

Multi-Detector Row CT를 이용한 중심부 기도 질환의 평가

고려대학교 의과대학 진단방사선과학교실

강 은 영

=Abstract=

Multi-Detector Row CT of the Central Airway Disease

Eun-Young Kang, M.D.

Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Korea University

Multi-detector row CT (MDCT) provides faster speed, longer coverage in conjunction with thin slices, improved spatial resolution, and ability to produce high quality multiplanar and three-dimensional (3D) images. MDCT has revolutionized the non-invasive evaluation of the central airways. Simultaneous display of axial, multiplanar, and 3D images raises precision and accuracy of the radiologic diagnosis of central airway diseases. This article introduces central airway imaging with MDCT emphasizing on the emerging role of multiplanar and 3D reconstruction. (Tuberculosis and Respiratory Diseases 2003, 55:239-248)

Key words : Trachea, Bronchi, Multi-detector row computed tomography (MDCT), Three-dimensional (3D) CT imaging

Multi-detector row CT(MDCT)는 빠른 시간에 얇은 절편두께로 넓은 부위의 용적 자료(volumetric data)를 얻어 양질의 축면(axial) 영상 뿐 아니라 높은 해상력의 다양한 이차원 및 삼차원 영상의 재구성이 가능하다¹⁻⁴. MDCT는 영상진단분야를 크게 혁신하였으며 동시에 기도질환의 평가에도 더욱 정확한 정보를 제공하게 되었다.

MDCT는 multi-detector row CT, multidetector

CT, multi-row detector CT, multi-slice CT, multisecion CT등 다양한 명칭으로 불리지만, multi-detector row CT라는 명칭을 가장 널리 사용하고 가장 적절한 명칭이다. 방사선과 영상진단 분야에 1972년 처음 CT가 도입된 이후, 1989년에는 나선형 CT (spiral CT, helical CT), 1998년에는 4-channel MDCT, 2002년에는 16-channel MDCT가 도입되었다¹. MDCT도입은 CT와 나선

Address for correspondence :

Eun-Young Kang, M.D.

Department of Diagnostic Radiology, Korea University Guro Hospital

80 Guro-dong, Guro-ku, 152-050, Seoul, Korea

Phone : 02-818-6786 Fax : 02-863-9282 E-mail : keyrad@korea.ac.kr

형 CT에 이어 영상진단분야에 또 하나의 도약의 발판이 되었다.

MDCT에 대한 간략한 설명, 중심부 기도질환을 평가하기 위한 새로운 영상처리 방법, 중심부 기도 질환의 평가를 위한 MDCT의 임상적 적용에 대해서 기술하고자 한다.

Multi-Detector Row CT의 이해

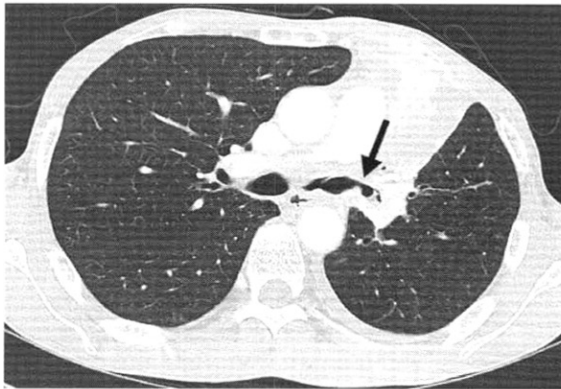
나선형 CT는 CT gantry내에 X-선을 내보내는 관(tube)과 반대편에 환자의 몸을 통과한 X-선을 받아들이는 검출기(detector)가 있으며, 이 둘은 서로 마주보면서 정해진 축을 중심으로 한쪽 방향으로 계속 회전하고 환자가 누워있는 테이블이 일정속도로 움직이면서 인체의 단면 영상을 얻는다.

Single-detector row CT(single spiral CT, SDCT)는 CT gantry가 1번 회전할 때, 한 개 channel의 영상정보를 얻는다. 예를 들어 32 절편(slice)을 얻고자 할 때는 pitch 1로 CT gantry가 32번을 회전하고, 따라서 1번 회전에 1초가 걸리면 총 32초의 시간이 걸린다. 반면 MDCT에서는 한 줄의 검출기에서 여러 줄의 검출기로 대체되었고, 여러 줄의 검출기는 CT gantry가 1번 회전할 때 여러 개의 영상정보를 동시에 얻는다. 검출기 줄의 정렬(array)이 gantry 1 회전 당 동시에 4개 channel의 정보를 얻으면 4-channel scanner라고 하며, 동시에 16개 channel의 정보를 얻으면 16-channel scanner라고 한다. 따라서 SDCT는 32 slices를 얻고자 할 때 gantry가 32번 회전하였으나, 4-channel MDCT는 8번의 회전으로, 16-channel MDCT는 2번 회전으로 가능하다. Gantry가 1번 회전할 때 1초가 걸린다면 32 절편을 얻는데 SDCT는 32초, 4-channel MDCT는 8초, 16-channel MDCT에서는 2초가 각각 걸린다. Gantry 1회전 시간이 0.5초가 되면 32 slice를 얻는데 4-channel MDCT에서는 4초 16-channel

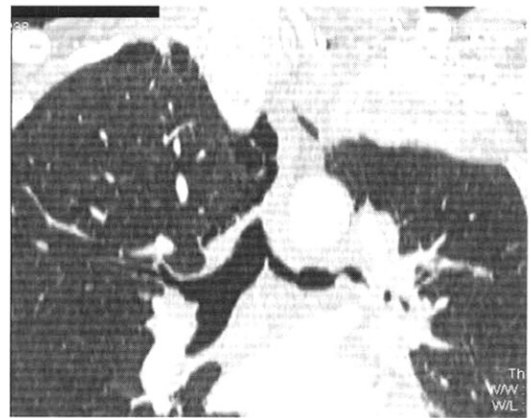
MDCT에서는 1초가 걸린다. 16-channel MDCT에서 gantry가 1번 회전할 때 0.4초가 걸리면 1초에 38 slices를 얻게 된다¹. 즉 MDCT는 더 빠른 시간 안에 더 넓은 영역을 스캔할 수 있다.

절편 두께(slice thickness)는 SDCT에서는 X-ray beam collimation의 두께에 따라 결정되며, 보통은 1-10mm 범위이다. 그러나 MDCT에서는 절편두께는 X-ray beam collimation과 검출기의 구성과 배열에 따라 결정된다. 검출기의 구성과 배열은 기기 회사마다 차이가 있다. MDCT에서는 매우 얇은 절편두께로 스캔이 가능하며, 얇은 절편두께의 스캔은 매우 세밀한 평면영상의 구성이 가능하고, 스캔 후 다양한 양질의 이차원과 삼차원영상의 처리가 가능하다. 얇은 절편두께는 CT의 용적 자료의 voxel(volumetric element)이 정육면체가 되어 등방성 영상(isotropic imaging)이 가능하다. 등방성 영상이 되면 스캔할 때 축(axial)면, 관상(coronal)면, 시상(sagittal)면으로 여러 번 직접 스캔할 필요가 없고, 한번 스캔으로 용적 자료를 얻은 후 스캔 후 처리과정에서 다양한 이차원과 삼차원 영상을 동일한 높은 해상도로 만들 수 있다¹.

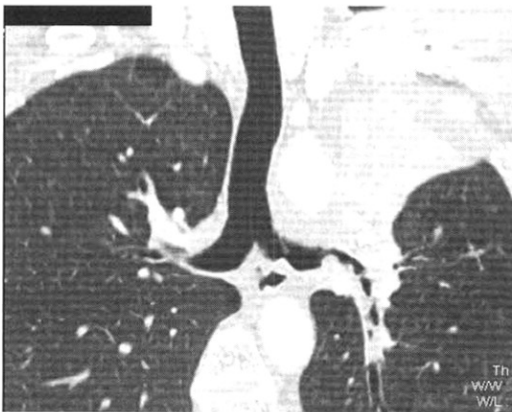
MDCT는 SDCT에 비해 더 빠르게 더 넓은 영역을 한번에 스캔할 수 있으며, 이런 빠른 속도는 역동적인 순간을 잡아낼 수 있어 뇌 관류(perfusion) 연구와 CT 혈관조영술(angiography)이 가능하다¹. MDCT는 밀리미터 이하의 절편두께로 스캔이 가능함으로 초 고해상영상이 가능하다¹. 또한 MDCT는 SDCT에 비해 움직임에 의한 인공물이 감소하여 더 좋은 해상력을 갖는다. SDCT에 비해 염려하였던 방사선 조사량도 저 선량(low dose) 기법으로 좋은 영상의 질을 유지하면서 줄일 수 있다^{5,6}. 따라서 MDCT는 기존의 CT영상에 비해 월등한 다양한 고해상도의 이차원 및 삼차원영상이 가능하며, 이러한 영상은 중심부 기도 질환의 진단에 더욱 기여할 것이다.



1A



1B



1C

Fig. 1. A 51-year-old man with giant cell carcinoma.

A. Axial CT image shows tumor in left hilum and atelectasis of left upper lobe. Bronchial narrowing with intraluminal polypoid lesions (arrow) are also seen in left main bronchus.

B. Multiplanar reformatted image (MPR) in coronal plane shows bronchial narrowing with intraluminal polypoid lesion in left main bronchus.

C. Curved MPR along the trachea and left main bronchus can show bronchial narrowing with polypoid lesions. Curved MPR depicts entire central airway more clearly in one plane than MPR.

중심부 기도평가를 위한 MDCT 영상기법

MDCT는 더 얇은 절편 두께로, 더 빠르게, 더 넓은 Z-axis 범위의 스캔이 가능하며, MDCT에 의한 용적 자료는 정육면체에 가까운 voxel로 이루어 지므로 높은 해상도의 이차원 및 삼차원영상을 만들 수 있다^{1-4,7}. 또한 컴퓨터의 소프트웨어가 향상되어 CT 스캔 후 영상을 만들기 위한 다양한 처리과정이 단시간에 가능하게 되었다⁷. 대부분의 상품화되어 있는 정보처리시스템(workstation)에서 다양한 재구성 기법들이 미리 준비되어 선택 메뉴로 제공되므로 빠른 시간에 다양한 이차원 및 삼차원영상을 쉽게 만들 수 있다.

영상처리방법으로는 단순 측면 영상뿐 아니라 다면 재구성 영상(multiplanar reformatted images, MPR), 삼차원 shaded surface display(SSD)과 volume rendering, maximum intensity projection, 그리고 minimum intensity projection 영상 등이 있다^{7,8}. CT 판독 시에 다양한 이차원 및 삼차원 영상을 동시에 고려해서 진단한다면 진단의 민감도와 정확도를 향상시킬 수 있다⁹.

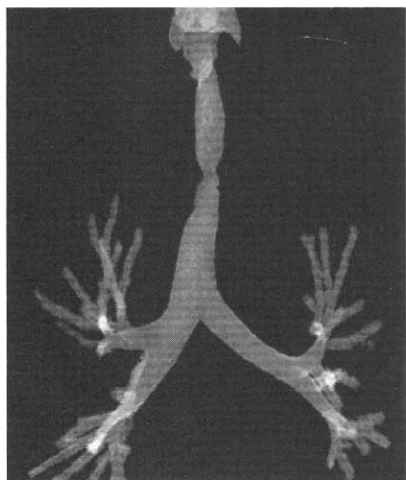
다양한 영상 처리 방법 중 중심부 기도질환의 평가에 중요한 역할을 담당하는 MPR, 가상 기관지내시경(virtual bronchoscopy), CT 기관지조영술(CT bronchography), 그리고 호흡 역동적 CT(respiratory dynamic CT)를 소개하고자 한다.



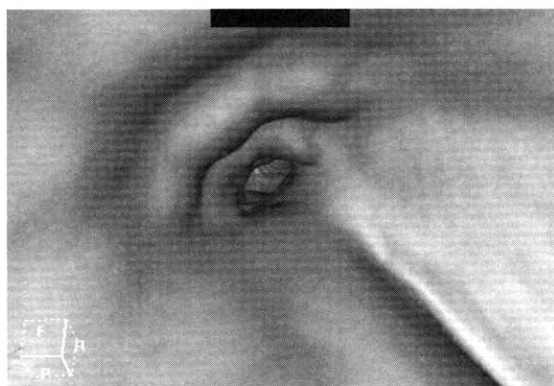
2A



2B



2C



2D

Fig. 2. A 55-year-old woman with tracheal stricture due to complication of previous endotracheal intubation.
A. Transaxial CT scan shows the narrowed trachea with wall thickening.
B. Curved multiplanar reformatted image in coronal plane shows short longitudinal extent of stenotic area in trachea.
C. CT bronchography shows exact location and degree of tracheal stenosis.
D. Virtual bronchoscopy assesses the internal morphology of the stenotic area.

다면 재구성 영상(Multiplanar Reformatted Image)

가장 쉽고 단순하면서도 활용도가 높은 재구성 영상기법은 MPR(Multiplanar Reformatted Image)이다. MDCT에서 얻은 용적 자료는 각각의 작은 정육면체의 voxel로 구성되어 있다. 따라서 축면 영상

의 다양한 사면 영상을 축면 영상과 동일한 해상도로 구성할 수 있다(Fig. 1). MPR영상은 축면 영상에서 판단하기 어려웠던 질환의 상하범위 평가의 제한점을 해결해 줄 수 있다. 또한 CurvedMPR이 가능하며, 이는 한 평면에 다 표현할 수 없었던 구조물을 추적하여 한 평면에 표현할 수 있도록 하였다(Fig. 1C)⁷. 따라서 질환의 상하범위 평가 뿐 아

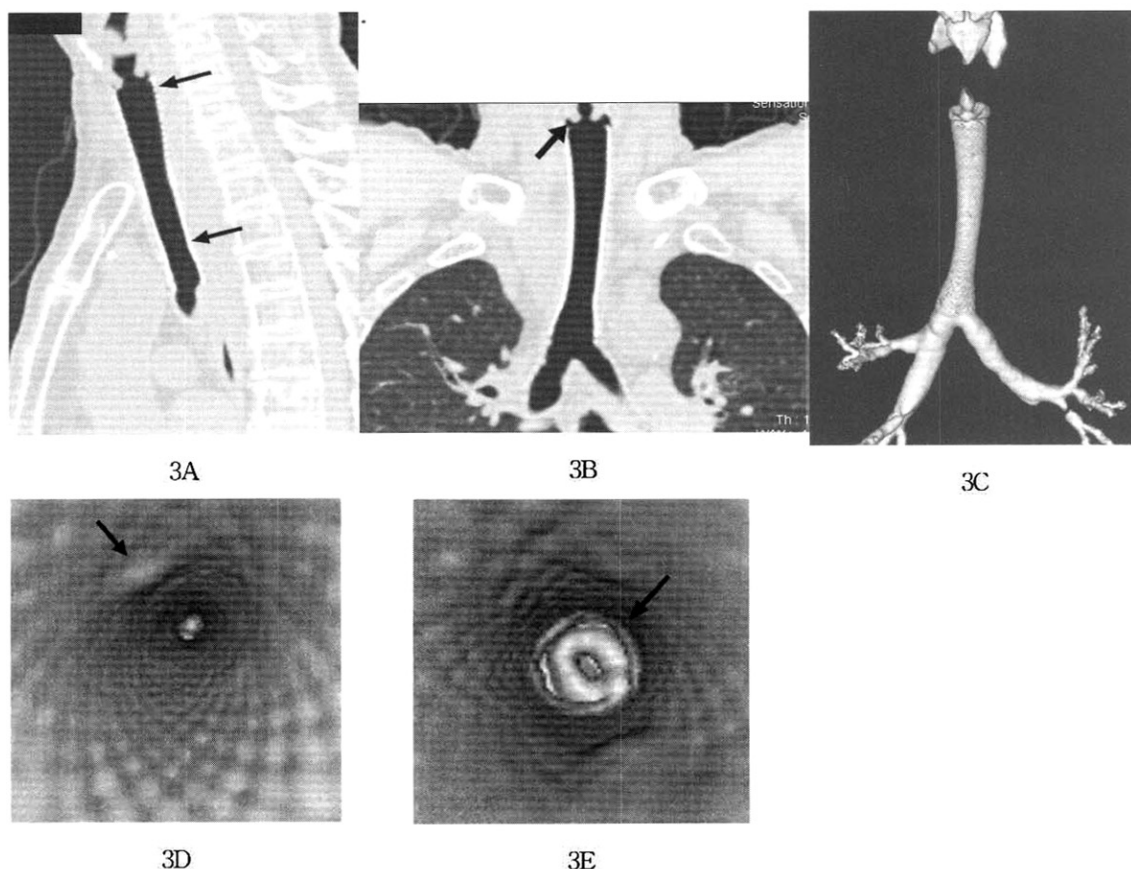


Fig. 3. A 66-year-old man with tracheal narrowing due to compression by esophageal cancer. A metal stent was inserted in narrowed segment of trachea but the patient complains dyspnea continuously. Impaction of the tumor in the stent produces upward migration of the stent with subsequent mucosal plication in subglottic trachea. Plication of mucosa produces focal narrowing of tracheal lumen and bronchoscopy can't pass distal to narrowing point.

A. Multiplanar reformatted image (MPR) in sagittal plane shows location and patency of stent(arrows).

B. Curved MPR in coronal plane demonstrates mucosal plication with narrowing of subglottic trachea (arrow).

C. Three-dimensional (3D) volume rendered image of airway displays location of tracheal stent. 3D image provides more accurate assessment of overall location of tracheal stent.

D. Descending view of virtual bronchoscopy shows wire-meshed stent and focal intraluminal protrusion of tumor (arrow).

E. Ascending view of virtual bronchoscopy shows plication with narrowing of subglottic trachea (arrow). Virtual bronchoscopy obtains images distal to stenosis that can't be passed by bronchoscopy.

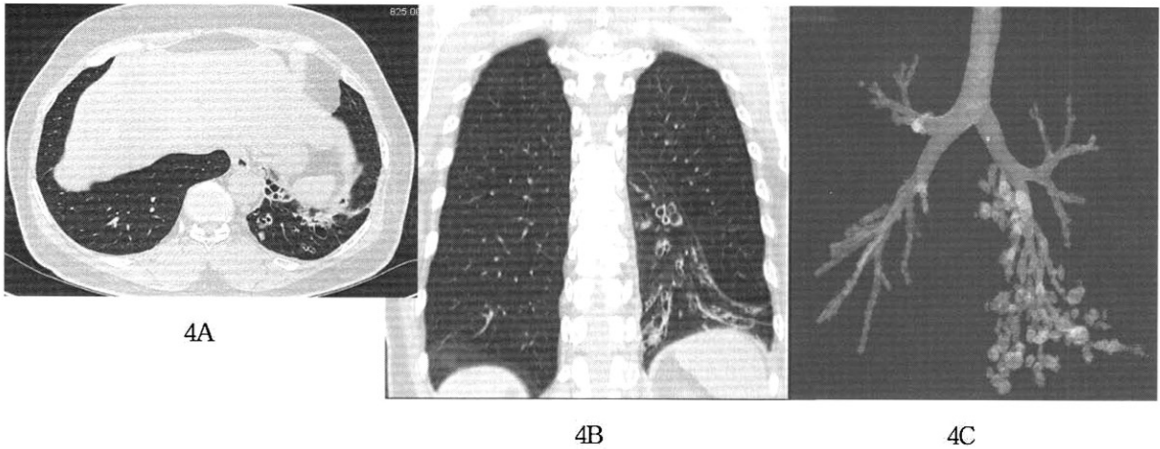


Fig. 4. A 50-year-old woman with bronchiectasis.

A. High-resolution CT scan at the level of lung base shows bronchial dilation, bronchial wall thickening, and volume loss in left lower lobe.

B. Multiplanar reformatted image in coronal plane better depicts cephalocaudal distribution of bronchiectasis of left lower lobe than axial CT image.

C. CT bronchography in left posterior oblique view of bronchial tree can readily show cystic bronchial dilation in left lower lobe.

나라 기도 직경 평가의 오차까지도 줄일 수 있다³⁷.

가상 기관지내시경 (Virtual Bronchoscopy)

가상 기관지내시경은 나선형 CT를 이용하여 얻은 용적 자료를 관찰자의 시각이 기도 내에 있도록 기도를 삼차원으로 재구성하는 방법이다^{8,10}. 가상 기관지내시경은 마치 실제의 기관지내시경과 유사한 기도내의 영상을 원근감 있게 만들어 낸다(Fig. 2D). 가상 기관지내시경은 CT 측면 영상이나 이차원 재구성영상에 비해 좀더 사실적으로 기도를 평가한다⁸.

가상 기관지내시경은 세분절(subsegmental) 기관지까지 적용할 수 있으며, 기도내의 병변을 잘 그려내며, 병변의 위치와 정도, 기도협착부의 모양은 기관지내시경과 비교하여 훌륭한 상관성을 보여주었다. Summers등¹⁰은 팬텀을 이용한 실험에서 가상 기관지내시경을 이용하여 5mm이상의 기도내

폴립양 병변을 찾는데 90%이상의 민감도를 보고하였다. Finkelstein등¹¹은 32명의 악성 종양환자에서 가상 기관지내시경을 시행하여 모든 환자에서 가상 기관지내시경의 영상을 얻을 수 있었다. 가상 기관지내시경은 폐쇄성 병변에서는 100%의 민감도를, 기도내 병변은 83%의 민감도를 보였으나, 점막질환은 찾지 못하였다. 반면 특이도는 100%였다.

가상 기관지내시경은 위 양성율이 높고, 아주 작은 병변을 찾는 데는 아직까지는 제한되어 있고, 점막 질환과 점막하 질환을 감별하기 어렵다. 또한 조직 생검이나 치료를 위한 시술을 시행할 수는 없다는 단점이 있으며 아직까지는 많은 임상 경험 이 축적되지 않았다^{2,3}. 그러나 가상 기관지내시경은 비 침습적이고 짧은 시간에 시행할 수 있으며, 기관지내시경이 어려운 환자에게 쉽게 시행할 수 있고, 심한 기도 협착부위의 원위부를 볼 수 있으며, 동시에 단면상에서 기도외부의 정보를 함께 얻

을 수 있다는 장점들이 있다.

가상 기관지내시경은 기도 문합술이나 폐절제후 추적검사로, 레이저나 방사선치료 후, 기도내 스텐트 삽입 전후의 기도 평가에 특히 유용하다(Fig. 3). 가상 기관지내시경은 현재까지는 조기 폐암의 일차적인 선별 검사(screening method)로서의 역할을 할 수 없지만, 이론적으로 저 선량 나선형 CT와 더불어 폐암의 선별 검사의 보완적인 역할을 할 것으로 기대한다³. 또한 기관지내시경이 어려운 소아환자에서도 비침습적인 진단도구로 이용할 수 있으며, 기관지내시경을 시행할 수 없거나, 금기인 환자, 거부하는 환자에서 더욱 기대하는 진단 도구이다.

CT 기관지조영술 (CT Bronchography)

중심부 기도를 용적 표현 기법(volume rendering technique)을 이용하여 삼차원 영상으로 재구성하고 반투명법(semi-transparent mode)을 적용하면, 기도강과 기도벽의 접촉면을 기도강의 바깥쪽에서 보는 것처럼 기도의 외면을 묘사하여 마치 과거에 조영제를 기도내에 주입하고 촬영하였던 기관지조영술의 사진과 유사한 영상을 얻을 수 있다(Fig. 2C, 4C)⁸. 이 새로운 영상기법을 CT 기관지조영술이라고 부른다.

CT 기관지조영술은 특히 기도 직경의 미세한 변화나 복잡한 기관지변형을 진단하고 이해하는데 도움이 된다².

호흡 역동적 CT (Respiratory Dynamic CT)

MDCT는 기도의 일정부위를 선택해서 계속 호흡을 하면서 동일 부위를 빠른 시간내에 반복해서 촬영하여 호흡 중 역동적인 기도변화의 영상정보를 얻을 수 있다. 이 방법의 단점은 방사선 조사선량이 증가한다는 것인데, 이 것은 저 선량 기법으로 얼마간 해결할 수 있으며² 당연히 저 선량기법

으로 역동적 CT를 하여 방사선 조사선량을 줄여야 한다. 호흡 역동적 CT는 특히 기관기관지연골 연화(tracheobronchomalacia)가 의심되는 환자에서 진단을 위해서 그리고 치료후의 결과를 평가할 때 유용하다². 또한 만성 폐쇄성폐질환이 의심되는 환자에서 호기시의 공기 가둠(air-trapping)을 평가할 때도 유용하며, 흡기 말기나 호기 말기에 숨을 참고 스캔하기 어려운 환자에서도 유용한 방법이다^{12,13}.

중심부 기도 질환을 평가하기 위한 MDCT의 임상적 이용

기관 및 주기관지 질환이 있을 때 일상적인 단순 흉부X-선사진으로 일차적으로 질환을 진단하기는 어렵다. CT는 중심부 기도 질환을 진단하는데 단순 흉부X-선사진에 비해 훨씬 민감하며, 병변의 발견, 특성화, 주위구조물과의 관계를 잘 파악할 수 있는 매우 좋은 진단 도구이다¹⁴. CT 측면 영상은 기도 질환의 평가에 가장 기본이 되며, 대부분 기도 질환의 진단은 측면 영상만으로도 충분하다. 그러나 CT 측면 영상은 미세한 기도질환을 찾기가 어려우며, 질환의 상하 범위를 과소평가하고, 측면에 비스듬하게 위치한 기도를 평가하기 어렵고, 기도의 삼차원적인 재구성이 어렵다는 제한점이 있다²⁻⁴. 이러한 제한 점들은 MDCT를 이용한 다양한 이차원과 삼차원 영상으로 극복할 수 있다.

MDCT는 다양한 높은 해상도의 이차원과 삼차원 영상이 가능하게 되었고 이것은 중심부 기도 질환을 더욱 쉽게 평가할 수 있게 되었다. MDCT를 이용한 삼차원 영상과 다양한 다면조합영상은 기도 협착부위를 잘 찾을 수 있고, 질환의 상하 범위를 더욱 정확히 평가할 수 있으며, 복잡한 기도 기형을 쉽게 평가할 수 있고, CT 측면 영상 진단의 확신도를 더욱 높이고, 기관지내시경 또는 수술 전 시술의 계획에 더욱 도움이 되며, 의사간 또는 의사와 환자간의 교동에 도움을 준다^{2,4,8,12}. 그렇지만 이러

한 영상들은 측면 영상에 비해 새로운 정보를 제공하기보다는 측면 영상의 해부학적인 의미들을 더 정확하게 그리고 더 많이 보여주는 도구로서의 의미가 있다²⁴. 따라서 중심부 기도질환의 평가에 있어서, CT 측면 영상은 가장 기본이 되는 필수 불가결한 영상이며 정확한 진단을 위해 측면 영상에 더해서 다양한 이차원 및 삼차원 영상이 필요하다.

MDCT를 이용한 기관 및 주기관지 질환들의 영상을 소개하고자 한다.

기도 협착

기도 협착의 평가는 측면 영상에 더해 MPR과 가상 기관지내시경이 진단에 도움이 된다. 기도의 다양한 이차원 및 삼차원 영상은 기도협착의 유무, 모양, 길이, 정도를 더 정확하게 볼 수 있어 측면 영상의 중요한 보조적인 정보를 제공하며(Fig. 2) 이러한 소견들은 기관지내시경의 소견과 좋은 상관관계를 보인다¹⁵⁻¹⁹. 특히 협착부위의 상하범위의 평가에 도움이 되며, 심한 기도 협착이 있을 때 협착 말단부위의 개방성을 평가하는데 유용하다^{15,17}. 또한 Wegener 육아종증과 같은 한 환자에서 여러 곳의 기도 협착이 있는 경우에도 유용하다¹⁸. Fleiter등¹⁵은 폐와 종격동의 악성 종양이 있는 20명의 환자에서 가상 기관지내시경과 기관지내시경을 비교하였는데 가상 기관지내시경은 기관지내시경에서 협착부를 통과하지 못한 5명에서 협착 말단부위를 보여주었다. Kauczor등¹⁷은 기도협착 36명의 환자중 18명의 환자에서 기관지내시경은 협착 말단부위를 통과할 수 없었지만, CT 삼차원 영상은 협착의 길이, 개방성, 말단부 기관지의 공간적 정보를 제공하였다.

MDCT를 이용한 기도의 다양한 이차원 및 삼차원 영상은 협착부위의 진단뿐 아니라, 협착부위와 주위 구조물과의 관계를 잘 그려내므로 기관지내시경을 시행하거나 또는 다른 진단 및 치료를 위

한 시술을 시행할 때 안내 역할을 할 수 있다. 기도협착부위의 스텐트 삽입은 기관기관지 폐쇄의 필수적인 치료 방법의 하나이다. MDCT를 이용한 다양한 이차원 및 삼차원영상은 스텐트 삽입 전후의 평가에 정확한 정보를 제공하는 비침습적인 방법이다(Fig. 3)²⁰.

기관기관지연골연화

기관기관지연골연화는 기도벽의 연골이 약화되어 기도가 과도하게 허탈하는 질환으로 기도의 단면적이 호기 시에 50%이상 감소하면 진단할 수 있다^{11,21,22}. 기관기관지연골연화를 진단하는데 흡기 CT와 호흡 역동적 CT는 정확하고 비침습적인 방법이다^{11,22}. 역동적 CT는 기존에 사용하였던 X-선 투시검사에 비해 기도와 기도주변부의 해부학적 구조를 자세히 보여주고, 허탈의 정도를 정확하게 측정할 수 있어 객관적인 판단이 가능하며, 전후 및 좌우의 기도벽을 동시에 보여주고, 스캔 후의 이차원과 삼차원 영상들은 상하 범위를 정확하게 보여주고, 기도내의 영상이 가능하며, 기관지내시경과의 연관성이 향상하였다는 장점들이 있다¹¹. Gilkeson등²¹은 13명의 환자에서 역동적 CT와 기관지 내시경에서의 기도벽 허탈의 정도는 잘 일치하였으며, 가상 기관지내시경은 진단에 있어 종종 CT 측면 영상보다 더 좋고, 진단을 위해서라면 더 이상의 기관지내시경검사가 필요하지 않았다. MDCT를 이용한 가상 기관지내시경은 기관기관지연골연화가 의심되는 환자에서 기관지내시경을 대체할 좋은 진단도구가 될 것으로 기대한다.

기관기관지 기형

기관기관지 기형은 다양한 MPR영상과 삼차원 영상에서 진단이 용이 해졌다^{7,12}. Remy-Jardin등¹⁶의 연구에서 15명의 기관기관지 기형 환자 중 기도의

삼차원영상은 8명에서 추가적인 정보를 제공했으며 약 10%에서 측면영상의 판단 실수를 수정할 수 있었다.

기관지확장증

기관지확장증의 진단에 있어서 고해상 CT는 현재까지 가장 좋은 비침습적 진단도구 이다(Fig. 4A). 그러나 고해상 CT는 호흡과 심장 박동에 의한 인공물이 있어 판단이 어려울 수 있고, 스캔할 때 스캔에 포함되지 않고 건너뛰는 부위가 있어 전폐를 평가하지 않았다는 점, 그리고 미세한 기관지확장을 인지하기 어려운 점, 특히 횡단면에 비스듬하게 주행하거나 직각으로 주행하는 경우에 미세한 확장을 판단하기 어렵다는 제한 점들이 있다¹². 반면 연속 촬영한 나선형CT는 전폐를 포함하기 때문에 미등록에 의한 진단 오류를 감소시킬 수 있다^{23,24}. Bruggen-Bogaarts등²³은 나선형 CT를 이용하여 기관지확장증을 진단할 때 91%의 민감도와 99.3%의 특이도를 보고하였다. 더 나아가 MDCT를 이용하여 저 선량으로 얇은 절편두께로 더 빠른 시간에 연속 촬영한다면 이런 제한 점들은 해결할 수 있다. 추가적으로 CT 기관지조영술 영상을 얻으면 감별진단에 도움이 되며 진단의 확실도를 더 높일 수 있다(Fig. 4)^{8,20}.

CT 측면 영상은 현재까지는 중심부 기도 질환의 평가에 비침습적인 가장 좋은 영상 진단 방법이다. 그러나 MDCT를 이용하여 높은 해상도의 이차원 및 삼차원의 영상들을 쉽게 얻을 수 있고 이러한 영상들은 CT 측면 영상에 추가적으로 이용하여 진단 정확도와 확실도를 더욱 향상시킬 수 있다. MDCT를 이용한 다양한 높은 해상도의 이차원과 삼차원 영상들은 특히 기도협착, 기관기관지연결연화, 복잡한 기관기관지 기형, 기관지확장증의 진단에 도움이 되며, 스텐트 삽입, 레이저 치

료, 방사선 치료의 시술 전 평가에 그리고 시술 후의 기도 개방성과 합병증을 평가하는데 유용하다. 더 나아가 중심부 기도내 종양의 선별검사로써의 역할까지도 기대해 본다.

참 고 문 헌

1. Rydberg J, Liang Y, Teague SD. Fundamentals of multichannel CT. Radiol Clin North Am 2003;41:465-74
2. Boisselle PM. Multislice helical CT of the central airways. Radiol Clin North Am 2003;41:561-74
3. Boisselle PM, Ernst A. Recent advances in central airway imaging. Chest 2002;121:1651-60
4. Boisselle PM, Reynolds KF, Ernst A. Multiplanar and three-dimensional imaging of the central airways with multidetector CT. Am J Roentgenol 2002;179:301-8
5. Boisselle PM, Dippolito G, Copeland J, Kang H, Ahmed M, Weeks D, Halpern E, Goldberg SN. Multiplanar and 3D imaging of the central airways: comparison of image quality and radiation dose of single-detector row CT and multi-detector row CT at differing tube currents in dogs. Radiology 2003;228:107-11
6. Choi YW, McAdams HP, Jeon SC, Park CK, Lee SJ, Kim BS, et al. Low-dose spiral CT: application to surface-rendered three-dimensional imaging of central airways. J Comput Assist Tomogr 2002;26:335-41
7. Ravenel JG, McAdams HP. Multiplanar and three-dimensional imaging of the thorax. Radiol Clin North Am 2003;41:475-89
8. Grenier PA, Beigelman-Aubry C, Fetita C,

- Preteux F, Brauner MW, Lenoir S. New frontiers in CT imaging of airway disease. *Eur Radiol* 2002;12:1022-44
9. Sorantin E, Geiger B, Lindbichler F, Eber E, Schimpl G. CT-based virtual tracheobronchoscopy in children-comparison with axial CT and multiplanar reconstruction: preliminary results. *Pediatr Radiol* 2002;32:8-15
10. Summers RM, Shaw DJ, Shelhamer JH. CT virtual bronchoscopy of simulated endobronchial lesions: effect of scanning, reconstruction, and display settings and potential pitfalls. *Am J Roentgenol* 1998;170:947-50
11. Finkelstein SE, Summers RM, Nguyen DM, Stewart JH 4th, Tretler JA, Schrupp DS. Virtual bronchoscopy for evaluation of malignant tumors of the thorax. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002;123:967-72
12. Grenier PA, Beigelman-Aubry C, Fetita C, Martin-Bouyer Y. Multidetector-row CT of the airways. *Semin Roentgenol* 2003;38:146-57
13. Lucidarme O, Grenier PA, Cadi M, Mourey-Gerosa I, Benali K, Cluzel P. Evaluation of air trapping at CT: comparison of continuous-versus suspended-expiration CT techniques. *Radiology* 2000;216:768-72
14. 임정기, 이경수. 흉부방사선과학. 서울: 일조각; 2000. p.338-61
15. Fleiter T, Merkle EM, Aschoff AJ, Lang G, Stein M, Gorich J, et al. Comparison of real-time virtual and fiberoptic bronchoscopy in patients with bronchial carcinoma: opportunities and limitations. *Am J Roentgenol* 1997;169:159-63
16. Remy-Jardin M, Remy J, Artaud D, Fribourg M, Duhamel A. Volume rendering of the tracheobronchial tree: clinical evaluation of bronchographic images. *Radiology* 1998; 208:761-70
17. Kauczor, HU, Woicke, B, Fischer, B, Mil-denberger P, Lorensz J, Thelen M. Three-dimensional helical CT of the tracheobronchial tree: evaluation of imaging protocols and assessment of suspect stenoses with bronchoscopy correlation. *Am J Roentgenol* 1996;167:419-24
18. Summers RM, Aggarwal NR, Sneller MC, Cowan MJ, Wood BJ, Langford CA, Shelhamer JH. CT virtual bronchoscopy of the central airways in patients with Wegener's granulomatosis. *Chest* 2002;121:242-50
19. Hoppe H, Walder B, Sonnenschein M, Vock P, Dinkel HP. Multidetector CT virtual bronchoscopy to grade tracheobronchial stenosis. *Am J Roentgenol* 2002;178:1195-200
20. Ferretti GR, Kocier M, Calaque O, Arbib F, Righini C, Coulomb M, et al.. Follow-up after stent insertion in the tracheobronchial tree: role of helical computed tomography in comparison with fiberoptic bronchoscopy. *Eur Radiol* 2003;13:1172-8
21. Gilkeson, RC, Ciancibello, LM, Hejal, RB, Montenegro HD, Lange P. Tracheobronchomalacia: dynamic airway evaluation with multidetector CT. *Am J Roentgenol* 2001;176: 205-10
22. Boiselle PM, Feller-Kopman D, Ashiku S, Weeks D, Ernst A. Tracheobronchomalacia: evolving role of dynamic multislice helical CT. *Radiol Clin North Am* 2003;41:627-36
23. van der Bruggen-Bogaarts BAHA, van der

Bruggen HMJG, van Waes PFGM, Lammers JWJ. Assessment of bronchiectasis: comparison of HRCT and spiral volumetric CT. J Comput Assist Tomogr 1996;20:15-9

24. Lucidarme O, Grenier P, Coche E, Lenoir S, Aubert B, Beigelman C. Bronchiectasis: comparative assessment with thin-section CT and helical CT. Radiology 1996;200:673-9