리적인 개선 효과들이 3~4주 정도의 비교적 짧은 기간의 운동 후에 보인다는 것이며, 지속적인 운동의 효과는 초기의 효과와 큰 차이가 나지 않았다¹⁶⁻¹⁹⁾. 본 연구에서는 대상군의 선정에 있어서 최근 1개월 이상 운동한 사람들을 대상으로 하였는데 운동이 폐기능에 영향을 미치는 기간으로는 충분하였을 것으로 사료된다.

IOS 혹은 forced oscillation technique(FOT)은 1956년에 Dubois 등에 의해서 광범위한 주파수에 따른 호흡기계의 특징적인 기계적 성질을 알기위해 도입한 방법으로 외부의 확장기에서 발생하는 기류의 진동을 자발호흡에 부가시킴으로써 발생하는 압력의 변화를 분석하여 폐기능을 평가하는 방법이다. 호흡기계의 임피던스(impedance)는 실측부분(real part : Resistance)과 추정부분(imaginary part : Reactance)로 나눌 수 있는데 유도저항(Reactance)은 기관지에서의 공기흐름의 관성(inertia)과 호흡기계의 신전성(elasticity)에 영향을 받는다²⁰⁻²²⁾. 정상인에서는 주파수의 변화에 따른 저항(resistance)의 변화가 거의 없으며 유도저항의 경우 낮은 주파수에서는 capacity가 더 많은 영향을 미쳐 음성을 보이지만 주파수가 증가함에 따라 관성이 더 많은 영향을 미쳐 양성을 보이게 된다. 그리고 유도저항이 0인 경우의 주파수를 공명주파수(Rf)라고 부르며 정상인의 경우 8Hz 정도가 된다. 노력성 호기성 폐활량 측정법은 폐기능의 폐쇄성 혹은 제한성 장애여부를 알수는 있으나 폐쇄부위가 중심성인지 변연부성인지는 감별하는데 제한이 있다. 그러나 IOS는 5Hz에서의 저항(R5), 20Hz에서의 저항(R20), 5Hz에서의 유도저항(X5), 그리고 Rf 등의 지표를 이용하여 중심성인지 변연부성인지 감별하는데 도움을 줄 수 있다. 중심기도폐쇄(central airway obstruction)의 경우 저항이 증가하고 주파수의 변화에 따른 차이는 없으며 유도저항은 정상소견을 보인다. 그러나 변연부기도폐쇄의 경우 낮은 주파수(5Hz)에서는 저항이 높게 나타나지만 높은

주파수(20Hz)에서는 상대적으로 낮은 수치를 보이며 유도저항은 낮은 주파수에서 정상보다 훨씬 낮은 수치를 보여 공명주파수가 증가하게 된다. 그러므로 임상에서 흔히 사용되는 노력성 호기성 폐활량 검사법으로 잘 찾아내지 못하는 변연부기도폐쇄 특히 기도폐쇄를 비교적 조기에 발견할 수 있다는 장점이 강조되고 있다⁴⁻⁶⁾. 흡연이 IOS 지표들에 미치는 영향에 대하여 본 교실에서 시행한 연구에 의하면 흡연자에 있어서 비흡연자에 비해 5Hz에서의 유도저항이 유의하게 감소하여 흡연으로 인한 변연부기도의 조기폐쇄의 진단에 이용될 수 있을 것으로 보고한 바 있다¹²⁾. 그러나 본 연구에서는 운동의 증가에 따라 IOS 지표들 중에서 5Hz에서의 유도저항(X5)에서만 운동시간이 1주에 3시간 이상인 군에서 30분 이내인 군보다 유의하게 감소함을 관찰할 수 있었고 다른 지표들에 있어서의 변화는 관찰할 수 없었다. 그리고 본 연구에서 5Hz에서의 유도저항의 감소가 있었지만 기도저항의 증가가 관찰되지 않았으므로 변연부 기도폐쇄로 판정하기는 어려울 것으로 생각된다. 그리고 IOS의 지표들의 변화에 따른 폐기능의 변화는 아직 완전히 정립되어 있지 않으며 운동으로 인해 기도폐쇄가 생긴다는 것은 지금까지의 경험으로도 합당하지 않을 것으로 생각된다. 그러므로 5Hz에서의 유도저항의 감소가 갖는 임상적 의의에 대해서는 더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

연구배경 :

운동이 폐기능에 미치는 영향에 대해서는 그동안 많은 연구가 진행되었으나 운동이 폐활량에 미치는 영향에 대해서는 이견이 많다. Impulse oscillometry (IOS)는 최근 관심의 대상이 되고 있는 새로운 방법의 폐기능 측정법이나 이 방법으로 운동의 효과를 연구한 보고는 아직 없는 실정이다. 본 연구에서는 일반 성인을 대상으로 운동의 정도에 따른 노력성 호기성 폐활량 측정법과 IOS를 이용하여 폐기능 검사를 시행하여 운

동이 폐기능에 미치는 영향에 대해서 알아보려고 하였다.

방 법 :

호흡기 증상이 없는 59명의 젊은 성인을 대상으로 최근 땀이 날 정도의 운동을 하는 시간에 따라 1주에 30분 이내인 제 1군(23명), 30분에서 3시간 사이인 제 2군(18명), 그리고 3시간 이상인 제 3군(18명)으로 나누고 이들에 대해 노력성 호기성 폐활량 측정법과 IOS를 이용한 폐기능 검사를 시행하였다.

결 과 :

운동이 폐활량 측정법에 미치는 영향으로 호기성 폐활량(FVC)의 예측치에 대한 백분율은 운동시간이 1주에 3시간 이상인 군에서 1주에 30분 이내인 군에 비해 유의하게 높았으나(1군 : $93.8 \pm 9.9\%$, 3군 : $102.4 \pm 14.8\%$, $p\text{-value}=0.017$), 1초간의 노력성 호기성 폐활량(FEV1)과 노력성 호기중간 기류량(FEF50%)의 예측치의 백분율은 각 군 사이에 유의한 차이가 없었다.

운동이 IOS 지표에 미치는 영향으로 5Hz에서의 유도저항에서 예측치를 뺀 값은 운동시간이 1주에 3시간 이상인 군에서 30분 이내인 군에 비해 유의하게 낮았으나(1군 : $-0.093 \pm 0.036\text{hPa}/1/\text{s}$, 3군 : $-0.166 \pm 0.123\text{hPa}/1/\text{s}$, $p\text{-value}=0.006$), 공명주파수(Resonance frequency), 5Hz, 20Hz, 35Hz에서의 기도저항은 각 군 사이에 유의한 차이가 없었다.

결 론 :

운동은 노력성 폐활량을 증가시키고 5Hz에서의 유도저항(X5)을 감소시킨다.

참 고 문 헌

1. Mungall IPF, Hainsworth R : An objective assessment of the value of exercise training to patients with chronic obstructive airways disease. Q J Med XLIX : 77-85, 1980
2. Armour J, Donnelly PM, Bye PT : The large

- lungs of elite swimmers : an increased alveolar number? *Eur Respir J* 6(2) : 237, 1993
3. Lakhera SC, Kain TC : Comparison of pulmonary function amongst Ladakhi, Delhi, Vanvasi and Siddy boy athletes. *Indian J Physio Pharmacol* 39(3) : 255-258, 1995
 4. Demedts M, Van Noord JA, Van De Woestijne KP : Clinical applications of forced oscillation technique. *Chest* 99 : 795-797, 1991
 5. Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF Jr : Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol* 8 : 587-594, 1956
 6. Nagels J, Landser FJ, Van der Linden L, Clement J, Van De Woestijne KP : Mechanical properties of lungs and chest wall during spontaneous breathing. *J Appl Physiol* 120 : 1095-1100, 1995
 7. Hurley BF, Hagberg JM, Allen WK, Seals DR, Young JC, Cuddihee RW, Holloszy JO : Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 56 : 1260-1264, 1984
 8. Rand PW, Norton JM, Barker N, Lovell M : Influence of athletic training on hemoglobin-oxygenaffinity. *Am J Physiol* 224 : 1334-1337, 1973
 9. Hermansen L, Wachtlova M : Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men. *J Appl Physiol* 30 : 860-863, 1971
 10. Saltin B, Astrong PO : Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 23 : 353-358, 1967
 11. Anderson TW, Shephard RJ : Physical training and exercise diffusing capacity. *Int Z Angew Physiol* 25 : 198-209, 1968
 12. 김윤섭, 권숙희, 송미영, 유선미, 박재석, 지영구, 이계영, 김건열 : Impulse Oscillometry를 이용한 흡연자에서의 조기 기도폐쇄의 연구. *결핵 및 호흡기질환* 44 : 1030-1039, 1997
 13. Jones NL, Campbell EJM : Clinical exercise testing. WB Saunders Company 1982, 89-99
 14. Spiro SG : Exercise testing in clinical medicine. *Br J Dis Chest* 71 : 145-172, 1977
 15. Wasserman K : The anaerobic threshold measurement in exercise testing. *Clin Chest Med* 5 : 77-88, 1984
 16. Hodgkin JE : Pulmonary rehabilitation. *Current Pulmonology* 1981, 361-380
 17. Lertzman MM, Cherniack RM : Rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease *Am Respir Dis* 114 : 1145-1165, 1976
 18. Moser KM, Bokinsky GC, Savage RT : Results of a comprehensive rehabilitation program *Arch Intern Med* 140 : 1596-1601, 1980
 19. Petty TL : Pulmonary rehabilitation. *Basics Respir Dis* 4 : 1-6, 1975
 20. Landser FJ, Nagels j, Demedts M, Billiet L, Van De Woestijne KP : A new method to determine frequency characteristics of the respiratory system. *J Appl Physiol* 41 : 101-106, 1976
 21. Michaelson ED, Grassman ED, Peters WR : Pulmonary mechanics by spectral analysis of forced random noise. *J Clin Invest* 56 : 1210-1230, 1975
 22. Peslin R, Fredberg JJ : Oscillation mechanics of the respiratory system. In : Macklem PT, Mead J, eds. *Handbook of physiology, Section 3 : The respiratory system, Vol III. Mechanics of breathing.* Bethesda : American Physiology Society 1986, 145-166