

HRCT Emphysema Scoring과 운동부하 폐기능검사 지표들 간의 상관관계

단국대학교 의과대학 내과학교실 호흡기내과, 진단방사선학교실¹

최은경, 최영희¹, 김도형, 김용호, 윤세영, 박재석, 김건열, 이계영

= Abstract =

The Correlation between HRCT Emphysema Score and Exercise Pulmonary Testing Parameters

Eun-Kyoung Choi, M.D., Young Hee Choi, M.D., Doh-Hyung Kim, M.D.,
Yong Ho Kim, M.D., Se Young Yoon, M.D., Jae Seuk Park, M.D.,
Keun-Youl Kim, M.D., and Kye Young Lee, M.D.

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

Background : The correlation between the high resolution computed tomography(HRCT) emphysema score and the physiologic parameters including resting and exercise pulmonary function test was investigated in 14 patients(60.6 ± 10.3 years) with pulmonary emphysema.

Methods : The patients underwent a HRCT, a resting pulmonary function test, and incremental exercise testing(cycle ergometer, 10 W/min). Computed tomography scans were obtained on a GE highlight at 10 mm intervals using 10 mm collimation, from the apex to the base after a full inspiration. The emphysema scores were determined by a CT program 'Density mask' outlining the areas with attenuation values less than -900 HU, indicating the emphysema areas, and providing an overall percentage of lung involvement by emphysema.

Results : Among the resting PFT parameters, only the diffusing capacity($r = -0.75$) and PaO_2 ($r = -0.66$) correlated with the emphysema score($p < 0.05$). Among the exercise test parameters, the emphysema score correlated significantly with the maximum power($r = -0.74$), maximum oxygen consumption($r = -0.68$), anaerobic threshold(V-slope method : $r = -0.69$), maximal O_2 -pulse($r = -0.73$), and the physiologic dead space ratio at the

Address for correspondence :

Kye Young Lee, M.D. & Ph.D.

Division of Pulmonary Medicine Dankook University Medical Center

16-5 Anseo-dong, Chonan, South Korea 330-714

Phone : 041-550-3916 Fax : 041-556-3256 E-mail : kyleemd@anseo.dankook.ac.kr

maximum workload($r=-0.80$)($p<0.01$).

Conclusion : We could find that exercise testing parameters showed a much better correlation with the HRCT emphysema score, which is known to have a good correlation with the pathologic severity than the resting PFT parameters. Therefore it is suggested that exercise testing is superior to resting PFT for estimating in the estimation of the physiologic disturbance in emphysema patients. (Tuberculosis and Respiratory Diseases 2001, 50 : 415-425)

Key words : Emphysema scoring, HRCT, Exercise pulmonary testing, Correlation

서 론

폐기종이란 병리조직학적 질환의 개념으로 종말 세기 관지 (terminal bronchiole) 이하의 기강 (air space) 이 비정상적인 영구적 확장을 보이고 폐포벽의 파괴가 초래된 상태를 의미한다¹. 그러나, 실제 임상적 진단은 병리 조직학적 소견에 의존하기보다는 병력과 단순 흉부방사선촬영 및 폐기능 검사 등의 방법을 이용하며² 이런 방법을 통해 중증의 폐기종은 진단 가능하지만 경증의 폐기종은 임상적으로 진단하기가 어려운 경우가 많다.

이런 이유로 근래들어 폐기종을 진단하는 여러 방법들이 제시되고 있는데 이 중에서 흉부 전산화 단층촬영이 폐구조를 잘 반영하여 병리조직학적 중증도 판정에 도움이 되고 있다³⁻⁴. 특히 고해상도 전산화 촬영 (high resolution computed tomography, HRCT)은 기강의 확장 정도를 폐기종 점수 (emphysema score)화 하여 폐기종을 진단하는 방법으로 병리학적 중증도 판정과 상관성이 높은 것으로 알려져 있다⁵⁻⁶.

한편, 폐기종의 주증상은 운동성 호흡곤란이므로 폐기종에 대한 임상적 평가는 운동능력의 감소를 측정하는 것이 타당하다고 알려져 있다⁷. 그러나 임상에서는 폐기종의 중증도 판정을 안정시 폐기능 검사에 의존하는 경우가 보통인데 이 경우 초기 폐기종은 정상으로 판정할 수 있으며 환자의 노력 여하에 따라 결과가 다르게 나올 수 있는 문제가 있다. 최근 폐기종의 병리학적 중증도 판정과 상관성이 높다고 알려져 있는 고

해상도 전산화 촬영에 의한 폐기종 점수를 폐기종의 중증도 판정에 이용하려는 연구들이 진행되고 있다. 그러나 운동부하 폐기능검사 지표들과 폐기종 점수와 상관성 여부에 대한 연구는 드문 실정이다⁸.

이에 본 연구에서는 폐기종 환자에 대해 고해상도 전산화 촬영, 안정시 폐기능 검사, 그리고 점진적인 운동 부하 폐기능 검사 (incremental cycle ergometer)를 시행하여 폐기종의 중증도 판정에 있어서 고해상도 전산화 촬영과 안정시 폐기능 검사 및 운동부하 폐기능 검사간에 상호 관련성이 있는지 조사하여 보았다.

연구대상 및 방법

1. 대 상

1995년 8월부터 1996년 6월까지 호흡곤란을 주소로 단국대 병원에 입원한 환자들 중에서 과거력, 현병력, 안정시 폐기능 검사, 단순 흉부방사선촬영을 통해 폐기종이라고 진단되었고 폐기종 이외의 동반질환이 없으며, 임상적으로 안정된 14명의 환자들을 대상으로 하였다. 모든 환자는 흡연력이 있는 남자로 평균연령은 60.6 ± 10.3 세 (50-70세) 이었다.

2. 방 법

1) 안정시 폐기능 검사

안정시 폐기능 검사는 14명의 환자 모두에서 폐활량 및 환기 기능 검사법 (forced expiratory flow vol-

ume curve), 헬륨 희석법에 의한 폐용적 측정 및 일산화 탄소(CO)의 단회 호흡법(single breath technique)에 의한 폐확산능(DLco)을 측정하였으며 12명의 환자에서 요골 동맥 천자에 의해 동맥혈의 가스 분석(ABGA)을 시행하였다.

2) 운동부하 폐기능 검사

운동부하 폐기능 검사는 Jaeger사의 bicycle ergometer를 이용하여 폐환기능과 호기가스의 산소 및 이산화 탄소의 농도를 측정하였다. 심전도 모니터와 맥박 산소 포화측정기(pulse oxymeter)를 이용한 산소포화도 측정을 동시에 시행하였고 운동시작 후 매분마다 혈압을 측정하였다. 운동부하검사는 기초자료를 얻기 위해 1분간 안정한 후 운동부하없이 1분간 공회전 운동을 하고 이후로는 분당 10 watt씩 부하량을 증가시키면서 환자 자신이 인내할 수 있는 최대 한도까지 운동을 지속하도록 유도하였으며, 심한 호흡곤란, 흉통, 심전도상 변화, 혈압 하강이나 맥박의 최대예상맥박수 도달 등을 운동의 중지 기점으로 삼았다. 운동부하 검사상의 각종 폐기능 지표 산출의 기준 및 공식은 다음과 같다. 혐기성 역치(anaerobic threshold, AT)는 Beaver 등⁹이 창안한 전산화된 회귀분석(regression analysis)을 이용한 V-slope법으로 구하였다. 혐기성 역치는 산소 섭취량으로 표시되며 상대적 비교를 위해 최대 산소섭취량의 기대치에 대한 백분율도 구했는데, 최대 산소섭취량의 기대치는 남자의 경우 $[5.41 \times \text{신장(cm)} - 0.025 \times \text{나이} - 5.66]$ (L/min)의 공식으로 계산하였다¹⁰. 호흡 예비율(breathing reserve, BR)은 최대 수의 환기량(maximal voluntary ventilation, MVV)에서 운동시의 최대 환기량을 뺀 값을 최대 수의 환기량에 대한 백분율로, 심박수 예비율(heart rate reserve, HRR)은 예상 최대 심박수에서 운동시의 최대 심박수를 뺀 값으로 예상 최대 심박수에 대한 백분율로 구하였는데 예상 최대 심박수는 $[210 - 0.65 \times \text{나이}]$ 의 공식에서 계산하였다¹⁰. 최대수의 환기량은 1초시 호기량에 35를 곱한 값으로, oxygen pulse는 산소 섭취량(VO_2)을 심박

수로 나눈값(L/min/beat)으로 구하였다¹¹.

3) 고해상도 전산화 촬영(HRCT)

흉부 전산화 촬영은 GE highlight advantage(General electric medical system, Milwaukee, Wisconsin)를 이용하여 조영 증강없이 최대 흡기시에 1.5 mm 시준(collimation), 10 mm 간격으로 폐전체를 스캔하였고 촬영조건은 140 KVp, 170 mAs로 2초간 스캔하여 고공간해상도 재구성연산법(high spatial frequency reconstruction algorithm)을 사용하였다. 폐기종의 정량적 분석은 환자마다 모든 스캔에서 density mask program을 이용하여 -400 HU를 기준으로 한 총폐면적과 -900 HU를 기준으로 한 폐기종 면적을 각각 구하여 백분율로 환산하여 폐기종 점수를 구하였다^{12,13}.

$$\text{emphysema score} = \frac{\text{emphysema area}}{\text{total lung area}} \times 100(\%)$$

3. 유의성의 검정

통계학적 분석은 statistical package for social science(SPSS) software program을 이용하여 Pearson 상관관계수 분석법으로 검정하였고, p값이 0.05미만이면 통계적 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

연구 결과

1. 안정시 폐기능 검사

대상 환자들의 안정시 폐기능 검사 소견은 FVC(% pred)는 $91.3 \pm 20.2\%$ 였으며 모든 환자에서 FEV₁/FVC가 70% 이하로 폐쇄성 변화가 있었으며 DLco(% pred)도 $62.7 \pm 27.3\%$ 로 정상보다 감소되어 확산능력의 장애가 있었다. 동맥혈 가스 검사상 동맥혈 산소분압은 73.2 ± 12.3 mmHg로 저산소혈증의 소견을 보였다(Table 1).

Table 1. Clinical and pulmonary function parameters in the 14 patient with emphysema.

| Patient No. | FVC | FEV ₁ | FEV ₁ /FVC | FEV ₂₅₋₇₅ | RV-He | TLC | RV/TLC | DL _{co} | PaCO ₂ | PaO ₂ | | | | |
|-------------|------|------------------|-----------------------|----------------------|-------|------|--------|------------------|-------------------|------------------|------|------|------|-------|
| | l | % | % | l/s | l | l | % | ml/min/mmHg | mmHg | mmHg | | | | |
| 1 | 3.4 | 82 | 2.4 | 68.8 | 72.1 | 1.8 | 39.5 | 1.2 | 82.5 | 4.2 | 74 | 29.3 | 29.1 | 99.1 |
| 2 | 3.2 | 95 | 2 | 72.8 | 60.7 | 0.98 | 31 | 3.5 | 153 | 6.4 | 108 | 54.6 | 21.7 | 91.8 |
| 3 | 2.7 | 90 | 1.2 | 50.2 | 44.8 | 0.45 | 14.5 | 2.9 | 137 | 5.3 | 102 | 54.3 | 12.4 | 58.4 |
| 4 | 3.8 | 87 | 2.3 | 66.6 | 61.6 | 1.3 | 33.3 | 3.3 | 148 | 6.8 | 99 | 48 | 23.8 | 80.7 |
| 5 | 4.2 | 95 | 2.4 | 67.5 | 57.4 | 1.1 | 29 | 2.2 | 100 | 6.5 | 95 | 33.4 | 19.7 | 65.6 |
| 6 | 3.3 | 101 | 1.6 | 63.7 | 49.3 | 0.68 | 22.9 | 2.9 | 123 | 6.4 | 107 | 46 | 24.1 | 105 |
| 7 | 3.8 | 104 | 1.9 | 66.2 | 51 | 0.72 | 21.2 | 2.7 | 122 | 6.5 | 108 | 41.2 | 24.1 | 96 |
| 8 | 3.5 | 91 | 1.6 | 50.2 | 44.4 | 0.57 | 16.1 | 2.8 | 128 | 6.3 | 99 | 44.7 | 17.2 | 64.4 |
| 9 | 2.0 | 64 | 1.1 | 45.2 | 56.4 | 0.74 | 24.3 | 1.5 | 69.1 | 3.7 | 67 | 41.2 | 10.4 | 47.5 |
| 10 | 3.7 | 132 | 2.6 | 116 | 69.9 | 1.7 | 57.1 | 2.2 | 99.2 | 5.5 | 107 | 39.3 | 4.1 | 20.1 |
| 11 | 1.8 | 42 | 0.8 | 24.4 | 44.9 | 0.42 | 12.4 | 2.6 | 102 | 4.5 | 63 | 57.8 | 8.8 | 31.3 |
| 12 | 2.9 | 88 | 1.3 | 51 | 45.1 | 0.6 | 20.4 | 3.4 | 139 | 6.5 | 108 | 51.5 | 9.39 | 40.8 |
| 13 | 3.5 | 119 | 2 | 85.1 | 55.6 | 0.98 | 34.8 | 3.9 | 167 | 7.3 | 131 | 54.1 | 4.12 | 19.2 |
| 14 | 3.2 | 83 | 1.3 | 44.1 | 40.8 | 0.41 | 19.1 | 2.3 | 90.9 | 5.7 | 84 | 40.9 | 13.8 | 52.7 |
| Mean | 3.4 | 91.3 | 2.4 | 65.2 | 55.8 | 1.0 | 31.7 | 2.8 | 121.8 | 5.9 | 98.2 | 46.0 | 15.9 | 62.7 |
| SD | ±0.6 | ±20.2 | ±0.6 | ±23.9 | ±12.9 | ±0.8 | ±24.8 | ±0.9 | ±32.9 | ±1.1 | ±19 | ±8.4 | ±7.5 | ±27.3 |

FVC ; forced vital capacity, FEV₁ ; forced expiratory volume in one second
 FEV_{25-75%} ; forced expiratory flow during the middle half of the FVC, RV ; residual volume
 TLC ; total lung capacity, DL_{co} ; diffusion capacity of the lungs for carbon monoxide.

Table 2. HRCT emphysema score and exercise test results

| Patient | Wr max | VO ₂ max | VO ₂ /kg max | VCO ₂ max | AT/VO ₂ | maximum O ₂ pulse | VD/VT | BR | HRR | SaO ₂ max | Δ SaO ₂ | CT score | | |
|---------|--------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|------------------------------|---------|--------|-------|----------------------|--------------------|----------|-------|--------|
| No | W | ml/min | % ml/min/kg | ml/min | % ml/min | ml/beat | % | % | % | % | % | % | | |
| 1 | 110 | 1471 | 65.7 | 22.6 | 51.4 | 1415 | 1022 | 45.7 | 23 | 52.5 | 30.9 | 94 | 1 | 10.5 |
| 2 | 105 | 992 | 67.8 | 16.8 | 66.1 | 1101 | 784 | 53.6 | 27 | 32.3 | 25.0 | 96 | 0 | 21.2 |
| 3 | 80 | 1129 | 85.2 | 22.6 | 83.7 | 1251 | 855 | 72.1 | 25 | 15.6 | 39.4 | 96 | 1 | 23.7 |
| 4 | 160 | 1829 | 84.5 | 20.4 | 63.8 | 1999 | 1131 | 52.3 | 26 | 28.3 | 4.0 | 89 | 6 | 25.5 |
| 5 | 90 | 1265 | 54.7 | 20.4 | 63.8 | 1490 | 927 | 40.1 | 24 | 37.5 | 19.3 | 97 | -1 | 27.3 |
| 6 | 70 | 1213 | 92.5 | 19.9 | 86.2 | 1225 | 687 | 52.4 | 36 | 12.6 | 17.5 | 95 | 1 | 34.2 |
| 7 | 70 | 1029 | 48.9 | 15.4 | 54.8 | 943 | 865 | 49.5 | 31 | 48.0 | 31.9 | 96 | 0 | 35.4 |
| 8 | 70 | 891 | 41.9 | 12.9 | 43.2 | 1084 | 691 | 32.5 | 32 | 40.2 | 49.7 | 97 | 0 | 36.9 |
| 9 | 50 | 516 | 43.2 | 10.5 | 41.3 | 531 | 415 | 34.8 | 26 | 61.6 | 23.8 | 89 | 0 | 42.0 |
| 10 | 35 | 455 | 52.1 | 10.8 | 43.6 | 595 | 239 | 26.9 | 36 | 39.0 | 32.1 | 84 | 10 | 46.0 |
| 11 | 50 | 653 | 31.7 | 11.7 | 50.2 | 750 | 542 | 26.3 | 31 | 65.3 | 20.4 | 93 | -10 | 49.8 |
| 12 | 40 | 561 | 40.8 | 12.5 | 55.3 | 615 | 398 | 28.9 | 39 | 46.0 | 21.2 | 93 | 1 | 53.5 |
| 13 | 65 | 972 | 86.9 | 19.4 | 88.1 | 1086 | 687 | 61.5 | 33 | 27 | 17.1 | 76 | 15 | 55.4 |
| 14 | 50 | 828 | 46.9 | 10.8 | 49.1 | 733 | 647 | 36.7 | 38 | 50.7 | 25.6 | 93 | 4 | 62.0 |
| Mean | 110.0 | 967.8 | 61.6 | 15.8 | 60.0 | 1033.5 | 705.0 | 43.6 | 30.9 | 30.9 | 45.2 | 92.3 | 1.9 | 37.4 |
| SD | ± 32.2 | ± 366.5 | ± 20.9 | ± 4.5 | ± 16 | ± 383.4 | ± 232.7 | ± 14.1 | ± 2.3 | ± 5.5 | ± 28.8 | ± 5.6 | ± 5.4 | ± 14.9 |

Wr max ; maximal power, VO₂ max ; maximal O₂ consumption, VCO₂ max ; maximal carbon dioxide output
 VD/VT ; physiologic dead space/vital capacity, Δ SaO₂ ; rest SaO₂-maximum exercise SaO₂

Table 3. HRCT density mask emphysema score results

| Emphysema score | n |
|-----------------|----|
| <10 % | 0 |
| 10-19.9 % | 1 |
| 20-29.9 % | 4 |
| 30-39.9 % | 3 |
| 40-49.9 % | 3 |
| 50-59.9 % | 2 |
| >60 % | 1 |
| Total | 14 |

Table 4. Correlations of HRCT emphysema score and Resting PFT parameters

| | correlation coefficient (r) | p-value |
|-----------------------|-----------------------------|---------|
| FVC % | 0.0051 | 0.986 |
| FEV ₁ % | -0.4531 | 0.104 |
| FEV ₁ /FVC | -0.5148 | 0.060 |
| FEF _{25-75%} | -0.4621 | 0.096 |
| RV % | -0.0194 | 0.947 |
| TLC % | -0.0783 | 0.790 |
| RV/TLC % | -0.2970 | 0.302 |
| DLCO % | -0.7225 | 0.004 |
| PaO ₂ | -0.6580 | 0.028 |
| PaCO ₂ | -0.0334 | 0.922 |

FVC ; forced vital capacity, FEV₁ ; forced expiratory volume in one second

FEF_{25-75%} ; forced expiratory flow during the middle half of the FVC,

RV ; residual volum, TLC ; total lung capacity, DLCO ; diffusion capacity of the lungs for carbon monoxide.

2. 폐기종 점수와 운동 부하 폐기능 검사

운동부하 폐기능 검사에서 모든 환자들이 호흡곤란으로 운동을 중단하였으며 대상 환자들의 HRCT 폐기종 점수와 운동부하 폐기능 검사의 결과는 Table 2.

Table 5. Correlations of HRCT emphysema score and Exercise testing parameters

| | correlation coefficient (r) | p-value |
|---------------------------------|-----------------------------|---------|
| VO ₂ max | -0.6802 | 0.007 |
| VO ₂ /kg max | -0.7103 | 0.004 |
| VO ₂ max | -0.6800 | 0.007 |
| WR max | -0.7382 | 0.003 |
| AT | -0.6938 | 0.006 |
| BR | -0.1030 | 0.726 |
| HBR | -0.1264 | 0.667 |
| max O ₂ pulse | -0.7282 | 0.003 |
| VD/VT max | 0.7976 | 0.001 |
| max O ₂ desaturation | 0.2179 | 0.454 |

Wr max ; maximal power, VO₂ max ; maximal O₂ consumption, VCO₂ max ; maximal carbon dioxide output, AT : anaerobic threshold, BR : breath reserve, HRR : heart rate reserve, VD/VT ; physiologic dead space / vital capacity, Δ SaO₂ ; rest SaO₂-maximum exercise SaO₂

와 같았다. 최대운동부하(Wrmax)는 110.0 ± 32.2 W, 최대산소섭취량(VO_{2max})은 61.6 ± 20.9%, 혐기성 역치(AT/VO₂)는 43.6 ± 14.1% 였으며 생리적 사강비율(VD/VT)은 30.9 ± 5.5 이었다. 폐기종 점수는 10.5%에서 62%의 분포를 보였으며 10-29.9% 사이는 5명, 30-59.9% 사이는 8명, 60% 이상은 1명이었다(Table 3).

3. 폐기종 점수와 안정시 폐기능 검사 지표간의 상관성

폐기종 점수와 안정시 폐기능 검사의 지표중 폐활량과 환기지표(FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, FEF_{25-75%}) 및 폐용적(RV, TLC, RV/TLC), 동맥혈 이산화 탄소 분압(PaCO₂)간에는 유의한 상관관계가 없었다. 안정시 동맥혈 산소 분압(PaO₂)(r=-0.66, p=0.004)과 폐확산능(DLco)(r=-0.75, p=0.028)간에서만

유의한 상관관계가 있었다(Table 4).

4. 폐기종 점수와 운동부하 폐기능 검사지표간의 상관성

폐기종 점수와 운동부하 폐기능 검사 지표사이의 상관성은 최대 산소섭취량(VO_{2max})($r=-0.68$, $p=0.007$), 혐기성 역치(AT)($r=-0.69$, $p=0.006$), 최대 운동부하(WR_{max})($r=-0.74$, $p=0.003$), 최대 운동시 O_2 -pulse($r=-0.73$, $p=0.003$), 최대 운동시의 생리적 사강 비율(VD/VT_{max})($r=0.80$, $p=0.001$) 등 폐기종 환자의 운동능력을 반영하는 중요 지표들과는 매우 높은 유의성($p<0.01$)을 나타내었다. 그러나 폐기종 점수와 호흡예비율(BR), 심박수 예비율(HBR), 산소포화도(SaO_2) 간에서는 유의한 상관성이 없었다(Table 5).

고 찰

폐기종은 기강의 비정상적인 확장과 폐포벽의 파괴로 탄성반도압력(elastic recoil pressure)이 감소하여 호기시 비가역적인 기도폐쇄를 일으키는 질환이다. 이러한 폐기종의 중증도는 다양한 병리학적 등급 체계(grading system)를 이용하여 판단할 수 있다¹⁴. 그러나 폐기종이 병리학적으로 정의되는 질병이기는 하지만 폐기종을 진단하기 위해서 폐조직을 얻는 경우는 거의 없으며 임상적, 기능적, 방사선적인 기준에 근거를 두고 진단하고 중증도를 판단하게 된다.

폐기종은 단순흉부방사선 촬영상 과팽창(overinflation), 폐혈관 음영의 변화, 폐동맥 고혈압으로 인한 폐문주위의 폐음영의 증가, 우심비대 등의 소견이 있을 때 진단할 수 있다. 그러나 중증도 또는 중증의 심한 폐기종에 있어서는 단순 흉부방사선촬영만으로 진단이 가능하나 경증의 폐기종에 있어서는 진단이 어렵고 부정확한 경우가 많은 것으로 알려져 있다^{15,16}. 이런 이유로 최근에는 폐기종의 새로운 진단 방법으로 흉부 전산화 촬영(CT)이 많이 이용되고 있다. 병리학적으로 기강의 불규칙한 확장으로 인해 폐실질의 비

정상적인 구멍(hole)으로 보이는 부분이 전산화 촬영 상에서 무혈관 영역(avascular area)과 비정상적인 low attenuation 영역으로 나타나며¹⁷ 더우기 일반 전산화 촬영보다 더 세밀하게 collimation하는 고해상도 전산화 촬영을 하게 되면 비정상적으로 attenuation이 감소되어 있는 영역을 더욱 더 잘 구별할 수 있다⁴. 이렇게 고해상도 전산화 촬영을 하여 중증도를 판정한 결과와 폐조직을 얻어 병리학적으로 중증도를 판정하여 비교해 보았을 때 상관성이 높은 것으로 밝혀져 현재는 고해상도 전산화 촬영이 경증의 폐기종까지도 발견할 수 있는 가장 민감한 방사선학적 검사로 알려져 있다^{18,19}.

흉부 전산화 촬영으로 폐기종의 중증도를 판정하는 방법으로는 폐기종의 진단기준이 되는 low attenuation 영역을 눈으로 평가하여 폐기종의 범위를 결정하는 방법이 있는데 이러한 “visual assessment”를 통해 폐기종의 중증도를 판정한 것이 병리학적인 중증도와 상관성이 높다고 밝혀진 보고가 많다^{2,20}. 그러나 이 visual assessment는 관찰자의 경험, window level, window width에 영향을 많이 받고 한 관찰자내에서, 또 관찰자들간의 변수(intraobserver and interobserver variability)가 생길 가능성이 많다. 그래서 관찰자내와 관찰자간의 변수가 없고 low attenuation 영역을 가진 voxel 들의 정확한 평가를 위한 standard software CT program인 density mask를 사용하여 객관적으로 폐기종의 중증도를 판정하는 경우가 많아지고 있다¹²⁻¹³. 보통 폐기종은 -900에서 -1000 hounsfield units(HU) 범위의 low attenuation을 가지기 때문에¹⁷ density mask program을 통해 원하는 attenuation 범위에서 폐기종 변화를 보이는 low attenuation voxel 들을 밝게 두드러지게 하여(highlighting) 그 면적을 computer로 측정하여 폐기종의 존재여부와 범위를 객관적으로 정확하게 알 수 있게 된다. 본 연구에서도 GE highlight를 이용하여 환자마다 모든 스캔에서 Density mask program으로 -400HU를 기준으로 한 전폐면적 및 -900HU를 기준으로 한

폐기종 면적을 구하여 폐기종 점수를 객관적으로 얻었다.

한편 폐기종을 진단하는데 있어서 기능적인 진단 기준은 탄성반도압력의 감소로 인한 호기류속도의 감소(FEV_1 , $FEF_{25-75\%}$), 기능적 잔기용량(FRC)과 잔기용량(RV)의 현저한 증가 및 총폐용적(TLC)의 증가이다. 또한 폐실질의 파괴에 따른 가스교환면적의 감소로 인해 확산능이 감소하게 된다. 그러므로 폐기능 검사는 폐기종의 진단 및 예후판정, 치료효과 판정에 많은 도움을 준다²¹. 그러나 이러한 폐기능 검사의 결과 들은 경증의 폐기종 환자들에서는 민감도가 낮으며²² 또한 폐기종 이외의 다른 많은 질환들에 의해서도 영향을 받을 수 있기 때문에 안정시 폐기능 검사만으로는 폐기종을 확진하는데에는 민감도가 떨어진다는 보고도 있다²³. 실제로 폐기종환자의 30%에서 기능적 장애가 나타나지 않으며 가스확산장애를 나타내는 DL_{CO} 가 spirometry의 지표보다 폐기종을 진단하는데 더 민감하기는 하나 비특이적이며 헤모글로빈의 양, 혈액량에 의해서도 영향을 받을 수 있고 침윤성 폐실질 질환이나 폐혈관 질환에서도 감소될 수 있어 특이도가 떨어지는 단점이 있으며 FEV_1 이 1L이하인 중증의 폐기종 환자에 있어서는 환기가 불균형적으로 일어나고 생리적 사강이 증가되어 확산능 측정이 부정확 할 수 있다²⁴. 폐기능검사의 여러 지표들과 해부학적인 증등도를 반영할 수 있는 정량적인 전산화 단층촬영 결과들과의 상관관계를 조사한 보고들에 의하면 기류폐쇄의 지표인 FEV_1 , FVC와의 상관관계에 대해서는 논란이 있었으며 단지 DL_{CO} 만이 상관관계가 있었다^{1, 12, 25}. 본 연구에서의 결과는 안정시 폐기능 검사 지표들 중에서 폐활량 및 환기 기능 지표(FVC, FEV_1 , FEV_1/FVC , $FEF_{25-75\%}$) 및 폐용적(RV, TLC, RV/TLC)과 폐기종 점수 사이에는 유의한 상관관계는 관찰할 수 없었고 DL_{CO} 에서만 유의한 상관성이 관찰되어 다른 보고들과 유사한 결과를 나타내었다.

이렇게 안정시 폐기능 검사는 HRCT를 사용하여

측정한 병리해부학적인 증등도와 상관성이 높지 않고, 상관성이 높다고 알려져 있는 DL_{CO} 도 폐기종 환자의 일부에서는 비특이적이고 부정확하다. 또한 폐기종 환자 들은 안정시에는 호흡곤란이 없더라도 운동시에는 정상 건강인과는 달리 기도 폐쇄에 의한 환기능의 저하가 있고 환기 관류의 부적합으로 인해 가스교환이 비효율적이기 때문에 운동능의 저하를 초래하게 된다. 안정시의 폐기능 검사가 환기능의 정도를 평가하는데는 크게 도움을 주지만 운동시의 호흡곤란의 예측에는 한계가 있다. 현재 대개의 경우 폐기종의 증등도 판정을 안정시 폐기능 검사에 의존하지만 폐기종의 임상적 평가는 운동능력의 감소를 측정하는 것이 타당하므로 운동부하 폐기능 검사를 실시하여 평가하여야 할 것이다.

만성기도폐색환자에 있어서 운동시 호흡곤란은 환기능 저하가 주된 원인이지만 그 외에도 호흡근의 능률저하와 피로, 사강의 증가, 확산능의 저하, 영양장애, 심장기능의 저하 등이 관여한다고 알려져 있다²⁶⁻²⁷. 본 연구에서의 폐기종 환자는 유 등²⁸, 이 등²⁹의 보고에서와 마찬가지로 운동능력의 저하를 보였는데 최대 산소섭취량(VO_{2max})이 967.8 ± 366.5 ml/min로 나이에 따른 예상 최대 산소섭취량의 $61.6 \pm 20.97\%$ 이었고 심기능을 반영하는 지표인 최대운동시 O_2 pulse도 8.1 ± 2.3 ml/beat 로 낮은 수치를 보였으며 최대운동시 이산화탄소 배출량(VCO_{2max})도 1.0 ± 0.3 L/min으로 낮아져 있었다. 또한 최대운동시의 폐활량에 대한 사강의 비율(physiologic dead space/tidal volume ratio, VD/VT)이 $30.9 \pm 28.8\%$ 로 높은 수치를 보였다. 운동강도가 증가하면서 혐기성(anaerobic) 대사발생으로 유산의 생산이 증가 되는점을 혐기성 역치(anaerobic threshold)라 한다. 정상인에서 혐기성 역치때의 산소섭취량은 예상 최대 산소섭취량의 40% 이상이며 심혈관질환이 동반되었을 때 감소하는 것으로 알려져 있다³⁰. 폐기종 초기에는 심혈관 기능에 장애가 없으나 중증의 폐기종에서는 폐성심이나 폐성 고혈압이 동반되어 심혈관 기능에 장애를 가

져올 수 있다. 본 연구에서도 전체적인 혐기성 역치가 예상 최대 산소섭취량의 $43.6 \pm 14.1\%$ 로 정상범위를 나타내어 심혈관 질환에 의한 운동능력의 저하가 아님을 나타내 주지만 폐기종 점수가 높은 중증의 폐기종 환자에서는 혐기성 역치가 감소하는 경향을 보였다.

이런 폐기종에 의한 생리학적 장애를 잘 반영하는 운동부하 폐기능검사 지표들과 병리학적인 중증도를 잘 반영하는 HRCT 폐기종 점수와의 상관성 여부에 대한 연구가 최근에 진행되고 있는데 Wakayama 등⁸의 보고에 의하면 최대 운동부하(WRmax), 최대산소섭취량(VO_{2max})과 HRCT 폐기종 점수가 매우 높은 상관성을 보였다. 본 연구에서는 폐기종 환자의 운동능력을 잘 반영하는 중요 지표인 최대 산소섭취량($r = -0.68$), 혐기성 역치($r = -0.690$), 최대운동부하($r = -0.74$), 최대운동시 O_2 pulse($r = -0.73$), 최대운동시의 생리적 사강비율($r = 0.80$) 등이 매우 높은 유의성($p < 0.01$)을 나타내었다. 또한 병리학적인 중증도와 저산소혈증과의 상관성 여부를 알기 위해 안정시의 동맥내 산소분압(PaO_2)에 대한 HRCT 폐기종 점수의 관계를 비교하였으며 HRCT 폐기종 점수와 유의한 상관성($r = -0.66$)이 관찰되었다. 그러나 안정시 뿐만 아니라 운동 유발성 저산소혈증과의 상관성을 확인하기 위해서는 운동부하 직접적인 동맥혈 채취로 최대운동시의 산소분압을 측정하고 단순히 안정시와의 산소분압의 차만을 구할 것이 아니라 환자의 운동부하강도에 따른 산소분압의 변화를 객관적으로 알기 위해 $\Delta PaO_2 / \Delta VO_2$ 지표를 측정하여⁹ 상관성 여부를 조사해 볼 필요성이 있다고 생각된다.

결론적으로 폐기종환자에서 해부학적인 변화의 중증도를 잘 반영하는 HRCT 폐기종 점수와 운동능력의 상태를 알 수 있는 운동부하 폐기능검사 사이에는 상관성이 높으며 운동부하 폐기능 검사가 안정시 폐기능 검사보다 폐기종 환자의 생리학적 장애를 평가하여 임상적인 중증도를 예측하는데 더 우수하다고 할 수 있다.

요 약

배 경 :

폐기종의 중증도 판정에 있어서 병리학적 기준은 기강(air space)의 확장 정도에 있으며, 이는 고해상도 전산화 촬영(high resolution computed tomography, HRCT)에 의해 결정되는 폐기종 점수(emphysema scoring)와 좋은 상관성을 보인다는 것은 주지의 사실이다. 한편 폐기종의 주증상은 운동성 호흡곤란이므로 폐기종에 대한 임상적 평가는 운동능력의 감소를 측정하는 것이 타당하다고 알려져 있다. 그러나 대개의 경우 폐기종의 중증도 판정은 안정시 폐기능 검사에 의존하는 경우가 흔하며, 병리학적 중증도 판정과 상관성이 높다고 알려져 있는 고해상도 전산화 촬영에 의한 폐기종 점수와 운동부하 폐기능검사 지표들과의 상관성 여부에 대한 연구는 드문 실정이다. 이에 본 연구에서는 폐기종의 중증도 판정에 있어서 HRCT와 안정시 폐기능 검사 및 운동부하 폐기능 검사간에 상호 관련성을 확인하여 보았다.

방 법 :

평균 연령 60.6 ± 10.3 세인 14명의 폐기종 환자를 대상으로 HRCT, 안정시 폐기능 검사(forced expiratory flow volume curve, lung volumes by He dilution method, DLco, ABGA), 그리고 점진적운동부하폐기능검사(incremental cycle ergometer)를 시행하였으며 HRCT는 GE highlight를 이용하여 조영증강 없이 최대흡기시에 1.5mm collimation, 10mm 간격으로 폐전체를 스캔하였고, 환자마다 모든 스캔에서 density mask를 이용하여 -400 HU를 기준으로 한 총폐면적과 -900 HU를 기준으로 한 폐기종 면적을 각각 구하여 백분율로 환산하여 폐기종 점수를 구하였다.

결 과 :

평균 폐기종 점수는 $37.4 \pm 14.9\%$ 이었다. 폐기종 점수와 안정시 폐기능 검사의 DLco($r = -0.75$)와 PaO_2 ($r = -0.66$) 사이에서만 유의한($p < 0.05$) 상

관성이 관찰되었다. 반면 폐기종 점수와 운동부하 폐기능 지표들간의 상관성은 최대 산소섭취량($r = -0.68$), 혐기성 역치(V-slope method, $r = -0.690$), 최대운동부하($r = -0.74$), 최대운동시 O_2 pulse($r = -0.73$), 최대운동시의 생리적 사강비율($r = 0.80$) 등과 높은 유의성($p < 0.01$)을 나타내었다. 그러나 호흡예비율과 심박수 예비율간에서는 유의한 상관성이 없었고, pulse oxymeter로 측정 한 산소포화도와 의 상관성도 유의하지 않았다.

결 론 :

이상의 결과에서 폐기종의 병리학적 중증도를 잘 반영한다고 알려진 HRCT 폐기종 점수는 폐기종에 의한 생리학적 장애를 잘 반영하는 운동부하 폐기능 검사의 주요 지표들과 유의한 상관성이 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Sanider GL, Kleinerman J, Thurlbeck WM, Bengali ZH. The definition of emphysema. Report of a national heart, lung and blood institute, Division of lung disease workshop. Am Rev Respir Dis 1985;132:182-5.
2. Turlbeck WM, Simon G. Radiographic appearance of the chest in emphysema. Am J Rardiol 1978;130:429-40.
3. Kuwano K, Matsuba K., Ikeda T, Murakami J, Araki A, Nishitani H. et al. The diagnosis of mild emphysema : Correlation of computed tomography and pathology scores. Am Rev Respir Dis 1990;141:169-78.
4. Bergin C, Muller N, Nichols DM, Lillington G, Hogg JC, Mullen B. et al. The diagnosis of emphysema : a computed tomographic pathologic correlation. Am Rev Respir Dis 1986;133:541-6.
5. Murata K, Itoh H, Todo G, Kanaoka M, Noma S, Itoh T. et al. Centrilobular lesions of the lung demonstration by high resolution CT and pathologic correlation. Radiology 1986;161:641-645.
6. Webb WR, Stein MG, Finkbeiner WE, Im JG, Lynch D, Gamsu G. Normal and diseased isolated lung : high resolution CT. Radiology 1988;166: 81-7.
7. Baebera JA, Roca J, Ramirez J, Wager PD, Ussetti P, Rodriguez R. Gas exchange during exercise in mild chronic obstruction. Correlation with lung structure. Am Rev Respir Dis 1991; 144:520-5.
8. Wakayama K, Kurihara N, Fujimoto S, Hata M, Takeda T. Relationship between exercise capacity and the severity of emphysema as determined by high resolution CT. Eur Respir J. 1993;6:1362-7.
9. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J appl physiol 1986;60:2020-7.
10. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chypchar T, McCarthy N. Normal standards for incremental progressive cycle ergometer test. Am Rev Respir Dis 1985;131:700-8.
11. Jones NL. Clinical exercise testing. 3rd Ed. p1, Philadelphia : WB Saunders Company;1988.
12. Kinsella M, Muller NL, Abbound RT. Morrison NJ, DyBuncio A. Quantitation of emphysema by computed tomography using density mask program and correlation with pulmonary function test. Chest 1990;97:315-21.
13. Muller NL, Staples CA, Miller RR, Abbound RT. "Density mask" on objective method to quantitate emphysema using computed tomography. Chest 1988;94:782-7.
14. Thurlbeck WM, Dunnill MS, Hartung W, Heard BF, Heppleson AG, Ryder RC. A comparison of three methods of measuring emphysema. Hum Pathol 1970;1:215-26.

15. Nicklaus TM, Stowell DW, Christiansen WR, Renzetti AD. The accuracy of the roentgenologic diagnosis of chronic pulmonary emphysema. *Am Rev Respir Dis* 1966;93:889-99.
16. Burki NK. Roentgenologic diagnosis of emphysema ; accurate or not? *Chest* 1989;95:1178-9
17. Hayhurst MD, MacNee W, Flenley DC, Wightman AJA, McLean A, Lamb D. et al. Diagnosis of pulmonary emphysema by computed tomography. *Lancet* 1984;2:320-2.
18. Murata K, Khan A, Herman PG. Pulmonary parenchymal disease : evaluation with high resolution CT. *Radiology* 1989;170:629-35.
19. Gevenois PA, Yernault JC. Can computed tomography quantify pulmonary emphysema? *Eur Respir J* 1995;8:843-8.
20. Foster WL Jr, Pratt PC, Roggli VL, Godwin JD, Halvorsen RA, Putman CE. Centrilobular emphysema ; CT-pathologic correlation. *Radiology* 1986;159:27-32.
21. Boushey SF, Aboumrad MH, North LB, Helgason AH. Lung recoil pressure, airway resistance and forced flows related to morphologic emphysema. *Am Rev Respir Dis* 1971;104:551-61.
22. Pare PD, Brooks LA, Bates J, Lawson LM, Nelems JM, Wright JL et al. Exponential analysis of the lung pressure-volume curve ; a predictor of pulmonary emphysema. *Am Rev Respir Dis* 1982;126:54-61.
23. Gould GA, Redpath AT, Ryan M, Warren PM, Best JJ, Flenley DC et al. Lung CT density correlates with measurement of airflow limitation and the diffusing capacity. *Eur Respir J* 1991;4:141-6.
24. Graham BL, Mink JT, Cotton DJ. Overestimation of the single breath carbon monoxide diffusing capacity in patients with airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1984;129:403-8.
25. Biernacki W, Gould GA, Whyte KF, Flenley DC. Pulmonary hemodynamics, gas exchange and the severity of emphysema as assessed by quantitative CT scan in chronic bronchitis and emphysema. *Am Rev Respir Dis* 1989;139:1509-15.
26. Spiro SG. Exercise testing in clinical medicine. *Br J Dis Chest* 1977;71:145-72.
27. Loke J, Mahler DA, Man SF, Wiedemann HP, Matthay RA. Exercise impairment in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Chest Med* 1984;5:121-43.
28. 유 빈, 김영환, 한성구, 심영수, 김건열, 한용철. 만성폐색성 폐질환 환자에서 운동부하 폐기능 검사를 이용한 운동능력의 평가. *대한 내과 학회지* 1989;36:348-355.
29. 이용철, 김원, 김석태, 이홍범, 김현중, 이계경, 송현모, 이양근. 만성 폐색성 폐질환, 기관지 천식 환자에서의 운동부하 폐기능 검사. *대한 내과 학회지* 1996;50:832-839.
30. Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis* 1984;129:S49-55.
31. Kurihara N, Fujimoto S, Terakawa K, Yamamoto M, Takeda T. Prediction of PaO₂ during treadmill walking in patients with COPD. *Chest* 1987;91:328-32.