

## 나선식 CT를 이용한 기관-기관지 3차원 영상: 최적의 Window 범위 설정<sup>1</sup>

신소영 · 광병국 · 김영민 · 정걸호 · 윤혜란 · 정인주 · 이창준

**목 적 :** 나선식 CT를 이용한 기관-기관지 3차원 영상에서 내경이 실측치에 가장 가까운 window 범위를 알아 보고자 하였다.

**대상 및 방법 :** 20-30대 정상 성인 10명을 대상으로 단순 흉부 촬영과 나선식 CT 3D 영상 (최저 한계치: -1000HU, 최고 한계치: -200HU부터 -900HU까지, 50HU간격)을 실시 하여 기관 및 주 기관지 내경을 측정하였고, 이 두가지 방법을 서로 비교하였다.

**결 과 :** 나선식 CT를 이용한 3D 영상에서 기관, 우측 주 기관지, 기관 분기부로부터 1cm 하방 (좌측 주 기관지-I), 기관 분기부로부터 2cm 하방 (좌측 주 기관지-II)의 각각의 내경이 최고 한계치 범위 -400HU부터 -550HU까지, -450HU부터 -550HU까지, -450HU부터 -600HU까지, -500HU부터 -600HU까지에서 단순 흉부 촬영에 의한 결과와 상응하였다( $p>0.05$ ). 그 이외의 한계치에서는 각각의 내경이 두 검사간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ( $p<0.05$ ).

**결 론 :** 본 연구를 통하여 나선식 CT를 이용한 3차원 영상에서 기관-기관지의 내경을 실측치에 가장 가깝게 나타내주는 window 범위를 구하였으며, 그 최고 한계치의 범위는 측정하고자 하는 기관 및 기관지의 위치에 따라 다소 차이가 있음을 알 수 있었다.

기도 질환에서 나선식 CT를 이용한 3차원 영상은 병변의 발견과 범위 파악면에 있어서 우수성을 인정받고 있다 (1-3). 기관지 내시경이나 기관지 조영술을 대신하거나 보완적으로 나선식 CT 3차원 영상을 이용하여 경과 관찰이나 수술 또는 중재적 방사선학적 치료에 사용할 수 있는데, 이런 경우 기관지의 정확한 모양과 내경 측정이 필요하다. 그러나 SSD(Shaded Surface Display) 기법에 의한 3차원 영상 재구성은 한계치 범위에 따라 3차원 구조물의 모양과 직경의 변화를 일으킨다 (4). 따라서 기도의 실제 모양과 크기에 가장 가까운 window 범위를 알게 되면 곧바로 3차원 영상에서 직경을 측정하여 수술과 중재적 치료에 이용할 수 있을 것이다.

저자는 나선식 CT를 이용한 3차원 영상에서 기관과 기관지의 내경이 실측치에 가장 가까운 최적의 window 범위를 알아 보고자 하였다.

### 대상 및 방법

26세부터 30세까지(평균 28.6세)의 정상 자원자로서 남자 8명 여자 2명으로 총 10명을 대상으로 하였다. 이들을 대상으로 단순 흉부 촬영을 실시하여 실측치에 가까운 기관과 기관지의

직경을 측정하였고, 나선식 CT를 이용한 3차원 영상에서 이 값들과 가장 근접한 window 범위를 정하였다.

단순 흉부 촬영은 노출을 145kVp, 200mA로 하고 최대 흡기 상태에서 초점과 필름간의 거리(focus-film distance)를 6 feet 로하여 후전 촬영을 하였다. 이때 각 개인에 따른 사진의 실제 확대율을 계산하기 위해서 두개의 동일한 크기(156.9mm)의 radioopaque 자를 사용하여 하나는 가슴에 다른 하나는 등에 부착하여 촬영하였다. 이런 방법으로 촬영한 단순 흉부 사진의 확대율은 1.07에서부터 1.10까지였고 평균 1.09였다. 내경 측정은 venier caliper (Mitutoyo co., Japan)를 사용하여 소숫점 두자리까지 측정하였다. 내경 측정의 위치는 기관의 경우 기관 분기부로부터 어느 정도 떨어지고, 대동맥궁에 의해 눌리지 않는 위치를 얻고자 기관 분기부로부터 4.5cm 상방을, 우측 주 기관지는 기관 분기부와 우상엽 기관지와의 중간 정도로 하기 위하여 기관 분기부로부터 0.5cm 하방으로 하였다. 좌측 주 기관지는 두 군데에서 측정하였는데 기관 분기부로부터 1cm 하방을 좌측 주 기관지-I로 하고, 기관 분기부로부터 2cm 하방을 좌측 주 기관지-II로 하였다. 각각의 위치에서 측정하고자 하는 기관 및 주 기관지의 장축에 대하여 수직인 내경을 측정하였다 (Fig. 1A).

나선식 CT는 최대 흡기상태에서 쇄골부위에서부터 좌상엽 기관지까지 조영증강 없이 촬영하였다. 사용한 기종은 Picker

<sup>1</sup>국립의료원 진단방사선과

이 논문은 1997년 1월 28일 접수하여 1997년 4월 29일에 채택되었음.

2000 (Picker International, Ohio, U.S.)이었고, 스캔 조건은 130kVp, 150mA, collimation 3mm, table speed 4mm/s, reconstruction interval 1mm, matrix size 512×512, pixel size 0.59mm×0.59mm, FOV 300mm로 하였다. Workstation (Voxel Q; Picker International, Ohio, U.S.)에서 SSD (Shaded Surface Display) 기법을 사용하여 3차원 영상을 만든 후, 최저 한계치(minimal threshold value)를 -1000HU로 고정하고 최대 한계치(maximal threshold value)를 -200HU에서부터 -900HU까지 50HU 간격으로 각 최대 한계치에서 기관 및 주 기관지 내경을 측정하였다. 측정 위치는 단순 흉부 촬영과 같은 방법으로 하였다 (Fig. 1B). 이를 단순 흉부 촬영 결과와 비교 분석하였다. 통계 처리는 paired t-test를 사용하였다.

## 결 과

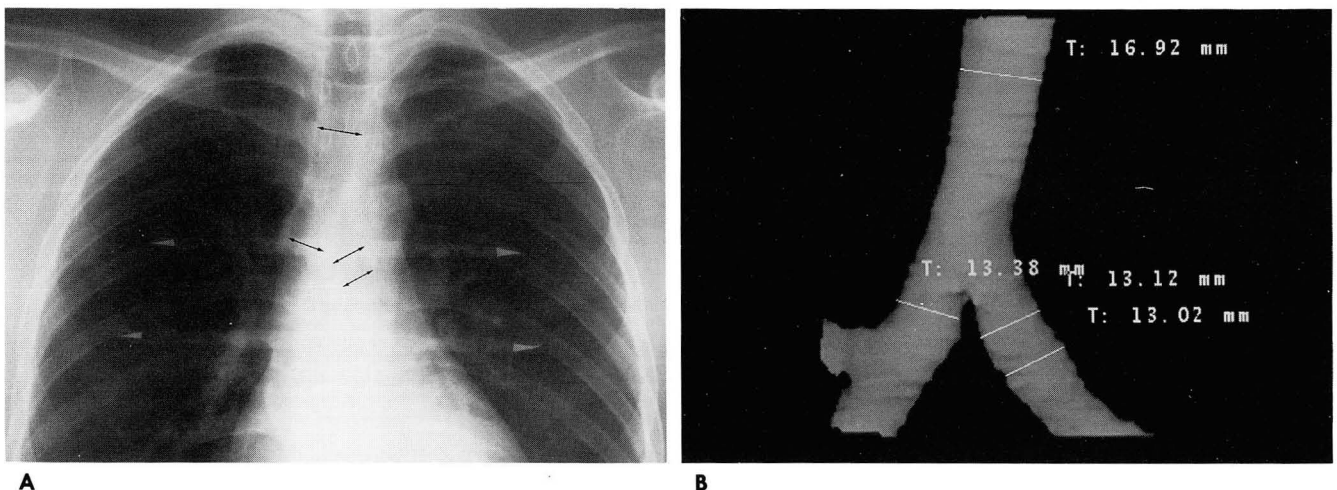
단순 흉부 촬영에 의한 결과는 기관 16.40mm ± 1.56, 우측 주 기관지 13.94mm ± 1.69, 좌측 주 기관지-I 12.28mm ± 1.37, 좌측 주 기관지-II 11.68mm ± 1.23였다. 3차원 영상에서 최고 한계치 범위가 기관의 경우 -400HU부터 -550HU까지, 우측 주 기관지는 -450HU부터 -550HU까지, 좌측 주 기관지-I은 -450HU부터 -600HU까지, 좌측 주 기관지-II는 -500HU부터 -600HU까지가 단순 흉부 촬영에 의한 결과와 상응하였다 ( $p > 0.05$ ). 그러나 그 이외의 한계치에서는 각각의 내경이 두 검사간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ( $p < 0.05$ ) (Table 1).

## 고 찰

3차원 영상의 표현기법에는 thresholding 혹은 surface-based (binary) 기법과 percentage 혹은 semitransparent (continuum) volume based 기법이 있다. 현재 많이 이용되는 thresholding 기법은 정해진 한계치 이내의 voxel만 영상화하고 그 한계치 밖의 조직은 영상화 하지 않는 방법이다. 이 기법의 제한점 중의 하나가 partial volume effect를 가지는 voxel value를 정확하게 정할 수 없다는 것이다 (5, 6). 기도의 3차원 영상은 이 SSD 기법을 이용하여 기도의 내강만을 영상으로 얻는다. 그러므로 기도의 3차원 영상에서는 기도의 벽과 내강의 공기 사이에 partial volume effect가 생기게 되고, 한계치 (threshold value)가 기도의 모양과 크기에 영향을 준다 (7, 8).

Schaefer 등(9)은 기도의 3차원 영상에 필요한 최적의 한계치는 기관과 기관지에 상관 없이 -650HU와 -750HU 사이라고 보고하였다. 본 연구 결과와 다른데 그 이유는 Schaefer 등이 기관지 직경의 실측치를 고려한 것이 아니고 병소나 관심 사항의 위치와 모양에 중점을 두었기 때문이다. 따라서 연구 방법도 나선식 CT의 여러 parameter를 변화시켜 최적의 조건을 찾고 axial scan과 3차원 영상을 비교한 것으로 기관지의 내경 측정에 맞는 한계치라고는 볼 수 없다.

본 연구에서는 기관지 직경의 실측치에 중점을 두었고, 따라서 내경 변화에 영향을 미치지 않는 최소 한계치를 -1000HU로 고정하였다. 그 이유는 최소 한계치를 높이면 3차원 영상에서 기도의 중앙부위는 검게 터널을 만들지만 기관지의 내경을 결정하는 기관지와 접한 부분은 기관지 벽과의 partial



**Fig. 1.** Methods for measurement of inner diameter of the trachea and both main bronchi.

**A.** The inner diameter of the trachea, right main bronchus, left main bronchus-I and left main bronchus-II were measured at 4.5cm above the tracheal carina, 0.5cm below the tracheal carina, 1cm below the tracheal carina and 2cm below the tracheal carina, respectively.

**B.** 3D image was reconstructed by SSD mode (Minimal threshold value: -1000HU, maximal threshold value: from -200HU to -900HU with 50HU interval). On CT measurement of the trachea and both main bronchi was performed at the same level as on chest PA radiograph.

**Table 1.** Mean Diameter Measured by Chest PA Radiograph and Spiral CT

	Diameter(Mean(mm) $\pm$ SD)			
	Trachea	Rt. Main Bronchus	Lt. Main Bronchus— I	Lt. MainBronchus— II
Chest PA	16.40 $\pm$ 1.56	13.94 $\pm$ 1.69	12.28 $\pm$ 1.37	11.68 $\pm$ 1.23
Spiral CT (Max. HU)				
— 200	17.21 $\pm$ 1.62	15.38 $\pm$ 1.70	13.75 $\pm$ 1.51	13.33 $\pm$ 1.33
— 250	16.86 $\pm$ 1.41	15.08 $\pm$ 1.71	13.41 $\pm$ 1.50	13.00 $\pm$ 1.35
— 300	16.75 $\pm$ 1.41	14.83 $\pm$ 1.75	13.21 $\pm$ 1.43	12.81 $\pm$ 1.36
— 350	16.69 $\pm$ 1.36	14.59 $\pm$ 1.70	12.97 $\pm$ 1.41	12.63 $\pm$ 1.30
— 400	16.57 $\pm$ 1.37*	14.34 $\pm$ 1.75	12.87 $\pm$ 1.52	12.43 $\pm$ 1.30
— 450	16.47 $\pm$ 1.36*	14.14 $\pm$ 1.76*	12.60 $\pm$ 1.54*	12.21 $\pm$ 1.36
— 500	16.38 $\pm$ 1.45*	13.91 $\pm$ 1.90*	12.42 $\pm$ 1.65*	11.98 $\pm$ 1.33*
— 550	16.28 $\pm$ 1.48*	13.68 $\pm$ 1.89*	12.15 $\pm$ 1.64*	11.71 $\pm$ 1.47*
— 600	16.18 $\pm$ 1.52	13.47 $\pm$ 1.83	12.04 $\pm$ 1.65*	11.50 $\pm$ 1.38*
— 650	16.09 $\pm$ 1.57	13.31 $\pm$ 1.85	11.87 $\pm$ 1.68	11.26 $\pm$ 1.49
— 700	15.89 $\pm$ 1.47	13.17 $\pm$ 1.77	11.72 $\pm$ 1.64	11.11 $\pm$ 1.43
— 750	15.72 $\pm$ 1.47	13.03 $\pm$ 1.73	11.51 $\pm$ 1.59	10.87 $\pm$ 1.40
— 800	15.65 $\pm$ 1.43	12.87 $\pm$ 1.61	11.35 $\pm$ 1.56	10.66 $\pm$ 1.42
— 850	15.56 $\pm$ 1.50	12.75 $\pm$ 1.63	11.15 $\pm$ 1.59	10.39 $\pm$ 1.48
— 900	15.39 $\pm$ 1.50	12.50 $\pm$ 1.71	10.96 $\pm$ 1.78	10.17 $\pm$ 1.68

\* means that the inner diameters of the trachea and both main bronchi measured by chest radiograph and 3D spiral CT are not significantly different ( $p > 0.05$ ).

volume effect로 CT 감쇄 계수가 높아 영향을 받지 않기 때문이다.

본 연구에서 기관지의 내경에 해당하는 최대 한계치는 기관과 기관지의 좌우측에 따라 결과가 달랐는데 이것은 기관의 경우 주행 방향이 scan방향과 일치하는 반면, 좌우 주 기관지의 경우 각기 각도를 가지고 주행하기 때문이라고 생각한다. 즉, 기관지 측정에 필요한 한계치 범위에서는 같은 범위를 적용할 때 기울어진 각도가 급할수록 기관지의 내경은 크게 측정될 것으로 생각된다.

고식적 2차원 CT에서 window setting이 조직의 내경 측정에 영향을 준다. 정확한 측정을 위해서는 partial volume effect를 최소화시키고, 사용하고 있는 scanner에서 가장 정확하게 측정할 수 있는 window setting을 선택해야 한다 (10). Webb 등(11)은 고식적 CT에서 기관지 관찰에 필요한 최적의 window 범위를 결정하기위해서 기관지 모형을 이용하였다. 이들은 정상 폐조직으로 둘러싸인 정상 기관지는 window level이 -450HU에서 -600HU까지가 가장 적절하지만, 종괴와 경결로 둘러싸인 기관지는 이 범위내에서는 그 내경이 작게 측정되고 이런 경우에는 window level -150HU에서 가장 정확하게 측정할 수 있다고 보고하였다. 그들은 또한 -150HU 보다 낮은 window level에서는 내경이 작게 측정되는데, 이 window level에서 측정의 정확도에는 모형의 크기, scan면에 대한 모형의 각도, collimation 등이 영향을 미친다고 하였다. 모형의 크기는 그 내경이 collimation보다 작은 경우에 내경이 실측치보다 작게 측정된다고 하였다. 본 연구에서는 collimation을 3mm로 고정하였고, 기관과 기관지의 직경이 collimation 두께

보다 크기때문에, scan면에 대한 기관이나 기관지의 각도가 내경의 변화를 일으키는 요인으로 생각된다.

본 연구의 한계점은, 첫째 실측치의 기준을 인체의 기도가 아닌 단순 흉부 촬영으로 하였다는 것이다. 그러나 기도 내경을 정확하게 측정하기위해서 사진 확대율을 각 개인별로 계산하였고 high voltage (145kVp)를 사용하였다. Eamann 등(12)은 고식적인 6 feet focus-film distance 방법의 경우 확대율이 1.10이라고 보고하였다. 저자의 경우는 확대율 분포가 1.07에서부터 1.10까지였고 평균 1.09였다. 이러한 차이는 이 연구 대상자들의 체격이 서양인들에 비해 작기때문이라고 생각한다. 두 번째 한계점은 이 연구는 나선식 CT기종을 Picker 2000만을 사용하였기 때문에 다른 기종에서도 같은 값의 한계치가 나올 수 있을까 하는 것이다. 이러한 점들은 정확한 실측치를 알기위해서 phantom이나 동물 실험을 하고, 다른 CT기종에서의 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 세번째는 최저 한계치를 -1000HU로 고정하였기 때문에 실측치에 가장 가까운 기관과 기관지의 내경을 측정할 수 있지만 그 내부는 충만된 고휘관으로 보여서 내부를 표출할 수 없다는 제약이 있다.

결론적으로, 나선식 CT를 이용한 기관과 기관지 3차원 영상에서 정확한 내경 측정을 위해서는 기관과 기관지에 각기 다른 한계치 설정이 필요하다. 본 연구와 같은 촬영조건에서는 최대 한계치 범위가 기관의 경우 -400HU부터 -550HU까지가 적당하고, 기관지의 경우 기울어진 정도에 따라 다르게 적용되어야 하며 우측 주 기관지는 -450HU부터 -550HU까지, 좌측 주 기관지는 -500HU부터 -600HU까지가 적당하리라고 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. 임정기, 정명준, 안중모, 임홍선, 연경모, 한만청. 기관 및 기도질환에서 2D- 및 3D-CT, 영상의 임상적 유용성. 대한방사선의학회 춘계 학술대회 초록집:1994:69
2. Geraldine MN, Dewey JC, Kenyon KK. Spiral CT of the trachea and bronchi. *J Comput Assist Tomogr* 1994; 18(4):552-554
3. Hans UK, Benno W, Berthold F, et al. Three-dimensional helical CT of the tracheobronchial tree: evaluation of imaging protocols and assessment of suspected stenoses with bronchoscopic correlation. *AJR* 1996; 167: 419-424
4. Michael G, Mathias P, Ajay C, et al. Renal arterial stenoses: spiral CT angiography *Radiology* 1993; 189: 185-192
5. Elliot KF, Donna M, Derek R, et al. Three-dimensional imaging. *Radiology* 1991; 181: 321-337
6. Geoffrey DR, Michael DD, Sandy AN, et al. Three-dimensional spiral CT angiography of the abdomen: initial clinical experience. *Radiology* 1993; 186: 147-152
7. Manson D, Babyn P, Filler R, Holowka S. Three-dimensional imaging of the pediatric trachea in congenital tracheal stenosis. *Pediatr Radiol* 1994; 24: 175-179
8. Marc L, Jean PT, Bernard EVB, Patrick W. 3D spiral CT of the tracheobronchial tree. *J Comput Assist Tomogr* 1995; 19(3): 341-347
9. Schaefer CM, Prokop M, Doebling W, Schaefer F, Galansk M. Spiral CT of the tracheobronchial system: optimized technique and clinical application. *Radiology* 1991; 181(P): 274
10. Koehler PR, Robert EA, Brent B. The effect of computed tomography viewer controls on anatomical measurements. *Radiology* 1979; 130: 189-194
11. Webb WR, Gamsu G, Susan DW, et al. CT of a bronchial phantom: factors affecting appearance and size measurements. *Invest Radiol* 1984; 19: 394-398
12. Eamann B, Gypsy CA, Robert GF. Dimension of the normal human trachea. *AJR* 1984; 141: 903-906

J Korean Radiol Soc 1997; 36: 991-994

## Three Dimensional Spiral CT of the Tracheobronchial Tree: Determination of the Optimal Window Settings<sup>1</sup>

So Young Shin, M.D., Byung Kook Kwak, M.D., Young Min Kim, M.D., Kul Ho Jung, M.D.  
Hye Ran Yoon, M.D., In Joo Cheong, M.D., Chang Jun Lee, M.D.

<sup>1</sup>Department of Diagnostic Radiology, National Medical Center

**Purpose:** To determine optimal window settings for measuring the inner diameter of the trachea and both main bronchi by spiral CT.

**Materials and Methods:** Chest PA radiography and spiral CT scanning were performed in ten healthy adult volunteers. Three dimensional images were reconstructed (minimal threshold value: -1000HU; maximal threshold value: from -200 to -900HU, of 50HU intervals) to measure the inner diameter of the trachea and both main bronchi. The results of 3D spiral CT were compared with those of chest radiography.

**Results:** The inner diameters of the trachea, right main bronchus, left main bronchus—I (1cm below the tracheal carina) and left main bronchus—II (2cm below the tracheal carina) measured by chest radiograph and 3D spiral CT were not significantly different at maximal threshold values of -400~-550HU, -450~-550HU, -450~-600HU and -500~-600HU, respectively ( $p > 0.05$ ). The differences in the results of the two series were statistically significant at other threshold values however ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** We determined optimal window settings for measuring the inner diameter of the trachea and both main bronchi by spiral CT. The optimal maximal threshold values were somewhat different according to measured sites of the trachea and both main bronchi.

**Index Words:** Trachea

Bronchi, CT

Computed tomography(CT), helical

Computed tomography(CT), three-dimensional