

역동적 전자선 단층촬영을 이용한  
소기도 질환의 평가

연세대학교 대학원  
의 학 과  
이 상 훈

역동적 전자선 단층촬영을 이용한  
소기도 질환의 평가

지도 최 규 옥 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2000년 6월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

이 상 훈

# 이상훈의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 최 기 숙 인

심사위원 장 근 인

심사위원 김 희 중 인

연세대학교 대학원

2000년 6월 일

## 감사의 글

본 논문을 완성함에 있어서 세심하고 자상한 배려와 끊임없는 관심과 지도를 하여주신 최 규옥 선생님께 감사드리며, 연구 진행중에 많은 도움을 주신 김 희중 선생님과 장 준 선생님께도 감사 드립니다. 그리고 흔들림 없이 항상 격려와 도움과 희생을 마다하지 않는 소중한 어머니와 아내 곽 은하에게도 감사를 드립니다.

저자 씀

# 차 례

국문요약.....	1
I. 서 론.....	3
II. 재료 및 방법 .....	5
1. 대 상 .....	5
2. 방 법 .....	5
III. 결 과.....	10
IV. 고 찰.....	16
V. 결 론.....	22
참고 문헌.....	23
영문 요약.....	26

## 표 차례

Table 1. The Number of Patient Presenting Paradoxical Attenuation or Air Trapping in the Patients With Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.....	10
Table 2. Comparison of the Pulmonary Function Test Parameters between the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease .....	11
Table 3. Hounsfield Number of Low Attenuation Area in the Patients with Bronchiolar Constriction(n=15) according to Respiratory Maneuver and Phase .....	12
Table 4. Correlation Coefficiency between the Pulmonary Function Test and the Areas of Low Attenuation (%) by HRCT and Dynamic Study in the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.....	14
Table 5. Correlation Coefficiency between Hounsfield Unit of Region of Interest and Areas (%) of Low Attenuation in HRCT and Dynamic Electron Beam Tomography between the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.....	15

## 그림 차례

Figure 1. Dynamic electron beam tomography (EBT) Study-normal appearance.....	8
Figure 2. A case with paradoxical attenuation.....	9
Figure 3. Comparison of the areas (%) of decreased attenuation by HRCT and dynamic study between the patients with bronchiolar constriction and non-small airway disease.....	13

## 역동적 전자선단층촬영을 이용한 소기도 질환의 평가

소기도 폐색 질환의 진단에 있어서 흉부 전산화 단층촬영(CT) 소견은 중요한 역할을 담당하며 폐기능 검사보다 진단에 유용한 경우가 있다. 본 연구는 역동적 전자선 단층촬영(EBT)을 이용하여 강제 호흡과 일 호흡 영상에서 저감쇠 영역의 동적인 변화를 알아보고, 이 결과와, 폐기능 검사와 고해상 전산화 단층촬영(HRCT)과의 상관 관계를 알아보고자 한다.

폐, 기도 질환으로 고해상 전산화 단층촬영술을 시행한 25 명을 대상으로 전자선 단층촬영을 이용하여 강제 호흡과 일 호흡 영상을 얻고, 관심 구역의 시간-밀도 수치를 구하여 역동적 전산화 단층촬영 결과를 분석하였다. 폐기능 검사도 모두 시행하여, 역동적 전자선단층촬영 결과와 폐기능 검사 수치와 비교하였다. 소기도 질환은 HRCT 로 진단 하였으며 소엽의 낮은 감약, 혹은 중심 소엽성의 비후 또는 세기관지 확장증이 보이는 15 예 이었고 기타 질환은 소기도 질환의 소견들이 없는 10 예 이었다.

EBT 역동적 검사를 시행하였을 때 소기도 질환자에서 역설적 감쇠가 강제 호흡( $n=10$ ), 일호흡( $n=11$ ), 강제 호흡 혹은 일 호흡 역동적 영상에서 13 명이었다. 기타 질환자의 경우는 없었고, 공기 폐색은 소기도 질환자의 강제 호흡 혹은 일호흡 역동적 영상에서 5 명, 기타 질환자의 경우는 2 명이었다. 소기도 질환과 기타 질환의 폐기능 검사 결과는 소기도 질환의 지표인 MMEF 와 FEF<sub>25, 50, 75</sub> 에서 차이를 보였지만 통계적 의미는 없었다( $p>0.05$ ).



소기도 폐색 질환자에서는 강제 호흡 흡기에서 폐 밀도가  $804 \pm 62$ , 호기에서는  $4 \pm 52$  감소, 일 호흡 흡기에서  $767 \pm 51$ , 호기에서는  $25 \pm 28$  감소 하였고 기타 질환의 경우는 강제 호흡 흡기에서  $816 \pm 61$ , 호기에서  $159 \pm 102$  증가, 일 호흡 흡기에서  $759 \pm 100$ , 호기에서는  $56 \pm 41$  증가를 보였다. 소기도 폐색 질환자의 흡기 HRCT 역설적 감쇠 혹은 공기 폐색 부위의 면적 백분율과 폐기능 검사는 FVC, FEV1, MMEF, PIF, FEF<sub>25, 50, 75</sub>, FIVC 와 역상관성을 보였고, 역동적 EBT 의 호기영상은 FVC, FEV1, MMEF, FEF<sub>25, 50, 75</sub> 등과 유의한 역상관 관계가 있어 비슷한 상관관계를 보였다. 기타 질환의 경우는 상관관계가 없었다. 흡기와 호기의 밀도수치와 면적과의 상관관계를 알아보았을 때 전체 환자에서 호기의 밀도와 흡기와 호기의 차이밀도에서 유의한 역상관 관계를 보여 소기도 폐색 질환의 면적이 넓을수록 역행적 운동이 많이 발생함을 알 수 있다.

이상의 결과로 역동적 전자선 단층촬영은 호흡주기 동안에 저감쇠 영역의 시간적 변화인 역설적 감쇠 혹은 공기 폐색을 평가할 수 있어서 역동적 정보를 획득할 수 있다.

---

핵심 되는 말 : 소기도, 역동적 전자선 단층촬영, 고해상 전산화 단층촬영, 폐기능 검사, 역설적 감쇠, 공기 폐색, 폐 밀도, 강제 호흡

# 역동적 전자선 단층촬영을 이용한 소기도 질환의 평가

< 지도 최 규 옥 교수 >

연세대학교 대학원 의학과

이 상 훈

## I. 서 론

소기도는(small airway) 일반적으로 2mm 이하 직경의 기도를 말하며 공기 전도를 담당하는 막성 소기도와 호흡에 관여하는 호흡 소기로 나뉜다. 소기도는 직경이 적으나 그 분지수가 아주 많아 전체 횡단 면적이 커서 정상적으로는 공기 저항에 10% 정도의 작은 부분만 기여를 한다.<sup>1,2</sup> 따라서 소기도 질환은 폐기능 검사상 조용한 구역이며 이를 진단하는 가장 좋은 방법은 영상 기법인 고해상전산화단층촬영(High Resolution Computed Tomography, HRCT)으로 알려져 있다. 이 검사상 소기도 질환은 소엽의 낮은 감약, 중심 소엽성의 비후(centrilobular prominence) 혹은 세기관지 확장증 등이 보이는 폐쇄성 양식과 중심 소엽성 간유리 모양 이나 기관지 혈관주위 경화 등의 소견을 보이는 제한성 양식이 있는데, 본 연구에서는 HRCT 에서 소엽의 낮은 감약 등이 보이는 폐쇄성 양식만을 대상으로 하였다. 그러나 폐쇄성 양식에 포함되는 흡연자 등에서는 HRCT 촬영 시 저감쇠 영역이 아주 적어도 폐기능 검사에서는 상당한 폐기능 저하가 나타난다고 하여<sup>3</sup> 비교적 초기의 소기도 질환은 HRCT 촬영이 폐기능 검사와 잘 연관되지 않으며 영상에서 약간의 비정상적인 소견이 보

인다고 하여 소기도 질환이 경한 것은 아니다.

저감쇠 영역을 역동적 전산화 단층촬영<sup>4</sup> 혹은 역동적 전자선 단층촬영검사로<sup>5, 6</sup> 평가하고자 하는 노력이 있었으며, 역동적 전자선 단층촬영검사는 환자의 호흡주기 과정에서 폐 밀도의 변화를 역동적으로 알 수 있으며 질적 그리고 양적인 변화를 알 수 있다.<sup>5, 7, 8</sup>

소기도 질환은 방사선학에서는 주로 세기관지염(bronchiolitis)과 혼용되어 사용되는데 원위 세기관지의 만성염증을 일으키는 여러 다른 질환 명을 통칭하며,<sup>9</sup> 호흡기학에서는 종래 Hogg 등이 정의한대로,<sup>10</sup> 일차적으로 만성 폐쇄성 폐질환을 앓는 흡연자에서의 원위부 기도의 염증변화로 중등도 혹은 심한 기류제한이 나타나는 상태로 주로 closing volume, volume of isoflow, maximal mid-expiratory flow (MMEF),  $\Delta V_{max}$  50% 등의 기능적 검사에 의한 진단이 이루어진다. 임상적으로 일반적인 소기도 질환은 흡연자에서 발생하는 호흡성 세기관지염이 가장 많은데 " 본 연구는 주로 단순흉부촬영이나 전산화 단층촬영에서 소기도 질환이 의심되는 증례를 대상으로 하였기 때문에, 전산화 단층촬영을 별로 시행하지 않는 무증상의 흡연자가 포함되지 않았고 주로 HRCT를 시행하여 발견된 폐쇄성 세기관지염을 대상으로 하였다.

본 연구는 소기도 폐색 질환 환자에 있어서 역동적 전자선 단층촬영에서 저 감쇠영역의 동적인 변화를 알아보고, 이 결과와 폐기능 검사와 HRCT와의 상관관계를 알아보고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대 상

98년 6월부터 99년 6월까지 흉부 질환이나 비균질적인 폐 감쇠질환으로 HRCT가 의뢰된 환자 가운데 소기도 질환이 의심되거나 대조군의 목적으로 EBT 역동적 검사를 시행한 환자 가운데 폐기능 검사를 시행한 25명을 대상으로 하였다. 25명의 평균 나이는 55세(15—77세)였으며 12명이 남자, 13명이 여자이었다.

### 2. 방 법

역동적 전자선 단층촬영은 Imatron C-150 (Imatron Co., South San Francisco, CA, USA)을 이용하여 Multislice Flow Mode를 이용하여 8mm 절편 두께와 평균 2mm의 절편간 간격으로 8절편을 거의 동시에 촬영하였으며 전체 폐는 평가할 수 없어서 영상 획득 부위는 폐 기저 부위를 제외하고 폐 질환이 가장 심한 부위를 선택하여 상하 총 8cm 길이의 부위를 촬영하였다. 노출 시간은 0.05초였고 총 영상 수는 128개였으며 0.4초 간격으로 16회를 촬영하여 총 7.2초간 촬영하였고, 강제 호흡(forced expiration, 노작성 호기) 영상은 최대 흡기를 하고 영상을 얻기 시작하여 1-3초 후 폐기능 검사와 같은 강제 호흡으로 최대 호기를 하여 영상을 얻었다. 일 호흡(tidal breathing, 상시 호흡) 영상은 환자가 일상적인 호흡을 하는 동안 2-5회의 호흡 주기를 촬영하였다.

고해상 전산화 단층 촬영은 역동적 전자선 단층 촬영으로 폐 첨부에서부터 기저부까지 1-1.5cm 간격과 1mm 절편 두께로 0.3-0.5초간(130kv, 630mA)

촬영하였다.

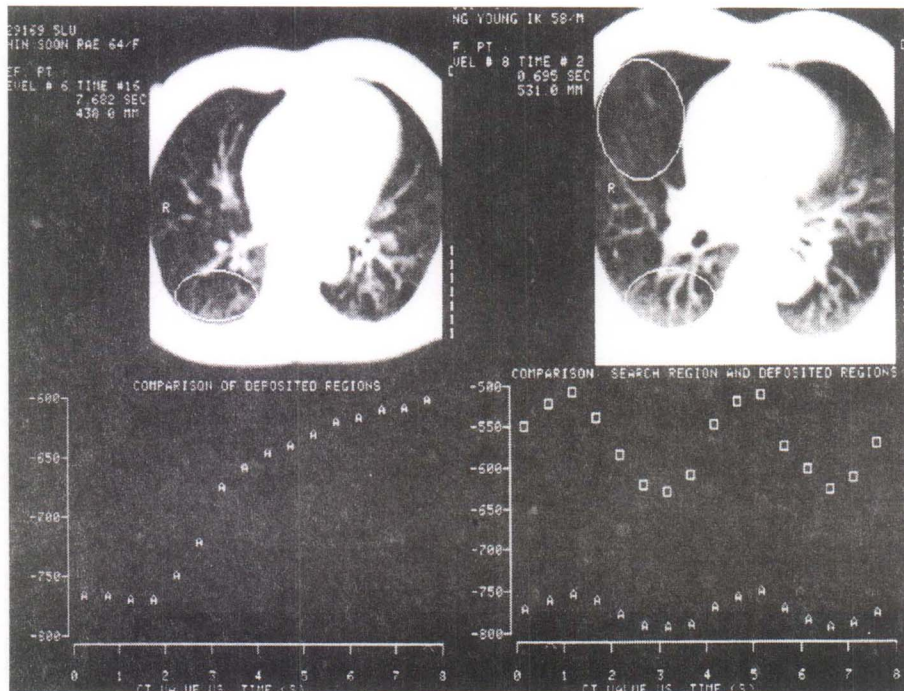
본 연구 대상 중 소기도 폐색(bronchiolar constriction)은 HRCT로 소엽의 낮은 감약이 보이거나(n=15 예) 중심 소엽성의 비후(centrilobular prominence) 혹은 세기관지 확장증이(1 예) 있는 예로 정의하였다. 그리고 중심 소엽성 간유리 모양이나 기관지 혈관 주위 경화 등의 소견을 보이는 제한성 양식을 보이는 예는 제외하였다. 소기도 폐색의 원인이 되는 질환으로는 활동성 폐결핵 혹은 폐결핵의 기왕증이 9 예, Swyer-James 증후군 2 예, 한엽의 Swyer-James 증후군을 동반한 특발성 폐섬유증 1 예, 만성 과민성 폐렴 1 예, 기관지 확장증 2 예이었다. 기타 질환은 소기도 질환의 소견들이 없는 군으로 정상 3 예, 주된 소견이 폐기종 혹은 기관지염 2 예, 특발성 폐섬유증 2 예, end stage lung 1 예, 폐색전증 1 예, 활동성 폐결핵이 전반적 간유리 음영으로 발현한 경우 1 예이었다.

관심 구역의 시간-밀도 수치와 곡선을 얻어 역동적 CT 결과를 분석하였다. 정상 시간-밀도 수치는 강제호흡의 경우 호기에서 흡기에서보다 밀도 수치가 100 이상 증가한 경우로 하였고 일호흡의 경우 10 이상 증가한 경우로 하였다. 공기 폐색은 호기 시에 흡기보다 밀도 수치가 증가하는 양상이 일호흡의 경우 HU가 10 미만이고 강제호흡의 경우 50 미만일 때로 하였고, 역설적 감쇠는 일호흡과 강제호흡 모두 호기 시에 흡기보다 밀도수치가 더 감소하는 경우로 하였다. 관심구역은 소엽, 세분절 혹은 분절크기로 측정하였으며 호기영상에서 폐 밀도가 오히려 감소하는 역동적 운동부위나 공기 폐색 부위를 측정하였고, 한명의 환자에서 여러 관심구역에서 역행성 운동이 보일 경우 평균을 구하여 계산하였고 공기 폐색이 보이는 경우도 여러 관심구역의 평균을 구하였다. 만약 역행성 운동이 공기 폐색과 섞여 있다고 하더라도 역행성 운동 부위만이 계산에 포함되었다. 기타 폐질환은 공기 폐색이나 역행성 운동을 보이지 않는

경우는 우폐 하엽의 상분절구에서 측정하였고 공기 폐색이 관찰되는 경우는 그 영역에서 측정하였다. 우폐 하엽의 상분절구는 역동적 CT 상 대부분의 경우 포함이 되어 대조를 위해 이 부위에서 측정하였고 상분절구의 첨단부는 공기 폐색이 정상적으로 있을 수 있는 부위이므로 피해서 측정하였다. 또 관심 구역을 그릴 때 늑골 근처의 X 선경화 인공물(*beam hardening artifact*)을 보이는 부위나, 소엽 근처의 노출부(*bare area*) 부위는 제외하였다. 역동적 CT 의 호기 영상과 흡기 HRCT 영상에서 소기도 폐색 질환 영역을 Dunnill Point Count 방법<sup>12</sup> 을 변형하여 격자로 CT 상 낮은 감약, 공기 폐색이 있는 부위의 면적을 백분율로 구하였으며 폐기종 영역인 혈관 파괴 부위와 기포는 제외하였다.

폐기능 검사(폐활량계, *spirometer*, Jaeger, Toennies, Wuerzburg, Germany) 는 단층 촬영을 시행한지 모두 1 개월 내에 시행하였고, *vital capacity (VC)*, *forced vital capacity (FVC)*, *forced expiratory volume in 1 second (FEV1)*, *FEV1/FVC*, *forced expiratory flow at 25%, 50%, 75% (FEF<sub>25</sub>, FEF<sub>50</sub>, FEF<sub>75</sub>)*, *maximal mid expiratory flow (MMEF, FEF between 25% and 75% of vital capacity)*, *peak expiratory flow (PEF)*, *peak inspiratory flow (PIF)*, *forced expiratory time (FET)*, *forced inspiratory flow at 50% (FIF50)*, *FEF/FIF*, *forced inspiratory vital capacity (FIVC)* 등을 측정하였다.

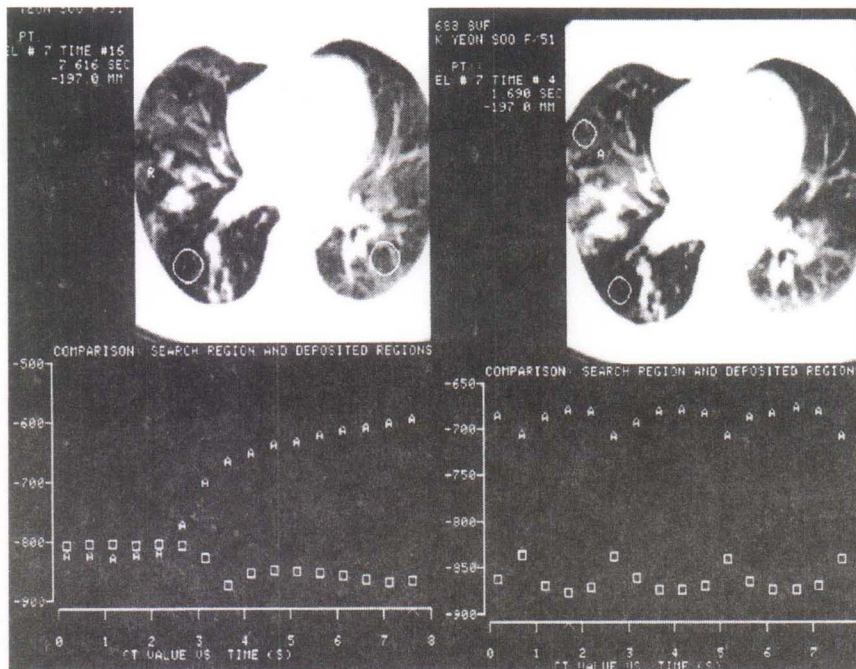
소기도 폐색 질환 영역과 폐기능 검사 수치의 상관계수를 구하였고 소기도 폐색 질환과 기타 질환의 폐기능 검사 수치를 구하였다. 통계는 SPSS 의 *Spearman's correlation coefficient* 로 상관계수를 구하였고, *Mann-Whitney test* 그리고 *Friedman test* 등의 비모수적 검사를 사용하여  $p < 0.05$  인 경우 유의미한 것으로 간주하였다.



A.

B.

Figure 1. Dynamic electron beam tomography (EBT) study—normal appearance. A. Dynamic study with forced expiratory maneuver shows lung density increase more than 100 Hounsfield unit at expiration at superior segment of right lower lobe about one respiratory cycle. B. The study under tidal respiration shows lung density increase more than 10 Hounsfield unit at expiration at superior segment of right lower lobe (plotted by square, plotted by A means respiratory cycle of right middle lobe) about 2 respiratory cycle.



A.

B.

Figure 2. A case with paradoxical attenuation. A. Dynamic study with forced expiratory maneuver shows mottled areas of lobular low attenuation at right lung. Time density curve from the low attenuation area shows paradoxical attenuation at superior segment of right lower lobe (plotted as square) compared with normal attenuation pattern of superior segment of left lower lobe (plotted as A). B. 3 cycles of tidal study shows paradoxical attenuation in inspiratory and expiratory phase at superior segment of right lower lobe (plotted as square) compared with normal attenuation pattern of right middle lobe (plotted as A).



### III. 결 과

EBT 역동적 검사를 시행하였을 때 소기도 폐색 질환자 15 명 가운데 역설적 감쇠가 강제 호흡에서 10 명, 일호흡에서 11 명, 어느 둘 중의 하나에서 역설적 감쇠를 보인 예가 13 명 이었다. 소기도 폐색 소견이 없는 기타 질환자의 경우는 역설적 감쇠 소견이 없었다. 공기 폐색은 소기도 질환자의 강제 호흡 혹은 일 호흡 역동적 영상에서 5 명이었고, 기타 질환자의 경우는 2 명이었다. 이들 2 명은 중심 소엽성 폐기종과 end stage lung 환자로서 별집 모양이 없는 환자이었다(Table 1).

Table 1. The Number of Patient Presenting Paradoxical Attenuation or Air Trapping in the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.

	Bronchiolar Constriction (n=15)	N-SAD (n=10)
Paradoxical Attenuation	13	0
Forced Expiratory	10	0
Tidal	11	0
Air Trapping	5	2*
Forced Expiratory	5	2
Tidal	0	1

\*: COPD and mainly end stage lung, respectively

N-SAD: non-small airway disease

소기도 폐색 질환자와 기타 질환자의 폐기능 검사 결과는(Table 2) 소기도 질환의 지표인 MMEF (FEF<sub>25-75</sub>)와 FEF<sub>25</sub>, FEF<sub>50</sub>, FEF<sub>75</sub>에서 차이를 보였지만 통계적 의미는 없었다(p>0.05).

Table 2. Comparison of the Pulmonary Function Test Parameters between the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.

	Bronchiolar Constriction (n=15)	N-SAD (n=10)	p-value
VC	60.1 ± 18.6	64.8 ± 16.8	>0.1
FVC	61.6 ± 18.4	73.3 ± 19.2	0.09
FEV1	58.0 ± 20.5	70.7 ± 15.3	>0.1
FEV1/FVC	85.6 ± 15.6	99.8 ± 32.5	>0.1
MMEF	35.2 ± 17.4	61.9 ± 37.1	>0.1
PEF	55.9 ± 20.5	77.1 ± 29.3	>0.1
PIF	2.40 ± 0.89	3.33 ± 1.53	>0.1
FEF <sub>25</sub>	35.9 ± 16.0	66.0 ± 20.7	>0.1
FEF <sub>50</sub>	31.5 ± 14.3	58.6 ± 34.1	>0.1
FEF <sub>75</sub>	40.5 ± 36.0	61.8 ± 32.0	0.08
FET	4.33 ± 1.37	4.82 ± 4.17	>0.1
FIF <sub>50</sub>	3.25 ± 0.96	3.57 ± 1.40	>0.1
FEF/FIF	0.60 ± 0.55	0.33 ± 0.58	>0.1
FIVC	51.6 ± 15.6	84.7 ± 24.0	>0.1

N-SAD: non-small airway disease

소기도 폐색 질환자에서는 소엽의 낮은 감약을 보이는 부위가 강제 호흡 흡기가 호기에 비하여 평균  $4 \pm 52$  HU 감소, 일 호흡 흡기에서는 호기에 비하여  $25 \pm 28$  HU 감소 하였고, 기타 질환의 경우는 우하엽 상분절구 부위에서, 강제 호흡 흡기에서 호기에 비하여  $159 \pm 102$  HU 증가, 일 호흡 흡기에서는 호기에 비하여  $56 \pm 41$  HU 증가를 보였다. 모든 소기도 폐색 질환자에서 저감쇠 영역으로 보이는 각각의 관심구역을 환자에 상관없이 보이는 구역에서 측정하였을 때 강제 호흡의 역설적 감쇠는 총 62 관심구역에서  $-38 \pm 30$ 의 역설적 감쇠를 보였고 공기 폐색은  $22 \pm 20$ 의 밀도증가만 보였다. 일 호흡은 역설적 감쇠는  $-32 \pm 28$ , 공기 폐색은  $4 \pm 3$ 의 밀도증가를 보였다(Table 3).

Table 3. Hounsfield Number of Low Attenuation Area in the Patients with Bronchiolar Constriction (n=15) according to Respiratory Maneuver and Phase

	n	Mean		n	Mean
FE PA INSP	62	$-782 \pm 55$	TID PA INS	63	$-760 \pm 52$
EXP	62	$-819 \pm 50$	EXP	63	$-791 \pm 58$
E-I	62	$-38 \pm 30$	E-I	63	$-32 \pm 28$
FE AT INSP	60	$-802 \pm 44$	TID AT INS	15	$-790 \pm 5$
EXP	60	$-780 \pm 48$	EXP	15	$-786 \pm 6$
E-I	60	$22 \pm 20$	E-I	15	$4 \pm 3$

FE: Forced Expiratory maneuver

PA: Paradoxical Attenuation

TID: Tidal maneuver, AT: Air Trapping

INS: Inspiratory phase, EXP: Expiratory phase

E-I: Expiratory-Inspiratory phase

Hounsfield Number of all of the low attenuation area was measured, so the number of region of interest was ranged from one to nine in individual patient.

단층촬영 영상에서의 저감쇠 영역은 호기 역동적 CT의 역동적 운동 혹은 공기 폐색 면적 백분율이  $37.9 \pm 25.3$ 으로 HRCT의 흡기 영상  $26.9 \pm 19.2$ 보다 넓었으나(Figure 3), 호기에서 폐면적이 정상적으로 수축되어 공기 폐색 면적이 상대적으로 넓어지고 또 호기 역동적 CT는 전자선 단층촬영 기기상 절편의 숫자가 8개 미만으로 제한되어 있어서 공기 폐색이 있는 부위를 중점적으로 촬영하였고, HRCT는 폐 전체를 일정 간격으로 촬영하여 조사 대상의 용적이 틀리기 때문에 두 연구방법 간의 차이는 의미는 없다고 해석된다.

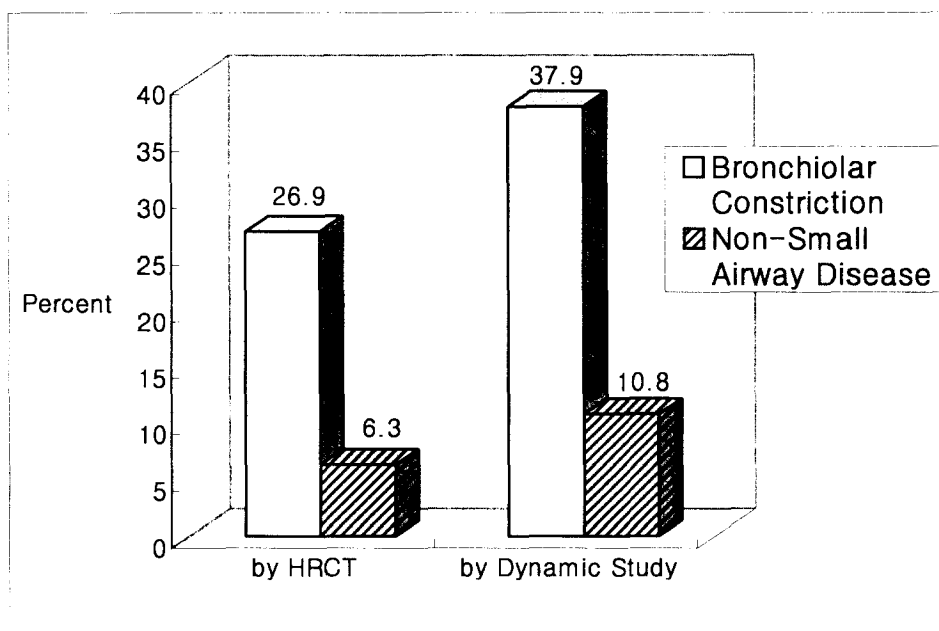


Figure 3. Comparison of the areas (%) of decreased attenuation by HRCT and dynamic study between the patients with bronchiolar constriction and non-small airway disease.

소기도 폐색 질환자의 HRCT 에서 소엽의 낮은 감약 부위의 면적 백분율과 폐기능 검사는 FVC, FEV1, MMEF, PIF, FEF<sub>25, 50, 75</sub>, FIVC 와 역상관성을 보였고, 역동적 EBT 의 호기영상은 FVC, FEV1, MMEF, FEF<sub>25, 50, 75</sub> 등과 유의한 역상관 관계가 있었다. 소엽의 낮은 감약 면적 백분율과 폐기능 검사와의 상관관계는 HRCT 나 역동적 EBT 나 결과가 비슷하였다. 기타 질환의 경우는 소엽의 낮은 감약 면적 백분율과 폐기능 검사와는 상관 관계가 없었다(Table 4).

Table 4. Correlation Coefficiency between the Pulmonary Function Test and the Areas of Low Attenuation (%) by HRCT and Dynamic Study in the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.

	BC			N-SAD		
	n	HRCT	D-study	n	HRCT	D-study
VC	9	-.529	-.628	6	-.507	-.507
FVC	15	-.708**	-.748**	10	-.265	-.069
FEV1	15	-.723**	-.763**	10	-.558	-.330
FEV1/FVC	15	-.306	-.322	10	-.032	-.019
MMEF <sub>25-75</sub>	15	-.683**	-.657**	10	-.123	-.119
PEF	15	-.478	-.457	10	-.381	-.320
PIF	5	-.894*	-.783	3	.500	.500
FEF <sub>25</sub>	9	-.887**	-.817**	6	.068	.068
FEF <sub>50</sub>	14	-.613*	-.627*	9	.175	.035
FEF <sub>75</sub>	14	-.608*	-.659*	9	.380	.066
FET	14	.325	.418	9	-.136	.154
FIF <sub>50</sub>	9	-.630	-.485	6	-.439	-.439
FEF/FIF	5	.289	-.289	3	.866	.00
FIVC	5	-1.0**	-.800	3	-.500	-.500

\*: p<0.05, \*\* : p<0.005

BC: bronchiolar constriction, N-SAD: non-small airway disease, n: number of patients, HRCT: high resolution computed tomography, D-study: dynamic study

저감쇠 면적과 흡기와 호기의 밀도 수치와의 상관 관계를 알아보았을 때 전체 환자에서 면적과 호기의 밀도와 흡기와 호기의 차이 밀도에서 유의한 역 상관 관계를 보여 저감쇠 영역의 면적이 넓을수록 역행적 변화가 많이 발생함을 알 수 있다(Table 5). 소기도 질환의 경우 상관 관계가 없었으나 이는 소기도 질환의 경우 저감쇠 영역이 호기 역동적 CT는  $37.9 \pm 25.3$ , HRCT는  $26.9 \pm 19.2$  이나 기타 질환군의 경우 호기 역동적 CT는  $10.8 \pm 10.3$ , HRCT는  $6.3 \pm 8.3$ 으로 소기도 질환의 표준 편차의 폭이 좁아서 상관 관계가 희박한 것으로 해석된다.

Table 5. Correlation Coefficiency between Hounsfield Unit of Region of Interest and Areas (%) of Low Attenuation in HRCT and Dynamic Electron Beam Tomography between the Patients with Bronchiolar Constriction and Non-Small Airway Disease.

	Bronchiolar Constriction			N-SAD			Total	
	n	HRCT	D-S	n	HRCT	D-S	HRCT	D-S
FE Insp	15	.022	-.048	15	.317	.558	-.003	.003
Exp	15	.324	.193	10	.588	.709*	.627**	.589*
I-E	15	-.154	-.157	10	-.692*	-.822**	-.655**	-.631**
Tidal Insp	15	.377	.313	10	.583	.775*	.293	.321
Exp	15	.396	.330	10	.540	.613	.485*	.472*
I-E	15	-.239	-.235	10	-.122	-.128	-.600**	-.522*

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.005$

N-SAD: non-small airway disease, D-S: dynamic study, FE: forced expiratory study, Insp: Hounsfield unit of inspiratory phase, Exp: Hounsfield unit of expiratory phase, I-E: Difference of Hounsfield unit between inspiratory phase and expiratory phase.

Region of interest is measured in the low attenuation area when that is seen, and superior segment of right lower lobe is measured when low attenuation is not seen.

## IV. 고 찰

세기관지염은 일반적인 용어로 임상적으로 소기도 에서의 여러 염증반응들을 통칭한다. 조직학적으로 세기관지염은 비특이적이며 세기관지의 염증반응을 의미하며 급성 세기관지염, 교착성 세기관지염, 호흡 세기관지염, 여포성 세기관지염, bronchiolitis obliterans organizing pneumonia, 미만성 범세기관지염 등이 이에 속한다.

공기 폐색은 정상인 에서도 50% 까지 보이는 소견으로 흔히 보는 소견으로 알려져 있다. 특히 나이가 들수록, 흡연양이 증가할수록 그 정도가 심해진다고 한다. 그러나 그 역동적인 분석이나 특징에 대해서는 아직 잘 정립이 되어있지 않다.<sup>13</sup>

폐의 감쇠치는 공기, 혈액, 혈관외 간질 용액, 폐 조직 등 4 개의 다른 성분으로 결정된다.<sup>4</sup> 역설적 감쇠는 소기도 폐색 질환의 특징적인 소견으로 알려져 있다.<sup>5</sup> 이 소견은 인공음영이 아니며 여러 보고에서 이 현상에 대해서 언급하고 있다.<sup>4,7</sup> 이에 대한 원인으로 가능한 설명은 첫째, 폐색된 공기가 작은 폐혈관을 압박하여 폐순환을 감소시켜 역설적 감쇠를 초래하는 것이고 둘째, 공기 폐색과 정상적 환기를 보이는 부분이 같이 관심구역 내에 있을 때 호기 시에 비정상적인 저감쇠 영역의 용적이 상대적으로 늘어나서 역설적 감쇠가 일어난다는 설명과 셋째, pendulum air (pendelluft) 가설로서 빠른 흡기와 호기의 과정에서 호기 시에 잘 확장된 폐에서 공기가 배출될 때 부분 폐쇄된 폐로 들어가서 정상 폐와 비정상 폐의 용적이 반대로 움직인다고 설명하고 있다.<sup>5</sup> 그러나 본 연구에 의하면 일 호흡과 강제 호흡에서 모두 역동적 운동이 보여서

이 가설은 신빙성이 떨어질 것으로 생각된다. 두 번째 가설 역시 정상 폐가 관심구역에서 차지하는 면적이 호기 시에 적어질 수 있지만 밀도를 가늠하는 간질이나 혈관은 그대로 있고 오히려 공기가 배출된 압축된 폐의 면적은 관심구역이 일정할 때에 상대적으로 늘어나므로 밀도가 오히려 증가될 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 첫번째의 폐순환 감소가 역설적 감쇠의 주된 원인이라고 보는 것이 가장 타당하다고 본다.

강제 호흡과 일 호흡 모두 역설적 감쇠의 탐지에 비슷한 성적을 보였으나 일 호흡 검사가 강제 호흡보다 환자가 수행하기 쉽고 자료획득을 쉽게 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 일 호흡의 호기 영상보다 강제 호흡의 호기 영상이 저감쇠 영역을 찾는데 육안적으로 더 좋아서 영화 영상(movie mode)으로 저감쇠 영역을 볼 때는 강제 호흡이 장점이 있다. 그러나 호기 시에 횡격막의 상승 등이나 흉벽의 움직임 등이 강제 호흡에서 더 심화되어 자료획득에 불리하다.

FVC curve 에서 얻어지는  $MMEF_{25-75}$  의 감소는 소기도 질환의 표지자로 알려져 있다.<sup>1</sup> FVC, FEV1 그리고 FEV1/FVC 가 정상일 때 MMEF 의 감소는 흡연자와 무증상 천식환자에서 가장 흔하게 보이는 것으로 알려져 있고 동맥 산소분압이 약간 저하되어 있을 수 있고 이는 환기 관류 관계의 변화를 반영한다.<sup>1</sup> 본 연구에서 고해상 전산화 단층촬영과 역동적 전자선 단층촬영의 저감쇠 영역은, 소기도 질환 환자에서의 폐기능 검사 시에 소기도 질환의 인자인  $MMEF$ ,  $FEF_{25, 50, 75}$ , FEV1 등과 유의미한 역 상관성을 보였고 기타 FVC 와도 역 상관성을 보였다. 또한 FEF 가운데  $FEF_{25}$  가  $FEF_{50}$  보다 더 유의한 역 상관성을 보여 이전 보고와 비슷한 결과를 보였다.<sup>10</sup> 그리고 공기 폐색 점수와 FEV1,



FEV/FVC, MMEF, peak flow 등과 유의한 상관관계가 있었다는 보고가 있었고<sup>11</sup> 폐기능 검사와 가장 잘 연관이 있는 고해상 전산화 단층촬영의 징후는 호기시의 저감쇠였다고 한다.<sup>14</sup> 본 연구에서 저감쇠 영역이 넓을수록 역설적 감쇠가 많이 일어나는 역상관 관계를 보였는데 이는 소기도 폐색 질환의 심해짐과 역설적 감쇠는 비례하는 것으로 보인다. 이를 볼 때 소기도 폐색 질환 환자에서 가장 중요한 인자는 폐기능 검사에서는 MMEF와 전산화 단층촬영에서는 저감쇠 영역과 역설적 감쇠임을 알 수 있다.

Johnson 등에 의하면 저 감쇠 영역을 보상적 과 팽창과 공기 폐색 혹은 역설적 감쇠와 구분하는데 역동적 나선형 단층촬영으로 가능하다고 하였다.<sup>4</sup> 본 연구에서 3명의 활동성 폐결핵과 6명의 폐결핵 기왕증환자 등에서 역설적 감쇠가 있었다. 결핵의 후유증으로 구역성 혹은 한 엽의 허탈은 흔히 보는 소견인데 나머지 폐가 과 팽창인지 교착성 세기관지염에 의한 변화인지를 가늠하는 것은 환자의 예후를 판정하는데 중요할 것으로 생각되는데 이를 역동적 전자단층촬영을 이용하여 역설적 감쇠 혹은 공기 폐색을 판정하여 정확히 진단할 수 있다.

정상 폐에서 흡기 시의 평균 전체 폐 밀도는  $-802 \pm 34\text{HU}$  이었고 폐 말초 부위에서는  $-813 \pm 37\text{HU}$  이었다는 보고가 있어<sup>15</sup> 흡기 시 폐 밀도의 정상한계가  $850\text{HU}$  임을 알 수 있다. 또한 폐의 앞쪽과 뒤쪽의 밀도차이가 흡기 시  $71 \pm 35\text{HU}$  이었다. 또 밀도경사는 폐첨 부위에서 기저부위로 갈수록  $30\text{HU}$  에서  $66\text{HU}$  로 커진다는 보고가 있었고 이 보고에서는 어린이에서 적당한 흡기 시 정상 폐 밀도가  $-700$  에서  $-880$  사이 라고 하였다.<sup>16</sup> 본 연구에서 3예를 제외하고는 모두 이 범주 안에 들었다. 이 3예는 흡기 영상에서  $-700\text{HU}$  이상의 폐

밀도를 보였는데 1 예는 간유리 음영이 전반적으로 있던 예이었고 소기도 질환 2 예 중 1 예는 기관지 확장증으로 두꺼워진 기관지 벽으로 인한 폐 밀도의 증가가 있었고, 1 예는 허탈이 같이 있던 예 이어서 밀도의 증가가 있었다.

Webb 에 의하면 역동적 전자선 단층촬영을 이용한 강제 호흡 검사에서 정상 폐 밀도의 증가가 84-372HU 범위로 의존적인 폐는 평균 219HU 증가, 비의존적인 폐는 171HU 증가 이었다.<sup>8</sup> 공기 폐색은 강제 호흡에서 0-50HU 의 감쇠 증가만 있었다는 보고가 있었고<sup>5</sup> 본 연구에서도 0-49 의 감쇠 증가가 있었다.

최대 흡기 상태와 최대 호기상태의 정상 폐 면적의 차이는 분기부위에서 약 39-55% 이다.<sup>17</sup> 그런데 공기 폐색이 있는 부위는 호기 시 면적감소가 일어나지 않는데, 이는 호기 시 전체 폐 면적 중 공기 폐색 부위가 흡기보다 더 증가하는 결과를 초래한다. 또한 정상 폐는 밀도가 증가하는 반면 공기 폐색 부위는 밀도가 거의 증가하지 않거나 감소하여 호기 영상에서 공기 폐색을 쉽게 관찰할 수 있어 진단의 정확도를 높인다. 이는 침윤성 폐병변이나 간유리 음영 등이 있을 때 흡기 영상에서 모자이크 감쇠를 보이는 병변을 정상 폐라고 잘못 해석할 수 있어 호기 고해상 전산화 단층촬영을 시행하여 진단의 정확도를 높이는데<sup>18</sup> 역동적 전자선 단층촬영을 시행할 경우 빠른 시간에 시간 밀도곡선을 통해 공기 폐색과 정상 폐를 구분할 수 있고 영화 영상을 통해 질적으로 판단할 수 있는 장점이 있는데 본 연구에서 한 예의 한엽의 Swyer-James 증후군을 동반한 특발성 폐섬유증 환자에서 공기 폐색 엽에서 역설적 감쇠를 잘 관찰할 수 있었다. 이는 복합적인 질병을 가진 환자에서 공기 폐색을 확인하여 정상 폐로 잘못 판단하는 경우를 방지할 수 있다.

또 전반적인 간유리 음영으로 발현한 환자에서 -671HU 의 비정상적으로

높은 흡기 밀도와 호기 시 300 이상의 밀도증가로 정상 폐와 다른 차이를 보여 쉽게 간유리 음영을 확인할 수 있을 것으로 생각한다. 기존의 연구에서는 흡기와 호기 전산화단층촬영을 이용하거나, 간유리 음영 병변에서는 폐 혈관들이 일정한 크기로 보이는 반면에 소기도 폐색 영역에서는 혈관의 크기가 작게 보여 감별점으로 활용되었다.<sup>18</sup>

간유리 음영과의 감별과 더불어 비균질한 감쇠를 보이는 또 다른 질환인 폐 혈관질환도 감별에 포함되어야 하는데 간유리 음영과 더불어 소기도 폐색 영역과 감별하는 방법으로 간유리 음영과 폐 혈관질환은 저감쇠 영역이나 정상적 감쇠영역 모두 호기의 전산화단층촬영에서 밀도의 증가가 보인다고 하였으나 소기도 폐색 질환에서는 밀도의 증가가 없고 오히려 두드러진다고 하였다.<sup>18</sup> 본 연구에서 이용하는 역동적 방법을 이용하여 밀도를 정량화 시켜 객관적인 수치를 측정해 보는 방법이 있겠으나 본 연구에서는 폐 밀도질환은 포함되지 않았다.

폐기종이 있을 경우 단층촬영에서 폐 밀도가 낮아 소기도 질환과의 감별이 어려울 때가 있는데, 폐기종 폐 밀도의 한계치는 흡기 시 -910HU (19-20), -950HU 라는 보고<sup>19</sup>가 있었다. 이는 절편두께나 조영증강 여부 등에 따라서 약간의 변이가 있는 것으로 보이며 본 연구에서는 소엽중심성 폐기종환자의 경우 흡기 시 -860HU, 호기 시 -842HU의 공기 폐색을 보였고 역설적 감쇠는 없었다. 그리고 최대 호기 영상에서 소엽의 낮은 감약은 보이지 않고 전반적인 낮은 감약을 보였다. 이는 소엽중심성 폐기종은 폐기종의 영역이 적으므로 범소엽성 폐기종이나 기포와는 달리 폐 밀도가 높음을 알 수 있고 또한 소기도 질환도 전반적으로 동반되는 것으로 추정되나 그 정도가 약한 것으로 추정

된다. 대부분의 폐쇄성 폐질환 즉 천식, 기관지염, 폐기종에서는 모든 기도가 침범 되므로 대기도와 소기도의 기여도를 분리하기 힘들며 분리할 임상적 이유가 없다.<sup>1</sup> 폐기종은 만성 폐쇄성 폐 질환에서 호기 공기흐름 제한의 주요 원인이 아니고, 심한 소기도의 병리조직학적 변화를 보여도 FEV1 이나 폐기종 점수와는 상관관계가 떨어진다고 하며,<sup>20</sup> 말초 기도가 만성 폐쇄성 폐질환 환자의 저항을 높이는 주된 부위라고 하여<sup>21-23</sup> 만성 폐쇄성 폐 질환에서 소기도 질환이 차지하는 비중이 높음을 알 수 있다. 그러나 역설적 감쇠는 보이지 않는데 역설적 감쇠의 유무에 따라서 주된 질환이 만성 폐쇄성 폐 질환 혹은 소기도 폐색으로 나누어 질 수도 있다.

본 연구의 제한점 으로는 첫째, 대조군이 비균질하고, 둘째, 강제호흡 후 전자선단층촬영 결과에서 관심영역을 그려 그 변화를 볼 때 흡기와 호기에서 관심영역이 일치하지 않는데 이를 보정하기 위하여 비교적 큰 관심영역을 그려 비교적 일치하도록 하였다. 그러나 이는 보다 작은 소엽에서의 공기 폐색이나 역설적 감쇠를 평가하는데 한계가 있다. 특히 폐의 후면으로 갈수록 호기 시 움직임이 커서 관심영역의 시간 밀도곡선을 측정할 때 흡기와 호기에서 관심영역이 같은 부위가 아닐 가능성이 있다.

## V. 결 론

역동적 전자선 단층촬영은 호흡주기 동안에 저감쇠 영역의 시간적 변화인 역설적 감쇠 혹은 공기 폐색을 평가할 수 있어서 역동적 정보를 획득하여 소기도 질환의 평가에 유용한 것으로 평가되었다. 또한 소기도 질환이 다른 주요 질환과 같이 발현한 경우 고해상 전산화 단층촬영보다 진단에 도움이 될 수 있다.

## 참고문헌

1. Bates DV. Respiratory function in disease. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 1989.
2. Hogg JC. Broncholitis in asthma and chronic obstructive pulmonary disease. Clin Chest Med 1993; 14:733-40.
3. Betsuyaku T, Yoshioka A, Nishimura M, Miyamoto K, Kawakami Y. Pulmonary function is diminished in older asymptomatic smokers and ex-smokers with low attenuation areas on high-resolution computed tomography. Respiration 1996; 63:333-8.
4. Johnson JL, Kramer SS, Mahboubi S. Air trapping in children: Evaluation with dynamic lung densitometry with spiral CT. Radiology 1998; 206:95-101.
5. Stern EJ, Webb WR. Dynamic imaging of lung morphology with ultrafast high-resolution computed tomography. J Thorac Imaging 1993; 8:273-82.
6. Ringertz HG, Brasch RC, Gooding CA, Wikstrom M, Lipton MJ. Quantitative density-time measurements in the lungs of children with suspected airway obstruction using ultrafast CT. Pediatr Radiol 1989; 19:366-70.
7. Stern EJ, Samples TL. Dynamic ultrafast high resolution CT findings in a case of Swyer-James syndrome. Pediatr Radiol 1992; 22:350-2.
8. Webb WR, Stern EJ, Kanth N, Gamsu G. Dynamic pulmonary CT: Findings in healthy adult men. Radiology 1993; 186:117-24.
9. Thurbeck W. The pathology of small airways in chronic airflow limitation. Eur J Respir Dis 1982;63(suppl121):9-18

10. Hogg J, Macklem P, Thurlbeck W. Site and nature of airway obstruction in chronic obstructive lung disease. *N Engl J Med* 1968;278:1355-1360
11. Epler GR. Diseases of the bronchioles. New York: Raven Press; 1993
12. Thurlbeck WM, Dunnill MS, Hartung W, Heard BE, Heppleston AG, Ryder RC. A comparison of three methods of measuring emphysema. *Human Pathology* 1970;1:215-26.
13. Lee KW, Chung SY, Yang I, Lee Yul, Ko EY, Park MJ. Correlation of aging and smoking with air trapping at thin-section CT of the lung in asymptomatic subjects. *Radiology* 2000;214:831-836.
14. Hansell DM, Rubens MB, Padley SP, Wells AU. Obliterative Bronchiolitis: Individual CT signs of small airways disease and functional correlation. *Radiology* 1997;203:721-6.
15. Rosenblum LJ, Mauceri RA, Wellenstein DE, Thomas FD, Bassano DA, Raasch BN, et al. Density patterns in the normal lung as determined by computed tomography. *Radiology* 1980; 137:409-16.
16. Vock P, Malanowski D, Tschaeppler H, Kirks DR, Hedlund LW, Effmann EL. Computed Tomographic lung density in children. *Invest Radiol* 1987; 22:627-31.
17. Mitchell AW, Wells AU, Hansell EM. Changes in cross-sectional area of the lungs on end expiratory computed tomography in normal individuals. *Clinical Radiology* 1996; 51:804-6.
18. Arakawa H, Webb WR, McCowin M, Katsou G, Lee KN, Seitz RF. Inhomogeneous lung attenuation at thin-section CT: Diagnostic value of expiratory scans. *Radiology* 1998; 206:89-94.
19. Gevenois PA, Vuyst PD, Sy M, Scillia P, Chaminade L, Maertelaer V, et al. Pulmonary emphysema: Quantitative CT during expiration *Radiology* 1996;199:825-9.

20. Gelb AF, Hogg JC, Muller NL, Schein MJ, Kuei J, Tashkin DP, et al. Contribution of emphysema and small airways in COPD. *Chest* 1996;109:353-9.
21. Hogg JC, Macklem PT, Thurlbeck WM. Site and nature of airway obstruction in chronic obstructive lung disease. *N Engl J Med* 1968;278:1355-60.
22. Silvers GW, Maisel JC, Petty TL, Filley GF, Mitchell RS. Flow limitation during forced expiration in excised lungs. *J Appl Physiol* 1974;36:737-44.
23. Silvers GW, Maisel JC, Petty TL, filley GF. Central airways resistance and excised emphysematous lungs. *Chest* 1972;61:603-12.



## **Abstract**

### **Small airway disease evaluation using dynamic electron beam tomography**

Sang Hoon Lee

*Department of Medicine*

*The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Kyu Ok Choe)

The pulmonary function test (PFT) is insensitive to detect small airway disease (SAD). Expiratory high resolution computed tomography (HRCT) is the best imaging modality so far. Variation of air trapping through respiratory cycle can be assessed by time-attenuation curve using dynamic Electron Beam Tomography (EBT). Twenty-five patients were evaluated with HRCT, dynamic EBT, and PFT. HRCT findings included in SAD (n=15) were all having lobular low attenuation or centrilobular prominence or bronchiolectasia (n=1). Non-SAD group (n=10) was defined by absence of those findings. Dynamic EBT was done by multi slice flow mode, scan time: 50msec, 8 slices almost synchronously, slice thickness: 8mm, every 400msec-16 images per each slice, and total data acquisition for 7.2 sec. Tidal and forced expiratory study was taken.

Paradoxic attenuation was noted at SAD group (13 forced expiratory and/or tidal study). Air trapping was noted in 5 of SAD group and 2 of non-SAD group: COPD & mainly end stage lung, respectively. PFT is not different with SAD group and non-SAD group ( $p>0.1$ ). In SAD group, lung density was  $804 \pm 62$  Hounsfield unit (HU) at inspiratory phase with forced expiratory study and decreased  $4 \pm 52$  HU after expiration,  $767 \pm 51$  HU at inspiratory phase with tidal study and decreased  $25 \pm 28$  HU after expiration. In other group, lung density was  $816 \pm 61$  HU at inspiratory phase with forced expiratory study and increased  $159 \pm 102$  HU after expiration,  $759 \pm 100$  HU at inspiratory phase with tidal study and increased  $56 \pm 41$  HU after expiration. Lung attenuation and area of lobular low attenuation (LLA) in all cases was inversely correlated ( $p<0.05$ ), indicating that if more areas of SAD have, more paradoxic attenuation have taken. Areas of LLA in HRCT or dynamic EBT are well correlate with the PFT especially MMEF,  $FEF_{50}$ , PEF and HU of air trapping area. In conclusion, dynamic EBT in SAD can reveal dynamic change of lung attenuation according to respiratory phase, so it can obtain provide clue for differentiation of the mosaic pattern.

---

**Key words :** small airway disease, dynamic electron beam tomography, high resolution computed tomography, pulmonary function test, paradoxic attenuation, air trapping, lung density, forced expiratory maneuver.