

순천향대학교 의과대학 방사선과학교실
박재성, 백상현

Radiologic Findings of Bronchial Asthma

Jai Soung Park, M.D., Sang Hyun Paik, M.D.

Department of Radiology, Soonchunhyang University School of Medicine

Asthma is the most common disease of the lungs, and one that poses specific challenges for the physicians including radiologist. This article reviews for the clinical diagnosis, Radiologic features, and differential diagnosis of asthma, and outlines the radiologic features of the complications of asthma.

Bronchial wall thickening and hyperinflation characterize the chest radiograph of the patients with asthma. On CT scan one may see airway wall thickening, thickened centrilobular structures, and focal or diffuse hyperlucency. Apparent bronchial dilatation may be seen, but the diagnosis of bronchiectasis should be made with caution. Quantification of changes in the airway wall and lung parenchyma may be valuable in understanding the mechanisms of asthma and in evaluating the effects of treatment. The challenge for the physician evaluating the images of a patient with asthma is to find complications. (*Tuberc Respir Dis* 2005; 59: 591-599)

서 론

기관지천식은 다양한 자극에 대한 과민성의 증가로 기도가 폐쇄되나 치료에 의하여 호전되는 가역적인 변화를 특징으로 한다¹. 임상적으로 기관지확장제에 반응을 보이는 기도 폐쇄를 보이면 기관지천식으로 진단할 수 있다. 잠재적인 천식인 경우에는 methacholine 같은 흡입물질로 기관의 과민반응을 유발시켜 진단한다.

병리학적으로는 기관지 점막의 손상 및 과다분비, 점막하층의 부종과 호산구성 염증세포 침윤, 때때로 림프구나 형질 세포에 의한 기관지벽 비후의 소견들이 보인다². 이러한 만성 염증은 기도내의 병리학적인 변화를 일으키고, 기관지 구조의 현저한 개형(remodeling)을 일으키며³, 점액분비선 비대, 기저막 비후, 평활근의 과형성 등의 소견을 동반한다.

저자들은 기관지천식 및 천식과 연관된 각종 폐질환의 단순흉부사진과 고해상 전산화단층촬영(high resolution computed radiography, HRCT) 소견을 문

헌고찰과 함께 설명하고자 한다.

기관지천식의 단순흉부사진 소견

대부분 천식환자의 흉부사진 소견은 기관지벽 비후와 과통기(hyperinflation)이다. 또한 드물지 않게 변연부의 혈관 감소, 중심부 폐음영 증가 그리고 폐문음영의 증대 등이 관찰된다⁴⁻⁶. 천식환자에 있어서 방사선학적 이상 소견은 전반적으로 소아에서 더욱 흔하고 심하다. 이러한 방사선학적 소견은 여러 요소들에 의해 영향을 받는데 발병시기, 천식의 중증 정도, 다른 질환의 동반 유무 그리고 천식에 의한 합병증 등이다⁴.

방사선학적 이상과 발병시기에 대한 연구를 보면 15세 이후에 천식이 발병한 117명의 환자 중 흉부사진의 이상은 단 한 예였으나 15세 이전에 발병한 환자들 중에는 31%에서 이상 소견을 보였으며, 30세 이후에 발병한 환자들 중에는 한 예도 보이지 않았다⁷. 질병의 중증(severity) 정도와 흉부사진 이상과의 관계에 대한 연구에서 중증 천식을 앓고 있는 58명(10-69세, 평균 33세)의 환자 중 42명(73%)에서 폐의 과통기 소견을 보였다⁸.

천식환자의 단순흉부사진에서 가장 흔한 소견은 기관지벽 비후로 48%⁴에서 71%⁶에 이른다. Rubenstein 등은 경, 중등도 천식환자를 대상으로 단순흉

Address for correspondence : Jai Soung Park, M.D.,
Department of Radiology Soonchunhyang University
Bucheon Hospital 1174 Jung-dong, Wonmi-ku, Bucheon
Kyunggi-do 420-853, Korea
Phone : 82-32-621-5851,3 Fax : 82-32-621-5874
E-mail : jspark@schbc.ac.kr

부사진에서 보이는 기관지벽 비후와 과통기 소견이 폐활량계(spirometry)보다 진단에 더 높은 민감도를 보인다고 하였다⁹.

폐의 과통기와 호기 시 공기포획(air trapping)과 같은 방사선 이상 소견은 급성 중등도, 장기간의 지속된 경우 혹은 치료에 반응이 없는 천식에서 특징적이다. 과통기는 소아 환자, 10대 이전에 천식이 발병한 경우 및 입원치료가 필요할 정도로 심한 환자에서 더 흔하다¹⁰. 공기포획의 소견은 기관지의 폐쇄 및 개형과 연관되어 나타난다. 과통기로 인해 횡격막 하강 및 후흉골 공간(retrosternal space)의 확장 등의 소견이 보일 수는 있지만 동반된 폐기종 없이 천식만으로 횡격막이 평평해지거나 하방으로 볼록해지는 경우는 드물다. 실제로 천식환자의 대다수의 단순흉부사진 소견은 정상이며 심지어 급성 악화기에도 폐용적은 오히려 감소하는 것을 볼 수 있다.

천식에 대한 여러 연구자들의 보고에도 불구하고, 단순흉부사진은 천식을 진단하는데 제한적이며 급성 천식에서도 종종 정상 소견을 보인다. 이상 소견이 있더라도 그것은 비특이적이다. 천식환자에서 흉부방사선검사를 시행하는 이유는 1) 천명음(wheezing)을 일으킬 만한 폐기종, 울혈성 심질환, 기도 폐쇄와 같은 다른 질환을 배제하고, 2) 기흉 등의 합병증을 발견하는데 목적이 있다.

천식의 고해상 CT 소견

HRCT는 단순흉부사진보다 기도의 해부학적 구조를 정확하게 나타내므로 천식환자에 있어서 기관지 협착의 위치, 정도, 분포 등에 대한 연구를 가능하게 했다. 또한 CT 영상으로부터 얻은 정보를 분석하여 기도 질환의 범위를 정량적인 수치로 표현할 수 있게 되었다.

창높이(window level), 창넓이(window width), 영상 범위의 크기(field of view) 그리고 재구성 연산법 등은 CT 영상의 질과 기관지 내경 및 벽 두께의 측정에 있어서 정확성에 많은 영향을 미친다. 특히 창높이는 기관지벽의 두께를 정량적으로 분석하는 연구에서 중요한 요소이다. 여러 보고자들이 가상 기관지를

이용하여 창높이와 넓이에 대하여 연구를 시행하였다. 이러한 결과를 기초로 하여 기관지 내경 및 벽 두께를 측정할 경우에는 창높이를 -450 HU로 사용하고 있다^{11,12}. 기관지벽 두께를 측정하기 위한 최적의 창넓이는 1,000HU에서부터 1,400HU까지이다. 창넓이가 1,000HU보다 좁으면 기관지벽이 두껍게 측정되고, 반면에 1,400 HU보다 넓으면 기관지벽의 두께가 얇게 측정된다¹³. 몇몇 연구자들은 적절한 창높이와 넓이로 기관지 내경을 정확히 측정할 수 있는 가장 작은 기도의 크기를 1.5-2.0mm 라고 주장하였다^{4,14,15}.

HRCT에서 기관지천식의 가장 흔한 이상 소견들은 기관지벽 비후, 기관지 내경 감소, 기관지 확장, 점액 저류, 혈관음영의 감소 및 공기포획 등이다^{4, 16-18}. 기관지 병변의 분포는 종종 비균질적이어서, 어느 부위의 기관지벽과 내경은 정상 소견을 보이거나 다른 부위의 기관지벽은 두껍고 내경이 좁거나 확장될 수 있다.

기관지벽 비후 (Bronchial Wall Thickening)

천식 환자에서 기관지벽 비후에 대한 보고는 다양하다. 한 연구에서는 천식환자 48명 중 44명(92%)이 기관지벽 비후의 소견을 보였는데 이는 정상 대조군의 27명중 5명(19%)만 기관지벽의 비후를 보인 것보다 통계학적으로 유의하게 높았다⁶. 다른 연구에서는 HRCT에서 기관지벽 비후 소견이 39명의 천식환자 중 44%, 정상인 14명 중 14%에서 보인다고 하였다¹⁸. 일반적으로 기관지벽의 비후는 기관지 외경에 대한 기관지벽 두께 비(T/D ratio)를 (외경-내경) / 외경으로, 또는 전체 기관지의 면적에 대한 기관지벽 면적의 비(Wall Area%, WA%)를 $\{\pi(\text{외경}/2)^2 - \pi(\text{내경}/2)^2\} / \pi(\text{외경}/2)^2$ 으로 측정하고 있다¹⁹⁻²¹(Figure 1). Awadh 등은 천식의 중증에 따라 3군(치명적 천식(near fatal asthma), 중등도 천식 및 경증 천식)으로 분류하고, 정상 대조군과 기관지벽 두께 및 면적의 비를 비교한 결과 천식 환자군이 대조군 보다 두께의 측정치 모두에서 증가되어 있었으며, 치명적 및 중등도 천식 환자군이 경증 천식 환자군에 비하여 기관지벽이 두꺼워졌음을 보고하였다¹⁹. 국내에서도 최 등은 천식환자의 기관지벽 두께의 비가 0.48 ± 0.08 로 정상 대조군의

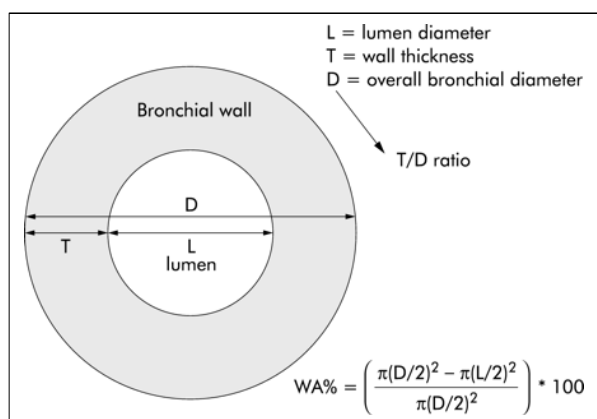


Figure 1. Measurement of bronchial and lumen diameter with calculation of WA% and T/D ratio

0.40 ± 0.08 보다 통계학적으로 유의하게 증가하였다고 보고하였다²². 기관지벽은 구조의 개형에 의하여 일시적으로 비가역적인 변화를 보이기도 한다(Figure 2). 한 보고에서는 CT 검사를 시행한 10명의 급성 천식환자를 대상으로 집중적인 스테로이드 치료를 시행한 2주 후에 시행한 추적 CT 검사에서 기관지벽 두께의 변화가 없었다고 하였다⁴. 천식환자에서 보이는 기관지벽 비후 소견은 염증에 의한 점막하층의 비후와 기관지 평활근 비대로 인한 근층비후 그리고 기관지 주위 섬유화의 요소들이 복합되어 생긴 것으로 추정한다²³. Kasahara 등은 기관지경 생검으로

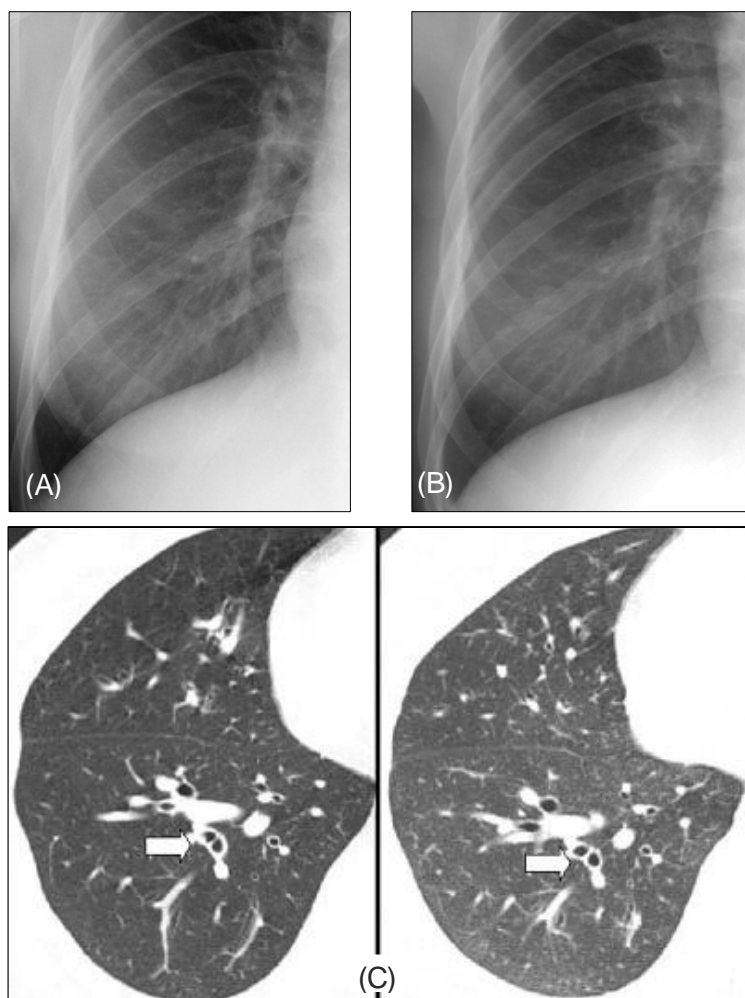


Figure 2. Bronchial wall thickening in patient with bronchial asthma (A) Initial chest radiograph shows visible wall thickening of bronchi in the right middle and lower lung zones, with mild hyperinflation. (B) Follow up chest radiograph after 16 months shows no interval change of bronchial wall thickening in the right middle and lower lung zones. (C) Initial HRCT scan obtained at level of basal segmental bronchi shows diffuse and moderate degree of bronchial wall thickening (arrows) during end-inspiration (left) and expiration (right).

얻은 병리조직에서 기관지의 점막하층(epithelial reticular basement membrane)의 두께를 측정 후 고해상 CT에서 측정한 기관지벽 두께 및 면적의 비와 비교할 때 통계학적으로 유의한 연관성이 있음을 증명하였다²¹. 또한 점막하층의 두께가 기관지벽 전체의 두께와 비례함을 CT를 통하여 간접적으로 증명하였다. 이런 섬유화, 근육 비대 그리고 염증성 비후들의 상대적인 비율에 따라 기관지 벽 비후 소견이 치료 후 가역적 혹은 비가역적 일 수 있다^{4,24}.

기도 협착 (Airway Narrowing)

천식환자의 기도 협착은 무작위로 선택한 기도에서 전체 기관지 면적에 대한 내경 면적의 비를 평가

함으로써 측정 할 수 있다¹⁹⁻²¹. 비슷한 연령대의 정상인과 비교할 때 천식환자의 기관지 내경의 면적 비는 직경이 작은 기관지에서 상대적으로 더 감소되어 있다¹⁷. 기관지 내경을 평가하는 다른 방법으로 기관지 확장을 평가 할 때 적용했던 것과 마찬가지로 동행하는 폐동맥의 내경과 비교하는 방법이 있다^{6,18}. 중등도 이상의 천식환자들은 경도의 천식환자나 정상인에 비하여 기관지 외경에 비해 기관지벽이 훨씬 두껍고 전체 기관지(외경)의 면적에서 기관지벽 부분이 차지하는 비율이 더 증가한다¹⁹. Okazawa 등은 6명의 정상인과 6명의 경증/중등도 천식환자를 대상으로 methacholine 자극 검사 전후 촬영한 CT에서 천식환자와 정상인 모두 기관지 내경이 감소하는 것을 발견하였다¹⁷. 저자들은 methacholine에 의한 기도수축으로

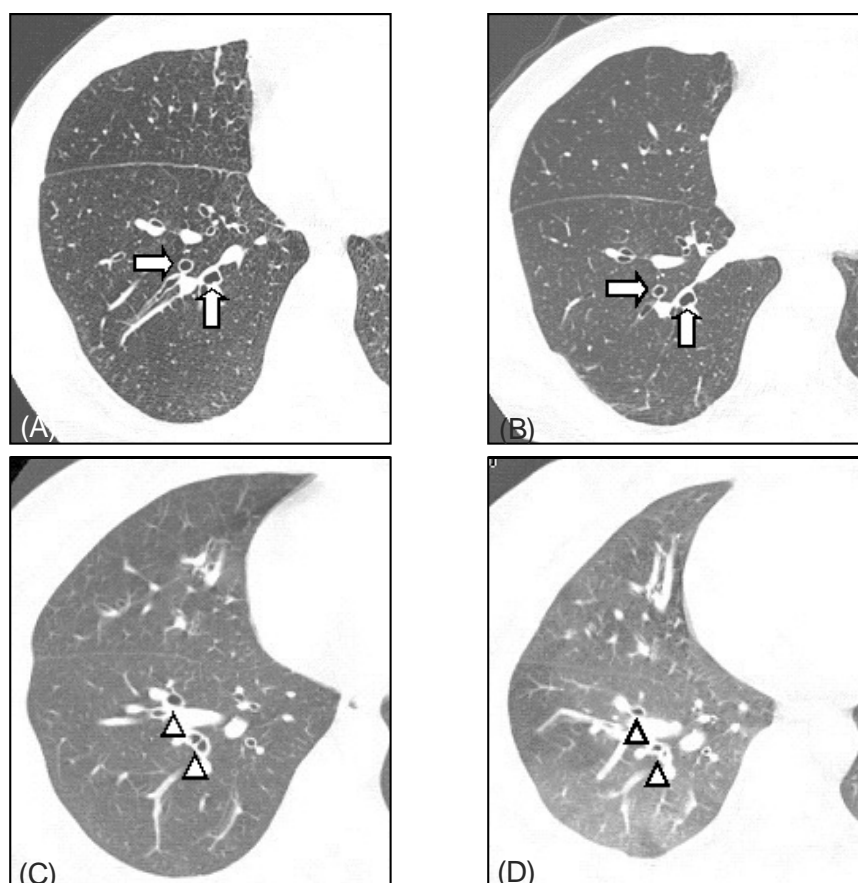


Figure 3. Airway narrowing in response to inhaled methacholine in normal subjects and in patients with asthma. Bronchial diameter of the asthmatic subjects (C: pre-methacholine challenge, D: post-methacholine challenge) are significantly decreased and that the bronchial wall area does not change after bronchoconstriction (arrowheads) whereas it decreases in normal subjects (arrows) (A: pre-methacholine challenge, B: post-methacholine challenge).

정상인에서는 기관지벽이 차지하는 면적이 감소하지만, 천식환자의 기관지벽의 면적 감소가 없었다. 이는 아마도 주변 폐조직의 탄성반동력이 감소하여 기도벽이 좀 더 팽팽해지고 부종이 생긴 것으로 추정하였다¹⁷. 다른 보고자들은 methacholine 흡입 이후 전반적인 기관지 수축이 있음을 발견하였고 중간 크기의 기관지(내경이 2-4mm 정도)가 대부분이었다고 보고하였다²⁵. 정상인에서는 기관지 협착이 생기는 동안 기관지벽의 두께가 감소하며, 이 소견은 내경이 6mm 이하의 기도에서 더욱 뚜렷하였다²⁵.

기관지 수축제 주입 전후의 기도 변화를 비교하기 위한 CT 촬영(Figure 3)에서 한번 흡기 또는 호기 동안 1mm 절편 영상으로 폐의 전체를 얻을 수 있는 나선형 CT 혹은 다중검출 CT(Multidetector row Computed tomography, MDCT)가 유용하게 사용되고 있다.

기관지 확장(Bronchial Dilatation)

천식환자의 기관지는 확장 될 수 있는데 그 기준은 기관지 내경과 동행하는 폐동맥의 직경의 비로 결정할 수 있다^{6,18}. 임상적으로 알레르기성 기관지폐 아스페르길루스증을 동반하지 않은 천식환자에서 기관지 확장의 소견을 보이는 비율은 연구에 따라 18%에서부터 77%까지 다양하게 보고되고 있고, 이러한 비율은 정상 대조군에 비해서 유의하게 높다. 예를 들어 한 연구에서 CT를 시행한 39명의 천식환자 중 31%에서 기관지 확장의 소견이 보였고, 정상인은 14명 중 14%에서 기관지 확장의 소견이 보였다¹⁸. 일반적으로 정상인에서 기관지의 내경은 동행하는 폐동맥에 비하여 5%에서 20%까지 더 크다고 보고되어 있다^{6,18}. 기관지 확장에 대한 다른 설명으로 동행하는 폐동맥의 직경이 감소하여 그 결과로 상대적으로 기관지 내경이 커 보인다는 주장이 있다. 최근 보고에 따르면 기관지/동맥 비는 고지대에서 검사를 시행한 환자에서 더 크게 나타났는데 그 이유는 고지대 주민들은 저산소증에 의한 혈관수축 때문에 상대적으로 기관지 내경이 크게 보인다고 설명하였다²⁶. 어떤 천식환자에서는 실제 기관지 내경은 같지만 두꺼워진

기관지벽 때문에 더 크게 보이는 착시 현상으로 주변 혈관에 비하여 기관지가 확장된 것처럼 보일 수 있다고 하였다²⁶. 천식환자에서 기관지 확장의 원인으로는 반복적인 염증반응에 의한 지속적인 손상, 임상적으로 나타나지 않은 알레르기성 기관지폐 아스페르길루스증이 동반되었기 때문이거나 유년기에 심한 감염성 질환을 앓았던 경우 등이 포함된다.

천식환자에서 기관지 확장이 보이는 비율을 CT로 조사한 연구에서 천식환자 48명 중 37명, 대조군 27명 중 16명에서 적어도 한 개 이상의 기관지에서 동행하는 폐동맥보다 내경이 확장된 소견을 보였다⁶. 천식환자의 확장된 기관지는 연속된 CT 절편에서 정상 기관지에서 보이는 점점 가늘어지는 소견이 없으며 주변 동맥의 내경에 비해 1.5배 이상 커진 기관지도 없었다⁶. 이런 소견을 고려해 볼 때, 경도의 기관지 확장 소견은 천식환자 뿐만 아니라 정상 대조군에서도 보일 수 있다. 천식환자에 있어서 폐동맥 직경의 감소는 부분적인 공기 포획과 연관된 저 산소성 폐혈관 수축에 기인 한다고 생각할 수 있다. 이러한 저산소성 폐동맥 수축의 영향으로 기관/동맥 비의 가시적인 과평가가 있을 수 있기 때문에 천식환자에서 경증의 원통형의 기관지 확장(cylindrical bronchiectasis)을 평가할 때는 주의를 해야 한다(Figure 4).

공기포획 (Air Trapping)

천식환자의 다른 HRCT 소견으로는 국소적인 저음영 및 혈관의 감소 그리고 공기포획 등이 있다^{18,27}. 이런 소견들은 무증상의 천식 환자에서도 흔히 관찰되는 폐 환기-관류 이상의 결과이고 이는 방사선 동위원소 검사에서 잘 나타난다²⁸. 한 연구자는 천식환자의 호기 HRCT에서 공기 포획이 약 50%에서 보이며 정상인에서는 14%에서 보인다고 보고하였다¹⁸. 또한 폐기능 검사에서 FEV₁이 80% 이상인 정상에 가까운 천식환자에서도 공기포획이 45%에서, 60% < FEV₁ < 79% 인 경우는 50%에서, FEV₁이 60% 미만인 환자에서는 67%에서 보인다고 하였다¹⁸. 국내에서도 천식환자의 HRCT에서 공기포획을 정량 분석한 황 등의 보고에 의하면 공기포획의 범위는 FEV₁ 및

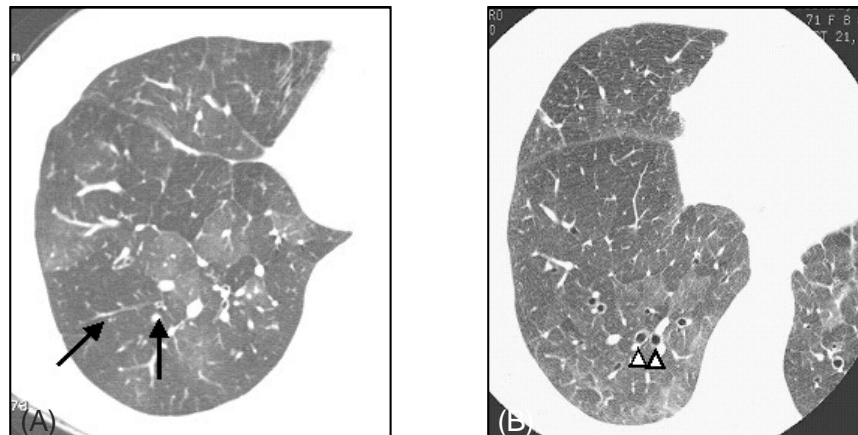


Figure 4. Bronchial dilatation in patients with bronchial asthma. (A) HRCT scan obtained at level of basal segmental bronchi shows visual overestimation of bronchoarterial ratio at area of low attenuation (air trapping) due to hypoxic pulmonary vasoconstriction (arrows). (B) HRCT scan of another patients with bronchial asthma shows tubular dilatation of bronchi (arrowheads) at normal ventilated lung, making diagnosis of cylindrical bronchiectasis.

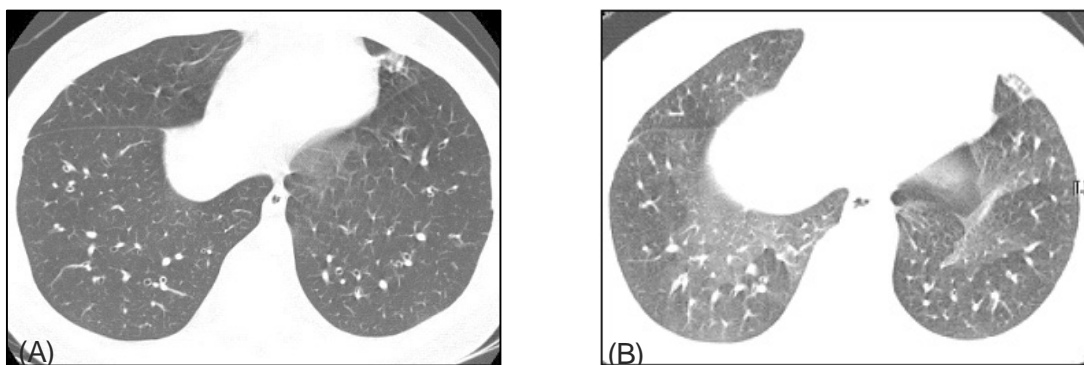


Figure 5. Air trapping in patient with bronchial asthma. (A) HRCT scan obtained at level of liver dome shows diffuse bronchial wall thickening without area of low attenuation during end-inspiration. (B) HRCT scan obtained at same level shows geographic air trapping in both basal lungs during full expiration.

MEFR과 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다²⁹.

폐음영 감소의 정도는 평균 폐음영 밀도를 densitometry를 이용하여 측정하거나 기준치(-900HU)이하의 CT 음영을 가지는 폐의 영역을 전체 폐영역에 대한 비율로 정량 분석 할 수 있다¹⁶. 연구자들은 18명의 천식환자와 22명의 정상인을 대상으로 최대 호기 시에 횡격막 상부에서 얻어진 CT 영상을 분석한 결과 정상 대조군보다 천식 환자에서 통계학적으로 유의하게 음영이 낮은 것을 확인하였다¹⁶. 최근 Gevenois 등은 10명의 천식환자를 대상으로 시행한 흡기 CT에서의 폐음영은 급성 공기포획이나 만성 과통기

에 의해 영향을 받지 않는다고 주장하였으며, 따라서 호기 CT 검사만이 천식 환자의 공기포획의 정도를 평가 할 수 있는 유용한 검사 방법이라고 보고하였다³⁰ (Figure 5).

흡기와 호기 CT에서 음영의 밀도 수치를 정량적으로 비교하면 폐음영의 감소가 폐 기종에 의한 것인지 천식에 의한 것 인지를 구별할 수 있다. 천식환자에서 저음영 부위는 공기포획 뿐만 아니라 중심소엽성 폐 기종에서도 관찰된다. 천식환자에서 CT 검사는 폐기종의 정도를 동시에 나타낼 수 있는 가치 있는 검사이다³¹.

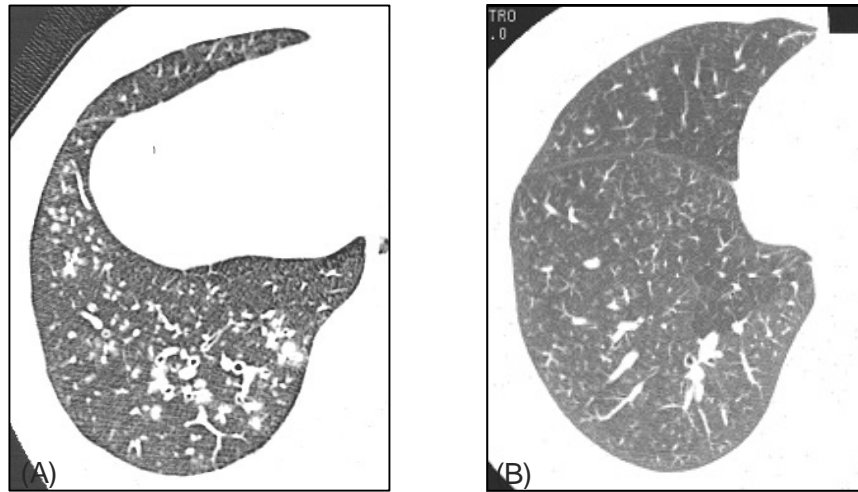


Figure 6. Centrilobular thickening in patients with bronchial asthma. (A) HRCT scan obtained at level of liver dome (A) and basal segmental bronchi (B) shows extensive (A) or mild (B) prominent centrilobular and branching linear nodules in the right middle and lower lobes, suggesting mucoid impaction in small airway or peribronchiolar infiltration.

점액 저류 (Mucoid Impaction)

점액 저류는 천식환자의 약 21%에서 보고 되고 있으며 이런 소견은 치료 후 소멸 될 수 있다⁴. 분지상 혹은 중심소엽성 결절 음영은 천식 환자의 10%에서 21%까지 관찰되며(Figure 6) 때때로 나무의 꽃봉오리 같은 모양(Tree-in-bud)도 관찰된다고 보고하였다⁶. 이러한 소견은 점액 저류 뿐만이 아니라 세기관지벽 비후, 염증 혹은 근층의 비대를 반영한다.

Lee 등은 치명적 천식에서 중심소엽성 결절 등의 소기도 병변이 기관지벽 비후나 공기포획 보다 연관성이 있음을 최근 보고하였다³².

합병증을 동반한 천식의 방사선학적 소견

천식과 흔히 동반되는 질환 및 천식의 합병증은 단순흉부사진에서 기강경화 (airspace consolidation), 무기폐, 점액저류, 기흉, 기종격동, 그리고 알레르기성 기관지폐 아스페르길루스증(allergic bronchopulmonary aspergillosis) 등이다. 알레르기성 기관지폐 아스페르길루스증을 제외하고는 대부분의 합병증들이 성인보다는 소아에 호발한다. 성인 천식환자 1,016명에 대한 후향적 연구에 의하면 입원 당시 단순흉부사진의 약 8.2%에서 기흉 등의 합병증을 관찰할 수 있

었다³³.

천식환자의 단순흉부사진에서 기강경화는 감염성 질환이 주원인이나 알레르기성 기관지폐 아스페르길루스증이 동반과 관계없이 호산구성 폐침윤이 원인이 되기도 한다. 무기폐는 아분절성에서부터 엽성까지 다양하게 올 수 있으며, 간혹 한쪽 폐 전체에도 올 수 있다. 그러나 무기폐는 급성발병, 호흡기 감염 또는 천식의 악화를 반드시 동반하지는 않는다. 이러한 무기폐는 성인 및 소아 모두에서 우중엽에 가장 잘 호발한다³⁴. 무기폐의 원인은 기도의 점액저류 및 소기도의 점액 플러그가 주원인이다. 소아에서는 무기폐와 기강경화가 동시에 오는 경우도 많다³⁵.

성인 천식환자에서는 기흉은 빈도가 매우 적은 합병증이다. 보고에 의하면 556명의 성인 천식환자 중 단지 3명만이 기흉이 발생하였으며³⁶, 다른 보고에서도 기흉의 빈도는 1:300에서 1:1,100 등으로 보고되고 있다³⁷. 기흉은 positive pressure ventilation을 받는 천식환자에서 발생한 긴장성 기흉(tension pneumothorax)을 제외하고는 거의 사망의 원인은 되지 않는다.

성인 천식환자에서 기종격동은 기흉과 마찬가지로 빈도가 매우 낮으며, 보고에 의하면 성인 환자 566명 중 2명에서 기종격동이 발생하였다³⁶. 그러나 소아에서는 비교적 드물지 않게 기종격동이 발생하는데 소아 천식으로 입원한 환자 515명 중 5.4%에서 발생하

였다는 보고가 있으며³⁴, 이는 기흉보다 약 10배 이상의 빈도이다³⁸.

천식으로 입원이 필요한 모든 환자에서 단순흉부사진의 촬영을 권하는데, 이 가운데 약 9%에서 치료 방침을 변경할 정도의 방사선 소견을 보였다³⁵. 단순흉부사진의 촬영은 기계호흡의 시행 전에 반드시 필요하며, 천식의 치료에 반응이 없을 경우에도 다른 원인의 발견을 위하여 필요하다.

천명음이 들리는 기타 폐병변

호흡곤란을 주소로 내원한 젊은 환자의 청진에서 천명음이 들리고, 단순흉부사진에서 일견하여 이상이 없으면, 천식으로 진단하려는 경향이 있다. 그러나 청진상 천명음이 들리며 천식과 감별해야 할 질환군은 상대의 기능장애, 기도폐쇄, 기관지결석 또는 침윤성 폐질환에 의한 소기도 폐쇄 및 심부전 등이다. 기도폐쇄 소견은 기관분기구에 위치하는 경우를 제외하면 비교적 정면 및 측면 단순흉부사진에서 잘 관찰할 수 있다. 기관이나 큰 기관지에 국소적으로 폐쇄를 일으키는 질환은 양성 및 악성 종양과 기관지결석 또는 기관내 삽관의 합병증 등이다. 미만성으로 폐쇄를 일으키는 질환은 유육종증(sarcoidosis), 베게너육아종증(Wegener's granulomatosis), 유전분증(amyloidosis), 과민성폐장염(hypersensitivity pneumonitis) 등의 침윤성 질환군과 재발성다발성연골염(relapsing polychondritis), 기관기관지 골연골증식증(tracheobronchopathia osteochondroplastica) 등의 연골에 발생하는 질환군이 있다. MDCT 후 3차원 입체영상(three-dimensional rendering) 및 다면 재구성(three-planar reformation)이 수술계획 수립을 위한 해부학적 구조를 파악하는데 매우 도움이 되고 있다.

참 고 문 헌

1. American Thoracic Society. Standards for the diagnosis and case of patients with chronic obstructive pulmonary disease and asthma: the ATS board of directors, Nov 1986. *Am Rev Respir Dis* 1987;136:225-44.
2. Bousquet J, Chanez P, Lacoste JY, Barneon G, Ghanian N, Enander I, et al. Eosinophilic inflammation in asthma. *N Eng J Med* 1990;323:1033-9.
3. Bousquet J, Jeffery PK, Busse WW, Johnson M, Vignola AM. Asthma: from bronchoconstriction to airways inflammation and remodeling. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:1720-45.
4. Paganin F, Trussard V, Seneterre E, Chanez P, Giron J, Godard P, et al. Chest radiography and high resolution computed tomography of the lungs in asthma. *Am Rev Respir Dis* 1992;146:1084-7.
5. Webb WR. Radiology of obstructive pulmonary disease. *AJR Am J Roentgenol* 1997;169:637-47.
6. Lynch DA, Newell JD, Tschomper BA, Cink TM, Newman LS, Bethel R. Uncomplicated asthma in adults: comparison of CT appearance of the lungs in asthmatic and healthy subjects. *Radiology* 1993;188:829-33.
7. Hodson ME, Simon G, Batten JC. Radiology of uncomplicated asthma. *Thorax* 1974;29:269-304.
8. Rebuck AS. Radiological aspects of severe asthma. *Australas Radiol* 1970;14:264-8.
9. Rubenstein HS, Rosner BA, LeMay M, Neidorf R. The value of the chest X-ray in making the diagnosis of bronchial asthma. *Adolescence* 1993;28:505-16.
10. Blackie SP, al-Majed S, Staples CA, Hilliam C, Pare PD. Changes in total lung capacity during acute spontaneous asthma. *Am Rev Respir Dis* 1990;142:79-83.
11. Webb WR, Gamsu G, Wall SD, Cann CE, Proctor E. CT of a bronchial phantom: factors affecting appearance and size measurements. *Invest Radiol* 1984;19:394-8.
12. McNamara AE, Müller NL, Okazawa M, Amtorp J, Wiggs BR, Pare PD. Airway narrowing in excised canine lungs measured by high-resolution computed tomography. *J Appl Physiol* 1992;73:307-16.
13. Bankier AA, Fleischmann D, Mallek R, Windisch A, Winkelbauer FW, Kontrus M, et al. Bronchial wall thickness: appropriate window settings for thin section CT and Radiologic-anatomic correlation. *Radiology* 1996;199:831-6.
14. Amirav I, Kramer S, Grunstein MM, Hoffman EA. Assessment of methacholine-induced airway constriction with ultrafast high-resolution computed tomography. *J Appl Physiol* 1993;75:2239-50.
15. Herold CJ, Brown RH, Mitzner W, Links JM, Hirshman CA, Zerheuni EA. Assessment of pulmonary airway reactivity with high-resolution CT. *Radiology* 1991;181:369-74.
16. Newman KB, Lynch DA, Newman LS, Ellegood D, Newell JD Jr. Quantitative computed tomography detects air trapping due to asthma. *Chest* 1994;106:105-9.
17. Okazawa M, Müller NL, McNamara AE, Child S,

- Verburgt L, Pare PD. Human airway narrowing measured using high resolution computed tomography. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:1557-62.
18. Park CS, Müller NL, Worthy SA, Kim JS, Awadh N, Fitzgerald M. Airway obstruction in asthmatic and healthy individuals: inspiratory and expiratory thin section CT findings. *Radiology* 1997;203:361-7.
 19. Awadh N, Müller NL, Park CS, Abboud RT, Fitzgerald JM. Airway wall thickness in patients with near fatal asthma and control group: assessment with high resolution computed tomographic scanning. *Thorax* 1998;53:248-53.
 20. Little SA, Sproule MW, Cowan MD, Macleod KJ, Robertson M, Love JG, et al. High resolution computed tomographic assessment of airway wall thickness in chronic asthma: reproducibility and relationship with lung function and severity. *Thorax* 2002;57:247-53.
 21. Kasahara K, Shiba K, Ozawa T, Okuda K, Adachi M. Correlation between the bronchial subepithelial layer and whole airway thickness in patients with asthma. *Thorax* 2002;57:242-6.
 22. Choi GC, Lee SK, Park JS, Cha CH, Kim YT, Choi DR, et al. Comparison of high-resolution CT findings between asthmatics and control subjects. *J Korean Radiol Soc* 1996;34:763-7.
 23. Silva CI, Colby TV, Müller NL. Asthma and associated conditions: high-resolution CT and pathologic findings. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183:817-24.
 24. Brown PJ, Greville HW, Finucane KE. Asthma and irreversible airflow obstruction. *Thorax* 1984;39:131-6.
 25. Kee ST, Fahy JV, Chen DR, Gamsu G. High-resolution computed tomography of airway changes after induced bronchoconstriction and bronchodilatation in asthmatic volunteers. *Acad Radiol* 1996;3:389-94.
 26. Kim JS, Müller NL, Park CS, Lynch DA, Newman LS, Grenier P, et al. Broncho-arterial ratio on thin-section CT: comparison between high altitude and sea level. *J Comput Assist Tomogr* 1997;21:306-11.
 27. Lynch DA. Imaging of asthma and allergic bronchopulmonary mycosis. *Radiol Clin North Am* 1998;36:129-42.
 28. Ferrer A, Roca J, Wagner PD, Lopez FA, Rodriguez-Roisin R. Airway obstruction and ventilation-perfusion relationships in acute severe asthma. *Am Rev Respir Dis* 1993;147:579-84.
 29. Hwang JH, Cha CH, Park JS, Kim YB, Lee HK, Choi DL, et al. Air trapping on HRCT in asthmatics: correlation with pulmonary function test. *J Korean Radiol Soc* 1997;36:235-40.
 30. Gevenois PA, Scillia P, de Maertelaer V, Michils A, de Vuyst P, Yernault JC. The effects of age, sex, lung size, and hyperinflation on CT lung densitometry. *AJR Am J Roentgenol* 1996;167:1169-73.
 31. Kinsella MM, Müller NL, Staples C, Vedal S, Chan-Yeung M. Hyperinflation in asthma and emphysema: assessment by pulmonary function testing and computed tomography. *Chest* 1988;94:286-9.
 32. Lee YM, Park JS, Hwang JH, Park SW, Uh ST, Kim YH, et al. High-resolution CT findings in patients with near-fatal asthma: comparison of patients with mild-to-severe asthma and normal control subjects and changes in airway abnormalities following steroid treatment. *Chest* 2004;126:1840-8.
 33. Pickup CM, Nee PA, Randall PE. Radiographic features in 1,016 adults admitted to hospital with acute asthma. *J Accid Emerg Med* 1994;11:234-7.
 34. Eggleston PA, Ward BH, Pierson WE, Bierman CW. Radiographic abnormalities in acute asthma in children. *Pediatrics* 1974;54:442-9.
 35. Petheram JS, Kerr IH, Collins JV. Value of chest radiographs in severe acute asthma. *Clin Radiol* 1981;32:281-2.
 36. Zieverink SE, Harper AP, Holden RW, Klatte EC, Brittain H. Emergency room radiography of asthma: an efficacy study. *Radiology* 1982;145:27-9.
 37. Burke GJ. Pneumothorax complicating acute asthma. *S Afr Med J* 1979;55:508-10.
 38. Bierman CW. Pneumomediastinum and pneumothorax complicating asthma in children. *Am J Dis Child* 1967;114:42-50.