

만성 폐쇄성 폐질환에서 기관의 단면적과 폐기능지표와의 상관관계[†]

서울대학교 의과대학 내과학교실 및 폐연구소
서울특별시립 보라매병원 내과*, 서울특별시립 보라매병원 방사선과**

이찬주, 이재호*, 송재우**, 유철규, 김영환, 한성구, 심영수, 정희순*

= Abstract =

Correlation of Tracheal Cross-sectional Area with Parameters of Pulmonary Function in COPD

Chan Ju Lee, M.D., Jae Ho Lee, M.D.,* Jae Woo Song, M.D.,**
Chul Gyu Yoo, M.D., Young Whan Kim, M.D., Sung Koo Han, M.D.,
Young-Soo Shim, M.D., Hee Soon Chung, M.D.*

*Department of Internal Medicine, Seoul National University College of Medicine and Lung Institute &
Seoul Municipal Boramae Hospital*, Department of Radiology, Seoul Municipal Boramae Hospital**, Seoul, Korea*

Background : Maximal expiratory flow rate is determined by the size of airway, elastic recoil pressure and the collapsibility of airway in the lung. The obstruction of expiratory flow is one of the major functional impairments of emphysema, which represents COPD. Nevertheless, expiratory narrowing of upper airway may be recruited as a mechanism for minimizing airway collapse, and maintaining lung volume and hyperinflation by an endogenous positive end-expiratory pressure in patients with airflow obstruction. We investigated the physiologic role of trachea in respiration in emphysema.

Method : We included 20 patients diagnosed as emphysema by radiologic and physiologic criteria from January to August in 1997 at Seoul Municipal Boramae Hospital. Chest roentgenogram, high resolution computed tomography(HRCT), and pulmonary function tests including arterial blood gas analysis and body plethysmography were taken from each patient.

Cross-sectional area of trachea was measured according to the respiratory cycle on the level of aortic arch by HRCT and calibrated with body surface area. We compared this corrected area with such parameters of

[†]본 논문의 요지는 대한 결핵 및 호흡기학회 제85차 추계학술대회에서 발표되었으며, 1997년도 서울특별시립 보라매병원 공동임상연구비의 보조로 이루어졌음.

pulmonary function tests as PaCO₂, PaO₂, airway resistance, lung compliance and so on.

Results : Expiratory cross-sectional area of trachea had significant correlation with PaCO₂ ($r = -0.61, p < 0.05$), PaO₂ ($r = 0.6, p < 0.05$), and minute ventilation ($r = 0.73, p < 0.05$), but inspiratory cross-sectional area did not ($r = -0.22, p > 0.05$ with PaCO₂, $r = 0.26, p > 0.05$ with PaO₂, and $r = 0.44, p > 0.05$ with minute ventilation). Minute ventilation had significant correlation with tidal volume ($r = 0.45, p < 0.05$), but it had no significant correlation with respiratory frequency ($r = -0.31, p > 0.05$). Cross-sectional area of trachea had no significant correlation with other parameters of pulmonary function including FEV₁, FVC, FEV₁/FVC, peak expiratory flow, residual volume, diffusing capacity, airway resistance, and lung compliance, whether the area was expiratory or inspiratory.

Conclusion : Cross-sectional area of trachea narrowed during expiration in emphysema, and its expiratory area had significant correlation with PaCO₂, PaO₂, and minute ventilation. (Tuberculosis and Respiratory Diseases 1999, 46 : 628-635)

Key words : Emphysema, Cross-sectional area of trachea, PaCO₂, PaO₂, Minute ventilation.

서 론

만성 폐쇄성 폐질환은 흡연, 대기오염, 직업력과 연관된 분진 등 다양한 원인에 의해 말초기도의 비가역적 폐쇄를 나타내는 질환으로, 임상적으로 진단하는 만성 기관지염(chronic bronchitis, blue bloater)과 병리학적으로 진단하는 폐기종(emphysema, pink puffer)으로 대별된다.

폐기종은 폐포벽의 파괴와 종말 세기관지 이하부위의 영구적이고 비정상적인 확장을 동반하는 질환으로,^{1,2)} 병리학적으로 확진하기는 어렵지만 고해상도 흉부전산화단층검사(HRCT)를 이용하면 초기상태의 폐기종도 비교적 쉽게 진단할 수 있다.³⁻⁵⁾

최대 호기류량은 기도의 크기와 폐의 탄력반동압(elastic recoil pressure) 그리고 기도의 함몰성(collapsibility)에 의해 결정되는데, 건강한 성인에서는 호기시 기관과 같은 상부 기도의 역할이 중요하지 않지만 기도폐쇄가 있는 폐기종의 경우에는 호기시 상부 기도의 함몰성이 폐용적과 과팽창을 유지하는 기전으로 작용할 수도 있다고 알려져 있다.⁶⁾

저자들은 폐기종 환자에서 HRCT를 통해 호흡주기 별로 기관의 단면적을 측정하고 이 단면적이 폐기능의

여러 지표들과 상관관계가 있는지를 분석하여, 상부 기도가 폐기종에서 폐환기에 어떤 영향을 미치는지를 알아보고자 본 연구를 수행하였다.

대상 및 방법

1997년 1월 1일부터 8월 31일까지 보라매병원 호흡기내과를 방문하여 단순 흉부방사선검사, 체간용적기록계(body plethysmography)를 포함하는 폐기능검사 및 HRCT를 통해 폐기종으로 진단된 20명을 대상으로 하였다. 환자의 선정기준은 단순 흉부방사선검사서 폐의 과팽창 소견을 보이고 HRCT에서 폐기종성 변화가 관찰되며, 폐의 탄성도가 저하된 경우로 하였다. 즉, 총폐용량(TLC)에서의 경폐압(transpulmonary pressure)이 19 cmH₂O 미만이며, 최대 경폐압을 총폐용량으로 나눈 값인 함몰계수(coefficient of retraction)가 2.5 cmH₂O/L 미만인 경우를 폐의 탄성도 저하를 나타내는 지표로 정하였다.⁷⁾

HRCT를 시행할 때 흡기시와 호기시에 대동맥궁(aortic arch)의 정상(top)위치에서 기관의 단면적을 Pixel수를 이용하여 측정하고, 단면적측정의 정확도를 높이기 위해 체표면적으로 보정하였다. 동맥혈

Table 1. Characteristics of subjects

Age	63 (52-85) yr
Sex(M : F)	14 : 6 (2.3 : 1)
PFT — FVC	2.75 ± 0.80L (81.9 ± 11.5%)
— FEV ₁	1.29 ± 0.70L (53.4 ± 2.7%)
— FEV ₁ /FVC	45.4 ± 14.3%
— PEF	2.92 ± 1.20 L/sec (44.5 ± 15.1%)
Raw (in expiration)	7.51 ± 3.69 cmH ₂ O/L/sec
Static compliance	0.14 ± 0.03 L/cmH ₂ O
ABGA — pH	7.4 ± 0.03
— PaCO ₂	39.9 ± 4.84 mmHg
— PaO ₂	77.6 ± 14.7 mmHg
Minute ventilation	12.4 ± 3.3 L/min
Tracheal cross-sectional area	Insp : 2.60 ± 0.56 cm ² Exp : 2.39 ± 0.51 cm ²

가스분석과 폐환기능검사(spirometry)를 시행하고, 체간용적기록계를 이용하여 폐용적(lung volume), 기도저항(airway resistance) 및 폐유순도(lung compliance)를 측정하였다. 정의에 따라 경폐압과 함물계수를 계산하였으며, 매분환기량(minute ventilation)은 Sensor Medics사의 Vmax를 이용하여 측정하였다.

호흡주기별로 측정하여 체표면적에 따라 보정된 기관의 단면적과 폐환기능의 여러 지표, 동맥혈의 이산화탄소분압(PaCO₂) 및 산소분압(PaO₂), 기도저항, 폐유순도, 매분환기량 등과의 상관관계를 회귀직선(linear regression)을 이용하여 분석하였다.

결 과

대상환자 20명의 평균 연령은 63세(52~85세)로, 남자가 14명, 여자가 6명이었다.

폐환기능 검사에서는 노력성 폐활량(FVC)이 2.75 ± 0.80 L (81.9 ± 11.5%), 1초간 노력성 호기량(FEV₁)이 1.29 ± 0.70 L (53.4 ± 2.7%), FEV₁/FVC가 45.4 ± 14.3%, 최대 호기류량(PEF)이 2.92

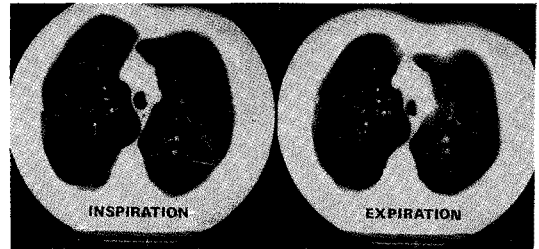


Fig. 1. Cross-sectional area of trachea at the end of inspiration and expiration on HRCT.

± 1.20 L/sec (44.5 ± 15.1%)로 폐쇄성 소견을 보였다.

체간용적기록계에서 측정한 총폐용량(TLC)은 6.89 ± 1.08 L, 잔기용적(RV)은 4.02 ± 1.10 L, RV/TLC는 58.1 ± 11.00% 이었고, 기도저항(airway resistance, Raw)은 호기시에 7.51 ± 3.69 cmH₂O/L/sec, 흡기시에 4.52 ± 1.82 cmH₂O/L/sec이었으며, 폐유순도(lung compliance)는 0.14 ± 0.03 L/cmH₂O였다.

동맥혈 가스분석에서는 pH가 7.4 ± 0.03, 이산화탄소분압(PaCO₂)이 39.9 ± 4.84 mmHg, 산소분압

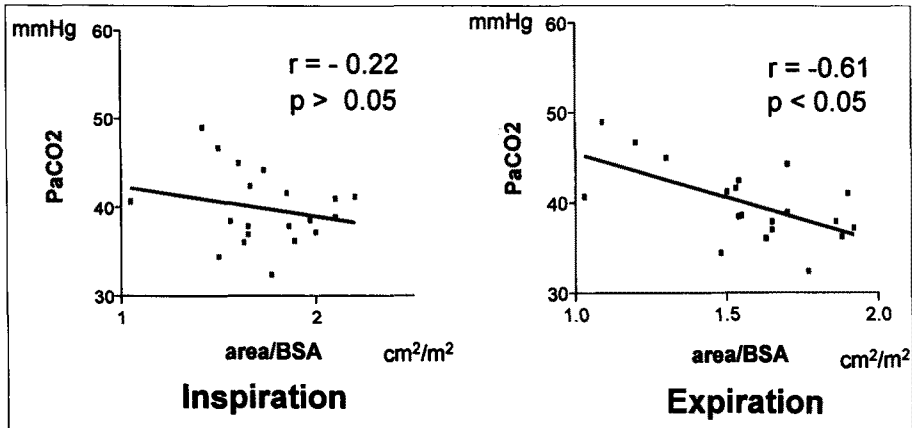


Fig. 2. Correlation of cross-sectional area of trachea with PaCO₂

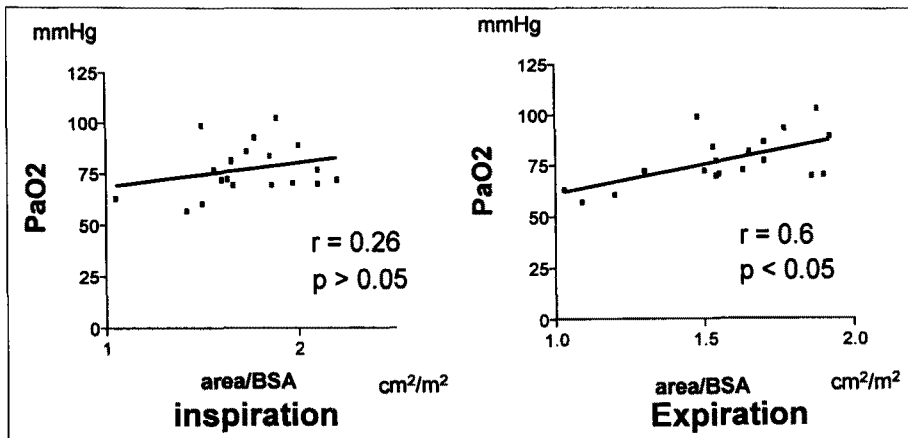


Fig. 3. Correlation of cross-sectional area of trachea with PaO₂

(PaO₂)이 77.6 ± 14.7 mmHg 였으며, 매분환기량은 12.4 ± 3.3 L/min이었고, HRCT로 측정된 기관의 단면적은 흡기시 2.6 ± 0.56 cm², 호기시 2.39 ± 0.51 cm²로 호기시 단면적이 감소하였지만 유의한 변화는 아니었다.(Table 1)

기관의 단면적과 유의한 상관관계에 있는 폐기능지표들을 살펴보면, 호기시 기관의 단면적이 PaCO₂와 $r = -0.61$ ($p < 0.05$)로 유의한 역상관관계에 있었으며 (Fig. 2), PaO₂와는 $r = 0.6$ ($p < 0.05$, Fig. 3), 그리고 매분환기량과는 $r = 0.73$ ($p < 0.05$)로 유의한 상관관계를 보였다(Fig. 4). 그러나 흡기시 기관의 단면적

은 PaCO₂와는 $r = -0.22$, PaO₂와는 $r = 0.26$, 그리고 매분환기량과의 $r = 0.44$ 로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 폐기종환자에서의 매분환기량이 상시 호흡량(tidal volume)과 호흡수(frequency)중 어떠한 지표에 의해 결정되는 지를 분석해 보면, 상시 호흡량과는 $r = 0.45$ ($p < 0.05$)로 유의한 상관관계를 보였으나, 호흡수(frequency)와는 $r = -0.31$ 로 유의하지 않았다(Fig. 5).

폐기능검사의 다른 지표들과의 상관관계도 분석하였지만, FEV₁, FVC, FEV₁/FVC, RV, TLC, RV/TLC, PEF, 폐확산능, 기도저항 및 폐유순도 등과의

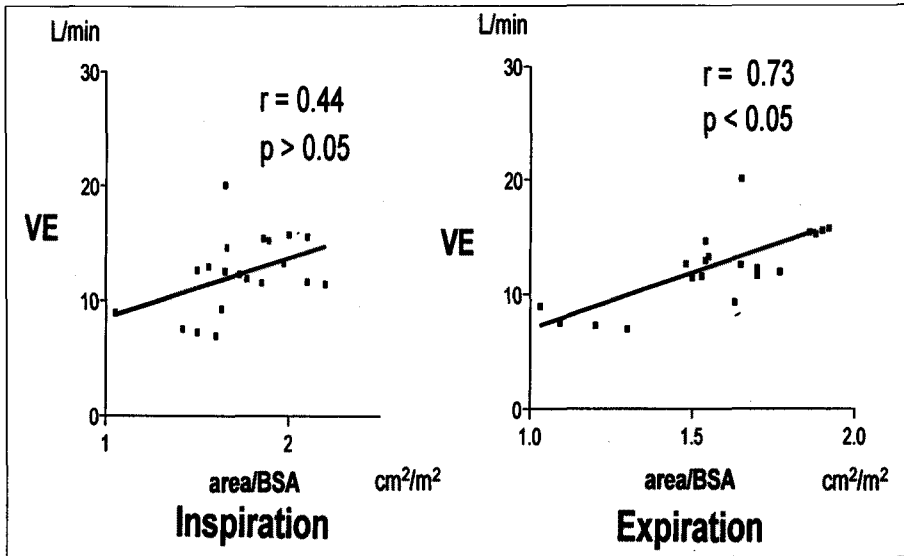


Fig. 4. Correlation of cross-sectional area of trachea with minute ventilation

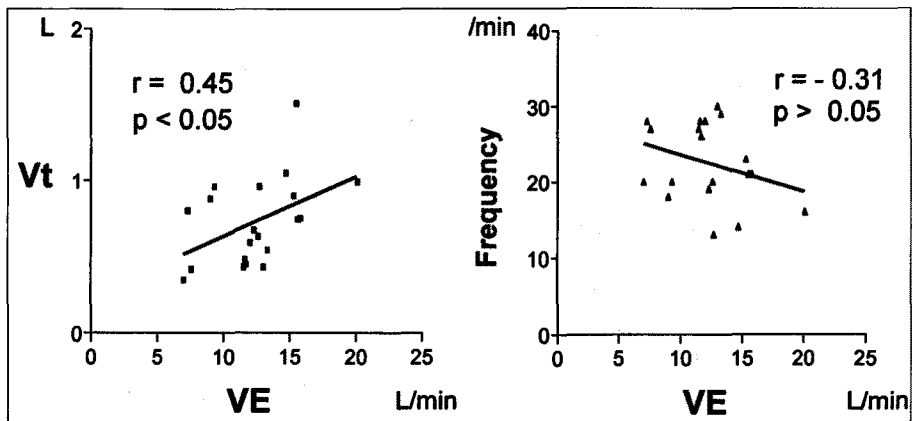


Fig. 5. Correlation of minute ventilation with tidal volume and frequency.

비교시 모두 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Table 2).

고 찰

폐기종은 폐의 탄력반동압이 감소하여 호기시 기도의 조기폐색이 발생하는 질환으로^{8,9)} 병리학적 확진이 어렵기 때문에 환자의 임상증상, 흉부 방사선검사, 폐기

능검사를 통해서 주로 임상적으로 진단해 왔는데, 폐기종이 있는 경우 흉부 방사선검사에서는 폐의 과팽창, 폐혈관 음영의 감소, 폐투과도의 증가, 기포(bulla)의 존재 등이 관찰되며,¹⁰⁾ 폐환기능검사에서는 FEV₁, FEF_{25-75%} 및 최대 호기유량이 감소하고 폐확산능의 저하, 잔기용적 및 총폐용량 그리고 기도저항의 증가, 폐탄성의 감소 등이 나타난다. 그리고 폐기종에서 이런 기능적 변화와 병리학적 소견이 일치하지

Table 2. Relationship between expiratory cross-sectional area of trachea and parameters of pulmonary function

	r	p value
%FEV ₁	0.004	NS
FEV ₁ /FVC	0.224	NS
RV	-0.41	NS
PEF	0.49	NS
DL _{CO}	0.324	NS
Cst	0.308	NS
Raw*	-0.314	NS

* airway resistance at expiration

않는 경우가 보고되기도 하였지만,¹¹⁾ HRCT가 임상에 도입되면서 병리학적 확진 없이도 폐기종의 존재와 정도를 비교적 정확하게 평가할 수 있게 되었다.³⁻⁵⁾

호흡에 의한 역동적 기도압축은 정상인에서도 기능적잔기용량 이상의 폐기량에서 분절(segmental)기관지 이상의 대기도에 작용하여 기류를 제한하는 기전의 하나가 되고 있는데 이는 대기도의 막성(membranous)부분이 기도내강쪽으로 함입되기 때문이며, 폐기종이 있는 경우에는 연골의 위축과 늑막강압의 상승으로 인하여 압축힘이 증가되어 이런 현상을 더 뚜렷하게 하므로 노력성 호기시에 정상적인 현상이 과장되어 호기시 기능적 장애가 나타나게 된다.¹²⁾

역동적 기도압축에 의해 호기시 기류가 제한되는 정도는 늑막강압(transmural pleural pressure)과 폐의 탄력반동압으로 이루어지는 추진압력(driving pressure)과 기도저항(airway resistance)에 의해 결정되는데,¹³⁾ 이의 기전은 동일압력점(equal pressure point, EPP)이라는 개념으로 설명할 수 있다. 즉, 공기의 통로인 기도를 호기시 기도내압이 늑막강압보다 항상 높아서 압축이 일어나지 않는 폐포쪽 상류(upstream)기도와 기도내압이 늑막강압보다 낮아서 기도의 압축이 일어나는 구강쪽 하류(downstream)기로 구분하면 기도중간에는 기도내압과 늑막강압이 같아지는 동일압력점이 존재하게 되는

데,^{12,13)} 이 점보다 원위부의 구강쪽 하류기도에서는 호기시 기도의 역동적 압축에 의해 기도내강이 좁아지게 된다. 안정상태의 건강한 성인에서는 통상적인 호기시 이러한 기전이 호기류를 제한하고 호기의 시간을 조절하는 기전으로 작용하지만, 저산소증(hypoxia), 과탄산증(hypercapnia), 운동(exercise), 자발적 과다호흡(voluntary panting), 그리고 노력성 호기(forced expiratory maneuver)에 의한 과호흡시에는 강한 기류에 의해 상부기도의 저항이 증가하므로 이에 대한 보상작용으로 호기시의 기도내강 감소는 오히려 줄어들게 된다. 그러나 폐포벽의 파괴로 폐의 탄력반동압이 감소하는 폐기종에서는 동일압력점이 폐포에 이르는 상류기도쪽으로 이동하므로 호기시 기도가 더욱 역동적으로 압축되며,¹³⁾ 기류의 제한이 있어도 노력성 호기시 상부기도가 좁아지는 것은 기도저항의 증가에 보상작용으로 반응하지 않기 때문이다. 그러나 Brancatisano와 Engel 등은 이러한 현상이 폐쇄성 기도질환이 있는 환자에서 폐용적과 폐의 과팽창을 유지시켜 줌으로써 오히려 가스교환을 증진시키는 기전으로 이용되는 것이라고 주장하였다.⁶⁾

정상인과 폐기종환자에서 기도의 단면적이 흡기시에 비해 호기시 유의하게 감소하는 현상에 대한 연구 결과를 살펴보면, Hyatt 등은 최대호기속도와 폐용적과의 상관관계를 연구하면서 폐용적이 폐활량의 60~70% 이하로 감소하면 노력에 비례하여 호기가 더 이상 증가되지 않고 기류의 제한이 나타나는데 이는 흉강압에 의해 기도가 압축되기 때문이라고 주장하여¹⁴⁾ 호기시 기도압박이 발생한다는 사실에 대해 언급하였다. 국내에서는 정 등이 만성 폐쇄성 폐질환에서 단순 흉부방사선검사를 이용하여 기도의 직경을 측정된 결과 호기시 기도직경이 20% 이상 감소하는 경우가 폐기종에서는 13명중 7명, 그리고 만성 기관지염에서는 10명중 2명이었다고 보고한 바 있다.¹⁵⁾ 최근에는 보다 정확한 방법인 CT를 이용하여 호흡주기에 따라 기도의 단면적을 측정하고 있는데, Stern 등은 정상인에서 기도의 단면적이 흡기말에 280 ± 50.5 mm², 호기말에 178 ± 40.2 mm²로 호기시 유의하게 좁아진다

고 보고하였고,¹⁶⁾ Chan 등은 FEV₁이 1.5 L미만인 만성 폐쇄성 폐질환환자에서 CT로 상부기도의 단면적을 측정된 결과 과탄산증이 있는 경우에는 비슷한 연령의 정상인에 비해 호기시의 기도 단면적이 반으로 감소하였다고 주장하였다.¹⁷⁾ Sakai⁴⁾와 안 등¹⁸⁾은 CT로 결정한 폐기종의 중증도와 폐기능지표와의 상관관계에 대해 연구한 결과 CT에서 폐기종의 정도가 심할수록 폐기능검사의 폐쇄정도가 심하였고 폐확산능도 감소하였다고 보고하였다.

본 연구에서는 대상 환자군이 적고 기관 단면적 측정의 어려움 등으로 흡기시와 호기시의 기관의 단면적이 외국 연구에서처럼 큰 차이가 나지 않은 점도 있었으나, 호기시 기관의 단면적이 동맥혈의 이산화탄소분압 및 산소분압, 매분환기량 등 주로 가스 교환(gas exchange)의 지표들과 유의한 상관관계가 있었으며, 폐기종의 중증도를 나타낸다고 알려진 폐용적이나 폐의 과팽창을 시사하는 다른 폐기능 지표와는 상관관계가 없었다. 따라서 폐기종에서는 호기시 동일압력점의 상부기도쪽 이동에 의한 역동적인 기도압박으로 인해 기관의 단면적이 감소하고 이러한 현상이 호기시 기류를 제한하는 하나의 기전으로 작용하는 것이 폐용적이나 폐의 과팽창을 유지시켜 가스교환을 증진시키는 것은 아니라고 생각된다.

호흡주기에 따른 주기관지의 단면적변화는 특정부위를 선택하기 어렵고 기관지의 주행방향이 사선방향이므로 단면적을 절대치로 수치화하기 불가능하여 본 연구에서는 배제하였는데, 만성 폐쇄성 폐질환에서 상부기도의 기능 등을 효율적으로 평가하려면 특정부위의 단면적의 변화를 관찰하는 것보다는 나선형(spiral) CT 등을 이용하여 기도 전체의 호흡주기에 따른 역동적 변화를 관찰하는 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

요 약

연구배경 :

만성 폐쇄성 폐질환을 대변하는 폐기종에서 주요 기능

적 장애는 호기의 장애이며, 최대 호기류량은 기도의 크기, 폐의 탄력반동압 그리고 기도의 함몰성에 의해 결정된다. 기도의 함몰성은 폐기종에서 기류를 제한하는 하나의 기전으로 작용하지만, 폐용적과 폐의 과팽창을 유지하는 기전으로 작용하여 가스교환을 증진시킨다는 주장도 있다. 따라서 폐기종에서 기관이 호흡에 미치는 생리학적 역할이 무엇인지를 알아보고자 본 연구를 수행하였다.

방 법 :

1997년 1월 1일부터 8월 31일까지 보라매병원 호흡기내과를 방문하여 단순 흉부방사선검사, 체간용적기록계(body plethysmography)를 포함하는 폐기능검사 및 HRCT를 통해 폐기종으로 진단된 20명을 대상으로 하였다. HRCT에서 대동맥궁의 정상부위에서 기관의 단면적을 호흡주기에 따라 측정하고 이를 체표면적으로 보정한 값과 동맥혈의 이산화탄소분압 및 산소분압, 기도저항, 폐유순도 등 폐기능지표와의 상관관계를 분석하였다.

결 과 :

폐기종에서 기관의 단면적은 호기시 동맥혈의 이산화탄소분압($r = -0.61, p < 0.05$) 및 산소분압($r = 0.6, p < 0.05$) 그리고 매분환기량($r = 0.73, p < 0.05$)과 유의한 상관관계가 있었지만, 흡기시에는 상관관계가 없었다(이산화탄소분압과는 $r = -0.22, p > 0.05$, 산소분압과는 $r = 0.26, p > 0.05$, 매분환기량과는 $r = 0.44, p > 0.05$).

매분환기량은 상시호흡량(tidal volume)과는 $r = 0.45(p < 0.05)$ 로 유의한 상관관계가 있었지만, 호흡수와는 $r = -0.31(p > 0.05)$ 로 상관관계가 없었다.

폐기종에서 기관의 단면적은 호흡주기와 상관없이 FEV₁, FVC, FEV₁/FVC, 최대 호기류량, 잔기용적, 폐확산능, 기도저항, 폐유순도 등의 다른 폐기능지표와는 상관관계가 없었다.

결 론 :

폐기종에서 호기시 기관의 단면적은 주로 가스 교환(gas exchange)의 지표들과 유의한 상관관계가 있었지만, 폐용적이나 폐의 과팽창을 시사하는 지표와는

상관관계가 없었다. 따라서 폐기종에서는 호기시 동일 압력점의 개념에 의해 발생하는 기도압박으로 기관의 단면적이 감소하고 이러한 현상이 기류를 제한하는 하나의 기전으로 작용하는 것이지 폐용적이나 폐의 과팽창을 유지시켜 가스교환을 증진시키는 것은 아니라고 생각된다.

참 고 문 헌

1. American Thoracic Society : Chronic bronchitis, asthma, and pulmonary emphysema by the committee on diagnostic standard for nontuberculous respiratory disease. *Am Rev Respir Dis* 85 : 762, 1962
2. Snider GL, Kleinerman J, Thurlbeck WM, Bengali ZH : The definition of emphysema. *Am Rev Respir Dis* 132 : 182, 1985
3. Clausen JL : The diagnosis of emphysema, chronic bronchitis, and asthma *Clin Chest Med* 11 : 405, 1990
4. Sakai F, Gamsu G, Im J-G, Ray CS : Pulmonary function abnormalities in patients with CT-determined emphysema. *J Comput Assist Tomogr* 11 : 963, 1987
5. Goddard PR, Nicholson EM, Laszlo G, Watt I : Computed tomography in pulmonary emphysema. *Clin Radiol* 33 : 379, 1982
6. Brancatisano A, Engel LA : Chapter 11, Upper airway function in COPD, In Cherniack NS(Ed.) *Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 1st Ed., p 96, Philadelphia, WB Saunders, 1991
7. Tisi GM : Emphysema. *Pulmonary physiology in clinical medicine* 2nd ed 149, 1985
8. 한성구, 이명혜, 이영현, 심영수, 김건열, 한용철 : 기관지 천식과 만성 기관지염-폐기종에서의 기도 저항에 관한 연구. *결핵 및 호흡기질환* 29 : 196, 1982
9. Dayman H : Mechanics of airflow in health and in emphysema. *J Clin Invest* 30 : 1175, 1951
10. Laws JW, Heard BE : Emphysema and the chest film : a retrospective radiological and pathological study. *Br J Radiol* 35 : 750, 1962
11. Bergin C, Muller N, Nicholas DM, Lillington G, Hogg JC, Mullen B, Grymaloski MR, Osborne S, Pare PD : The diagnosis of emphysema. a computed tomographic-pathologic correlation. *Am Rev Respir Dis* 133 : 541, 1986
12. 김원동 : 기도 폐쇄 평가검사의 생리학적 의의. *결핵 및 호흡기 질환*, 37 : 131, 1990
13. Robinson DR, Chaudhary BA, Speir WA : Expiratory flow limitation in large and small airways. *Arch Intern Med* 144 : 1457, 1984
14. Hyatt RE, Schilder DP, Fry DL : Relationship between maximum expiratory flow and degree of lung function. *J Appl Physiol* 13 : 331. In : Campbell AH, Faulks LW : Determinants of expiratory airflow in patients with chronic airway obstruction. *Thorax* 28 : 48, 1973
15. 정희순, 한성구, 심영수, 김건열, 한용철, 송치성 : 폐쇄성 폐질환에서 상기도의 불안정성. 1990년도 대한 결핵 (및 호흡기)학회 추계학술대회 초록집 P.72
16. Stern EJ, Graham CM, Webb WR, Gamsu G : Normal trachea during forced expiration : dynamic CT measurements. *Radiology* 187 : 27, 1993
17. Chan CS, Bye PTP, Woolcock AJ, Sullivan CE : Eucapnia and hypercapnia in patients with chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis* 141 : 861, 1990
18. 안중현, 박정미, 고승현, 윤종구, 권순석, 김영균, 김관형, 문화식, 박성학, 송정섭 : 폐기종 환자에서 고해상도 CT와 폐기능 검사와의 상관관계. *결핵 및 호흡기 질환* 43 : 367, 1996