대한방사선의학회지 2000;42:925 - 932

정상과 미만성 폐실질 질환에서 폐용적 조절에 의한 폐실질 농도의 정량적 분석: 기초 연구[1]

박효용 · 이종민 · 김종섭 · 원철호[2] · 김명남[3] · 강덕식

목적: 자체 개발중인“폐용적 조절에 의한 정량적 폐실질 농도 분포 분석 시스템”의 임상적 이용 가능성을 검토하기 위해 본 연구를 시행하였다.

대상과 방법: 정상인 10명, 폐기종 환자 10명, 특발성 폐섬유증 환자 2명을 대상으로 하였으며, 자체 조립한 폐용적 조절기(lung volume controller)를 이용하여 폐활량의 70%, 50%, 20%의 호흡 수준에서 상부, 중부, 하부 폐야의 단면 영상을 얻었다. 촬영은 전자선단층촬영기 (Electron beam tomography, EBT)를 이용하였고, 기법은 single slice mode, 단면두께 10 mm, scan time 0.4초, 조사야 35 cm 이었다. 얻어진 각 단면 영상에서 자체 제작한 분석용 소프트웨어를 이용하여 폐실질만을 분리한 후 농도분포곡선(Histogram)을 구하고, 평균 농도, 최대 빈도 농도, 최대 상승 기울기, 최대 상승 기울기 농도, 최대 하강 기울기, 최대 하강 기울기 농도, Full width at half maximum (FWHM) 등의 정량적 요소를 측정하였다. 정량적 요소들의 정상 개체간 일관성과 호흡 수준에 따른 변화를 알아보고, 동일한 호흡 수준의 정상군과 질환군에서 정량적 요소들을 비교, 분석하였다.

결과: 10명의 정상인에서 각 호흡 수준에서의 개체간 유의성을 보여 ±1 표준편차의 정상영역 곡선을 구할 수 있었다. 정상인에서 호흡 수준이 감소함에 따라 농도 분포 곡선은 더 높은 농도 쪽으로 이동하였고, 정상 영역의 폭은 증가하였다. 10명의 정상군에서 폐활량 70%에서 20%로 호흡 수준이 감소함에 따라 평균 농도, 최대 빈도 농도, 최대 상승 기울기, 최대 상승 기울기 농도, 최대 하강 기울기, 최대 하강 기울기 농도, FWHM이 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$). 동일한 호흡 수준에서 폐기종 환자의 농도 분포 곡선은 정상군보다 더 낮은 농도 영역에 위치하였으며, 호흡 수준 감소에 의한 높은 농도 쪽으로의 이동이 정상군에 비해 둔화되었다. 폐활량 50%와 20% 호흡수준에서 폐기종 환자군은 정상군에 비해 평균 농도, 최대 빈도 농도, 최대 상승 기울기 농도가 유의하게 낮았다 ($p < 0.05$). 2명의 특발 성 폐 섬유증 환자에서는 농도분포곡선이 정상군보다 더 높은 농도쪽에 위치하였다.

결론:“폐용적 조절에 의한 정량적 폐실질 농도 분포 분석 시스템”을 이용하여 정상군과 미만성 폐실질 질환군을 명확히 구분할 수 있었다. 더 많은 연구가 이루어진다면 이 방법은 미만성 폐실질 질환(diffuse parenchymal lung disease)의 조기 진단 및 추적에 유용한 검사법이 될 수 있을 것이다.

폐기종, 특발성 폐섬유증(idiopathic pulmonary fibrosis)등의 미만성 폐실질 질환을 검사하는 방법으로 CT가 광범위하게 이용되고 있으며, 진단 및 추적검사는 주로 형태와 농도의 변화를 주관적, 즉 정성적으로 평가함으로써 이루어진다. 따라서 판독의사, 촬영시의 호흡상태, 촬영조건 등에 따른 오차로 인해 판단기준에 대한 객관성은 높지 않다. 이러한 단점을 극복하기 위해 CT를 이용하여 폐실질 농도(density)를 측정하여 폐실질내 공기와 연부조직의 구성비를 정량적으로 평가하려는 연구가 이루어지고 있다 (1 - 4). 이러한 폐실질 농도의 측정에 있어서 가장 문제가 되는 것이 호흡 상태로서, 이 호흡 상태를 정확히 조절하는 것이 필수적이다 (4 - 11).

정량적 폐실질 농도분석을 함에 있어 저자들은 일정한 호흡 상태를 유지하기 위하여 자체 조립한 폐용적 조절기(lung volume controller)를 이용하였다. 그리고 획득한 영상의 평가에 있어 재현성(reproducibility)을 높이기 위하여 반자동화된

[1]경북대학교 의과대학 진단방사선과학교실
[2]경북대학교 의과대학 의공학교실
[3]아이오아대 의공학과
본 연구는 보건복지부에서 주관한 98년도 보건의료기술연구개발사업의 지원 (HMP - 98 - E - 1 - 0007) 에 의하여 이루어진 것임.
이 논문은 1999년 12월 15일 접수하여 2000년 4월 15일에 채택되었음.

(semi-automated) 분석용 소프트웨어를 개발하여 사용하였으며 이를 이용하여 폐실질만을 분리(segmentation)하고 폐실질의 농도분포곡선(histogram)을 구하였다. 본 연구에서는 이상의 방법에 대한 임상적 유용성을 검토하였다.

대상과 방법

임상 소견, 폐기능 검사 소견, 흉부 전산화단층촬영 (CT) 또는 고해상전산화단층촬영 (HRCT) 등으로 진단된 폐기종 환자 10명 (39-77세, 평균 60.1세, 남자: 여자=9:1)과 특발성 폐섬유증 환자 2명 (36세 여자, 69세 남자)을 미만성 폐실질 질환군에 포함시켰다. 또한 폐질환이 없는 자원자 10명을 정상 대조군으로 하였으며 연령은 28-34세 였고 성별은 전부가 남자였다.

자체 조립한 폐용적 조절기를 이용하여 일정한 호흡 수준을 결정하고 유지하였다. 이 시스템은 통과하는 공기량에 비례하는 신호를 발생하는 차압 트랜스듀서 부분, 공기의 흐름을 차단할 수 있는 풍선 밸브를 포함하는 마우스 피스 부분, 그리고 차압 트랜스듀서의 신호로부터 호흡량을 측정하여 특정 호흡 수준에서 풍선 밸브의 동작을 제어하는 퍼스널컴퓨터의 세 부분으로 구성되었다 (Fig. 1). 피검자는 마우스 피스를 통하여 호흡하도록 하고, 호흡에 장애가 생길 경우 자의적으로 마우스 피스를 제거할 수 있게 하였다. 우선 최대한의 흡기와 호기를 3회 반복하여 폐활량(vital capacity)을 결정하고, 계속 흡기와 호기를 시행하여 미리 정한 호흡 수준에 도달하면 마우스 피스에 달린 풍선 밸브가 펴지면서 공기 흐름이 차단되어 호흡이 중지되고, 이 때 폐의 단면영상을 획득하였다.

영상은 전자선단층촬영기 (Ultrafast CT®, C-150, Imatron, San Francisco, CA, U.S.A.)를 이용하여 획득하였다. 먼저 정찰영상(scout image)을 얻은 후에 폐첨부에서 늑골횡경막각 사이를 4등분하여 각 경계면을 상부, 중부, 하부 폐야의 촬영위치로 선정하였다 (Fig. 2). 폐용적 조절기를 이용하여 폐활량의 70% 수준에서 상부, 중부, 하부 폐야 영상들을 얻고, 다시 같은 방법으로 폐활량의 50%, 그리고 20% 수준에서 영상을 얻었다. 전자선단층촬영은 single slice mode 중 10 mm step volume scan 를 이용하였으며 이때의 촬영시간(scan time) 은 영상당 0.4초, 조사야 (field of view) 는 35 cm, 절편두께는 10 mm, 재구성유형은 normal mode 이었으며 각 호흡수준에서의 전체 촬영시간은 약 8초였다. 한 호흡 수준에서 촬영이 끝난 후 환자는 마우스 피스를 입에서 떼고 휴식을 취한 후에 다시 다른 호흡 수준에서 같은 방법으로 검사를 반복하여 피검자당 총 3회의 촬영을 시행하였다.

자체 제작한 분석용 소프트웨어를 이용하여 전자선단층촬영에 의해 얻어진 상부, 중부, 하부 폐야의 단면 영상으로부터 각 폐야에 대한 농도 정보를 구하고, 이를 평균하여 각 호흡 수준에서의 전체 폐야에 대한 농도분포곡선을 구하였다. 농도분

Fig. 2. After dividing the height of lung field into four segments on scout image acquired by electron beam tomographic scan, data acquisition levels were decided at the opposing borders of the segments.

Fig. 1. Lung volume controller comprised of mouth piece part (arrowhead), transducer part (arrow), and personal computer part (not illustrated). This system was built by gathering each ready-made part.

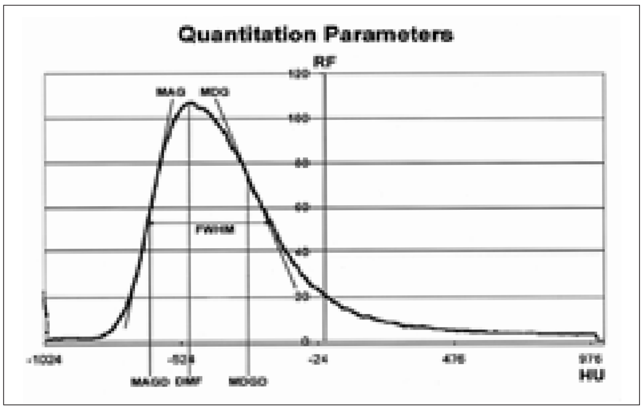


Fig. 3. Quantitative parameters of histogram. To consider the position of the curve, MAGD, DMI, MDGD were utilized and MD, MAG, MDG, FWHM were for the shape of the curve. MAG (D): maximal ascending gradient (density), DMF: density at maximal frequency, MDG (D): maximal descending gradient (density), MD: mean density, FWHM: full width at half maximum, RF: relative frequency.

포곡선에서 평균 농도(mean density), 최대빈도농도(density at maximal frequency), 최대상승기울기(maximal ascending gradient), 최대상승기울기농도(maximal ascending gradient density), 최대하강기울기(maximal descending gradient), 최대하강기울기농도(maximal descending gradient density), Full width at half maximum (FWHM) 등의 정량적 요소들을 측정하였다. 곡선의 위치를 반영하기 위해 최대빈도농도, 최대상승기울기농도, 최대하강기울기농도 등을 이용하였고 곡선의 모양을 반영하기 위해서는 평균농도, 최대상승기울기, 최대하강기울기, FWHM 등을 이용하였다 (Fig. 3).

정상 대조군 10명에서 산출한 농도-분포 곡선들을 호흡수준 및 위치별로 평균하여 평균 농도-분포 곡선을 구하여 ±1 표준편차의 정상 곡선영역을 산출하였다. 정상 대조군의 각 피검자에서 측정된 정량분석요소들을 평균하여 호흡수준에 따른 전체 폐야에 대한 정상치를 계산하였다. 정상군에서 호흡수준의 변화에 따른 농도-분포곡선의 위치 및 형태 변화를 조사하고, repeated measures ANOVA test를 이용하여 호흡수준의 변화에 따라 유의한 차이를 보이는 정량분석 요소를 조사하였다. 동일한 호흡 수준에서 정상군과 미만성 폐실질 질환군에서 농도-분포 곡선의 위치 및 형태의 차이를 조사하고, t-test를 이용하여 정량적 요소들 사이에 유의한 차이가 있는지를 조사하였다.

결 과

폐용적 조절기를 사용하여 촬영을 하는 8초간 정상 자원자와 미만성 폐실질 질환자 모두가 호흡중지를 하는데 어려움이 없었다. 영상 분석에 있어서 반자동화된 분석용 프로그램에서 자동적 폐실질 분리는 전 예에서 가능하였다. 10명의 정상 피검자의 결과를 평균하여 폐활량 70%, 50%, 20% 호흡수준에서의 전체 폐야에 대한 ±1 표준 편차의 정상영역곡선을 얻을 수 있었고 (Fig. 4), 각 정량분석요소의 전체 폐야에 대한 정상치를 구하였다 (Table 1).

정상 대조군에서 호흡 수준이 70%에서 20%로 감소함에 따라 전체 폐야에 대한 정상곡선영역은 높은 농도 쪽으로 이동하였으며, 정상 영역의 폭과 곡선 전체의 폭은 증가하였다 (Fig. 4). 정상 대조군의 폐활량 70%, 50%, 20% 호흡 수준에서의 평균 농도는 -314.7HU, -167.9HU, 104.3HU, 최대 빈도 농도는 -447.7HU, -303.7HU, -38.8HU, 최대 상승 기울기는 1.195, 1.298, 1.533, 최대상승기울기농도는 -551.2HU, -423.4HU, -158.8HU, 최대하강기울기는 1.194, 1.839, 5.916, 최대하강기울기농도는 244.7HU, 787.1HU, 939.7HU, 그리고 FWHM은 316.0, 407.4, 504.3으로 모든 정량분석요소가 호흡수준의 감소에 의해 유의한 증가를 보였다 (p < 0.05) (Table 1).

Table 1. Quantitative Parameters of Histograms of Whole Lung at Different Inspiration Levels in Normal Volunteers

Parameters / Inspiration levels	70% of VC	50% of VC	20% of VC
Mean density (HU)	-314.7	-167.9	104.3
Density at maximal frequency (HU)	-447.5	-303.8	-38.8
Maximal ascending gradient	1.195	1.298	1.533
Maximal ascending gradient density (HU)	-551.2	-423.4	-158.8
Maximal descending gradient	1.196	1.837	5.914
Maximal descending gradient density (HU)	244.7	787.1	939.7
Full width at half maximum	316.0	407.4	504.3

VC: vital capacity, HU: Hounsfield unit

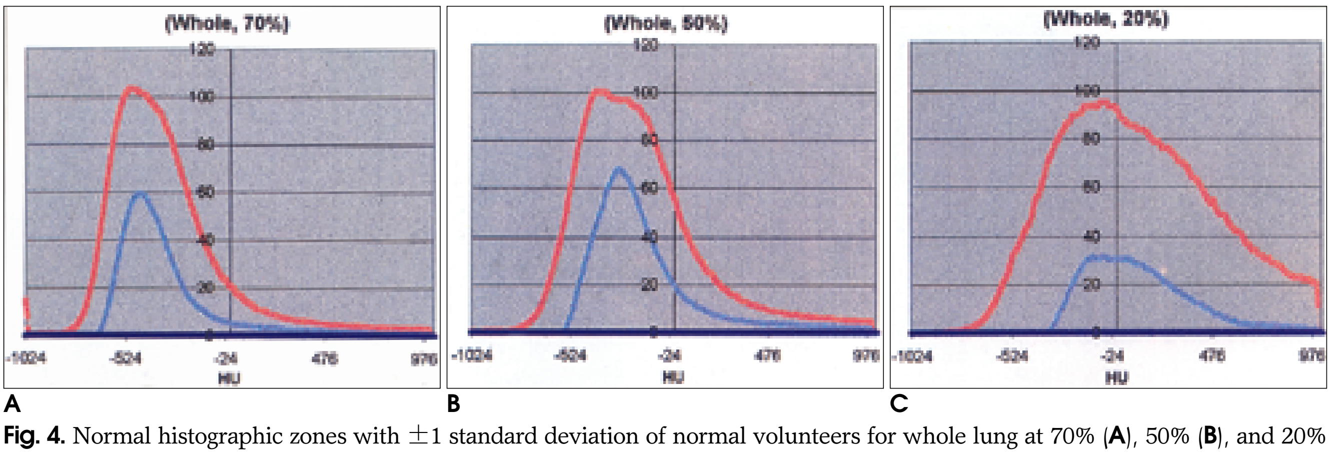
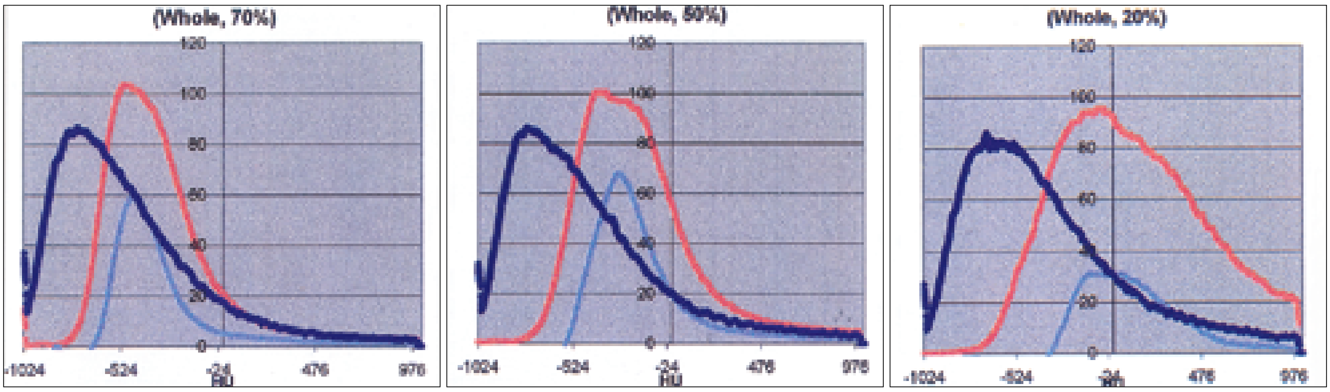
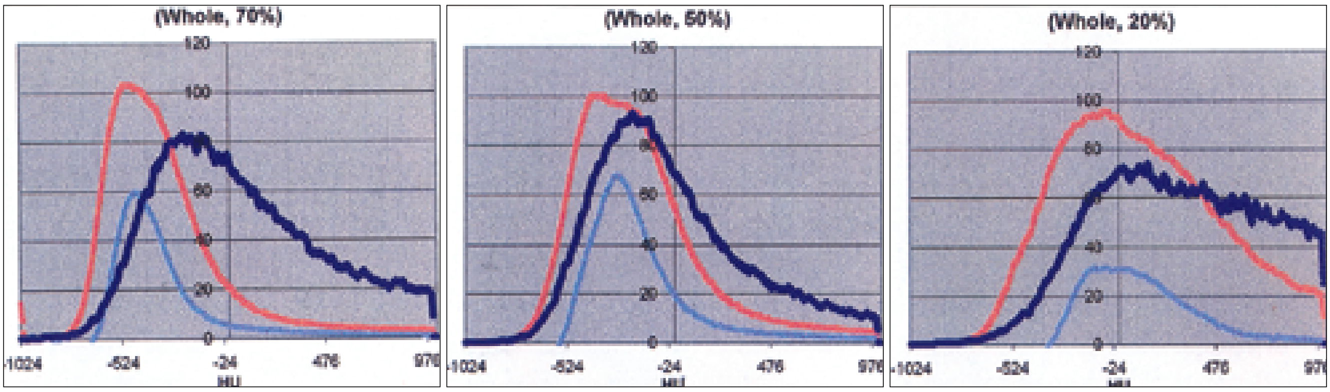


Fig. 4. Normal histographic zones with ±1 standard deviation of normal volunteers for whole lung at 70% (**A**), 50% (**B**), and 20% (**C**) inspiration levels. Histographic curves of normal controls are shifted toward the low density level and width of normal zone increases as the level of inspiration decreases.



A **B** **C**

Fig. 5. Histograms of 61-year-old man with emphysema (FEV1 = 37% of predicted value and VC = 63% of predicted value) at 70% (**A**), 50% (**B**), and 20% (**C**) inspiration levels. At the same level of inspiration, histograms of emphysema patient were located at the lower density area than those of normal controls. Histograms of emphysema patient show diminished shift compared with those of normal controls as inspiration status decreases.



A **B** **C**

Fig. 6. Histograms of 36-year-old woman with idiopathic pulmonary fibrosis at 70% (**A**), 50% (**B**), and 20% (**C**) inspiration levels. Histograms of ILD patients are located at higher density area than those of normal controls at three inspiration levels.

동일한 호흡 수준에서 폐기종 환자의 농도-분포 곡선은 정상인보다 더 낮은 농도 영역에 위치하여 정상군과 쉽게 구별되었다. 또한, 폐활량 70%에서 20%로 호흡 수준이 감소함에 따라 농도-분포 곡선이 높은 농도 쪽으로 이동은 하였지만 정상 대조군의 경우보다 그 정도가 적었고, 특히 심한 폐기종 환자에서는 농도 분포 곡선의 이동이 거의 없어 심한 공기 갇힘이 있는 것을 알 수 있었다 (Fig. 5). 동일한 호흡수준에서의 두 군간의 정량분석요소들의 비교시 70% 호흡수준에서는 최대하강기울기, 최대하강기울기농도, FWHM이 유의한 차이를 보이고, 50%와 20% 호흡수준에서는 평균농도, 최대빈도농도, 최대상승기울기농도가 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$) (Table 2). 특히 폐활량 20% 호흡 수준에서 정상 대조군과 폐기종군 사이의 평균농도의 차이는 250.2 HU, 최대빈도농도의 차이는 304.2 HU, 최대상승기울기농도의 차이는 290.5 HU로 나타나 폐활량 20% 호흡 수준에서 두 군간에 가장 분명한 차이를 보였다.

동일한 호흡 수준에서 2명의 특발성 폐섬유증 환자의 농도-분포 곡선은 정상군과 비교하여 더 높은 농도 영역에 위치하였으며, 곡선의 중간 너비가 컸으며, 특히 0 HU 보다 높은 농도 영역쪽이 높은 모양을 보여 섬유화를 반영하였고, 폐활량 70%에서 20%로 호흡수준이 감소하면 농도-분포 곡선이 더 높은 농도 쪽으로 이동하였다 (Fig. 6). 동일한 호흡수준에서 특발성 폐섬유화증 환자의 평균농도, 최대빈도농도, 최대상승기울기농도는 정상 평균치에 비하여 높았으며, 최대상승기울기, 최대하강기울기, FWHM 은 더 증가되어 있었다 (Table 3).

고 찰

미만성 폐실질 질환을 추적 검사함에 있어서 정량적 검사를 이용하면 눈에 보이지 않는 미세한 변화를 발견할 수 있고, 변화의 정도를 정량적으로 측정할 수 있을 것이다. 미만성 폐실질 질환의 정량적 평가를 위한 폐실질 농도의 측정에 있어서 가장 문제가 되는 것이 호흡 상태로서, 이 호흡 상태를 정확히 조절하는 것이 필수적이다 (4-11). 이는 호흡 정도에 따라 폐실질 농도가 심한 영향을 받기 때문이며, 일정한 호흡수준에서 평가를 해야 하며 재현성 있는 객관적인 검사 방법이

Table. 2. Quantitative Parameters of Histograms of Whole Lung at Different Inspiration Levels in Patients with Emphysema

Parameters	Inspiration levels 70% of VC		50% of VC		20% of VC	
	Emphysema	N	Emphysema	N	Emphysema	N
MD (HU)	- 322.4	- 314.7	- 280.9*	- 167.9	- 145.9*	104.3
DMF (HU)	- 496.8	- 447.5	- 465.7*	- 303.8	- 343.3*	- 38.8
MAG	1.272	1.195	1.333	1.298	1.394	1.533
MAGD (HU)	- 609.1	- 551.2	- 575.3*	- 423.4	- 449.3*	- 158.8
MDG	1.983*	1.196	2.174	1.837	3.925	5.914
MDGD (HU)	706.8*	244.7	599.9	787.1	939.2	939.7
FWHM	423.4*	316.0	470.3	407.4	520.2	504.3

VC: vital capacity, N: normal controls, HU: Hounsfield unit, MD: mean density, DMF: density at maximal frequency, MAG (D): maximal ascending gradient (density), MDG (D): maximal descending gradient (density), FWHM: full width at half maximum
(* $p < 0.05$ in t test between emphysema and normal control)

Table 3. Quantitative Parameters of Histograms at Different Inspiration Levels in Patients with Idiopathic Pulmonary Fibrosis

Parameters	Inspiration levels 70% of VC		50% of VC		20% of VC	
	IPF	N	IPF	N	IPF	N
MD (HU)	- 49.4	- 314.7	30.7	- 167.9	290.5	104.3
DMF (HU)	- 272.3	- 447.5	- 165.5	- 303.8	161.3	- 38.8
MAG	1.654	1.195	1.687	1.298	2.112	1.533
MAGD (HU)	- 365.4	- 561.2	- 303.4	- 423.4	303.0	- 158.8
MDG	7.363	1.196	7.248	1.837	17.445	5.914
MDGD (HU)	1003.0	244.7	1003.0	787.1	1003.0	939.7
FWHM	598.3	316.0	607.6	407.4	762.0	504.3

VC: vital capacity, IPF: idiopathic pulmonary fibrosis, N: normal controls,
HU: Hounsfield unit, MD: mean density, DMF: density at maximal frequency,
MAG (D): maximal ascending gradient (density),
MDG (D): maximal descending gradient (density), FWHM: full width at half maximum

필요하다. 본 연구에서도 폐활량 20%에서 70%로 호흡 수준이 증가함에 따라 정상 대조군에서 농도 분포 곡선은 더 낮은 농도 쪽으로 이동하였으며, 폐활량 70%와 20% 호흡 수준에서 419.0 HU의 폐실질 평균농도의 차이가 있었다. 이것은 흡기와 호기시에 폐실질 농도에 많은 차이가 남을 의미한다. 따라서 폐실질 농도를 비교함에 있어 호흡 상태의 표준화가 필수적임을 알 수 있다. 이에 저자들은 호흡상태를 일정하게 유지하면서 폐실질 농도의 정량분석을 할 수 있는 시스템을 개발하였고 이 시스템의 임상적 이용 가능성을 타진하기 위하여 본 연구를 시행하였다.

정량적 폐실질 농도분석을 함에 있어 저자들은 일정한 호흡상태를 유지하기 위하여 자체 조립한 폐용적 조절기(lung volume controller) 를 이용하였다. 그리고 획득한 영상의 평가에 있어 측정자에 의한 오차를 줄여 재현성(reproducibility) 을 높이기 위하여 반자동화된(semi - automated) 분석용 소프트웨어를 개발하여 사용하였으며 이를 이용하여 폐실질만을 분리(segmentation) 하고 폐실질의 농도 - 분포 곡선(histogram) 을 구하였다.

전자선단층촬영기는 피검자를 둘러싼 반원추형의 진공관내에 방사선의 발생원인 타겟을 210도로 배열한 후 전자총에서 발사된 전자빔을 차례로 각각의 타겟에 충돌시켜 방사선을 순차적으로 발생시킴으로써 방사선 발생장치가 피검자 주위를 돌면서 방사선을 조사하는 기존의 컴퓨터단층촬영기 (CT)와 같이 단면영상을 얻을 수 있는 장비이다. 그러나 실제의 물리적 운동이 없으므로 촬영시간을 저해상도모드 (360×360 화소)에서는 최소 0.05초까지 고해상도모드 (516×516 화소) 에서는 0.1초까지 줄일 수가 있다. 또한 4열의 타겟과 2열의 검출기 (detector)가 장착되어 저해상도모드에서는 검사대의 이동이 없이 최대 12장의 인접한 영상을 거의 동시에 얻어 11 cm의 길이를 촬영할 수가 있다. 본 연구에서는 촬영시간을 단축시키기 위해 전자선단층촬영기를 이용하였으며 고해상도모드로 영상을 획득하였다. 고해상도모드는 CT와 같은 방식으로 영상을 얻으므로 본 연구에서 이용한 폐용적조절기와 분석용 프로그램은 기존의 CT와도 연계하여 사용할 수 있을 것이다.

Fromson 등 (7)은 14명의 건강한 사람과 1명의 폐기종환자에서 완전 흡기 상태와 완전 호기 상태에서, 즉 총폐용량과 잔기량 수준에서 컴퓨터단층촬영을 시행한후, 폐실질만을 분리하여 히스토그램을 구하였다. 14명의 흡기시의 히스토그램은 유사한 외형을 가졌으며, 모든 히스토그램을 전부 함께 표시하였을 때 좁은 구간(narrow range)를 보여, 비정상군과 비교할 수 있는 대조군으로 이용할 수 있을 것이라고 보고하였다. 또 Rienmuller 등 (8)은 26명의 건강한 사람을 대상으로 하여 spirometry를 이용하여 폐활량의 50% 수준으로 일정하게 유지시킨 상태에서 기관분지부와 그 5 cm 상방과 하방에서 각각

HRCT scan을 시행하여 단면영상을 얻은 후 fast contour tracing algorithm을 이용하여 폐실질만을 추출하여 평균 농도를 구하고 정상 농도 분포 곡선을 구하고, 폐기종지표(emphysema index), 폐실질지표(lung parenchyma index), 섬유화 지표(fibrosis index)의 범위를 정한후 특발성 폐질환, Goodpasture's syndrome, 폐기종등을 가진 환자에서 적용하여 본 후, 건강한 사람에서 구한 폐실질 평균 농도와 농도 분포 곡선은 미만성 폐질환을 평가하는데 있어 대조 자료(control data)로 이용될 수 있을 것이라고 보고하였다. 저자들의 연구에서도 10명의 정상군에서 얻은 히스토그램은 각 호흡수준에서 유사한 모양을 보여 ±1 표준편차의 좁은 정상 영역을 구할 수 있었으며, 이 결과를 대조군으로 이용하여 비정상군을 잘 구별할 수 있었다.

Lamers 등 (9)은 각각 20명의 정상인, 폐기종환자, 그리고 만성기관지염환자를 대상으로 하여 폐활량 측정기로 호흡상태를 조절하여 폐활량의 90%와 10% 호흡수준에서 기관분지부 5 cm 상방과 5 cm 하방에서 각각 영상을 얻어 HU 빈도에 대한 히스토그램을 구하여 폐실질 평균 농도, 화소 지표 (-910 HU에서 -1024 HU사이의 화소의 퍼센트), 낮은 농도영역에서의 10 퍼센타일의 위치에서의 HU를 비교 분석하였다. 90%와 10% 호흡수준에서 폐기종환자에서 구한 평균농도, 화소지표, 그리고 낮은 10 퍼센타일 HU는 정상인과 만성기관지염 환자의 결과와 통계적으로 유의하게 다르다고 보고하였다. Beinert 등 (10)은 50% 폐활량상태에서 측정한 평균 농도가 정상 대조군과 비교하여 만성 폐쇄성 폐질환자에서 유의하게 낮고 특발성 폐섬유증 환자에서 높다고 하였다. 저자들의 연구에서도 폐활량 50%와 20% 호흡 수준에서 미만성 폐쇄성 폐질환자군의 평균 농도, 최대 빈도 농도, 최대 상승 기울기 농도가 정상 대조군보다 유의하게 낮았으며, 특발성 폐섬유증 환자에서는 평균 농도, 최대 빈도 농도, 최대 상승 기울기 농도가 모두 높았다. 이것은 만성 폐쇄성 폐질환에서는 폐포의 비정상적인 확장으로 폐내 공기 성분이 증가하고, 특발성 폐 섬유증에서는 폐간질의 섬유화에 의한 연부 조직 음영 증가이 증가하기 때문에 생긴 결과이다.

심한 폐기종환자에서는 공기 갇힘에 의하여 70%에서 20%로 흡기 수준이 감소되어도 평균농도의 증가가 많이 나타나지 않고 농도 분포 곡선의 움직임도 적어, 20% 호흡수준에서 정상군과 폐기종환자를 가장 확연히 구분할 수 있었다. 이것은 Lamers 등 (9)과 Knudson 등 (11)이 총폐용량 근처에서 보다 잔기량 근처에서의 평균 농도가 폐기종 진단에 더 유용하다는 보고와 부합되는 결과이다. 즉, 총폐용량에서는 만성 폐쇄성 폐질환자와 정상 대조군 사이에 폐실질 농도의 차이가 크지 않기 때문에 정상군과 질환군을 구분하기가 어렵기 때문이다.

본 연구에서는 첫째 정상 대조군으로 비교적 젊은 연령만을 사용한 제한점이 있다. Beinert 등 (10)에 의하면 젊은 사람군과 나이 많은 사람군 사이에서, 나이가 증가함에 따라 농도 분포 곡선이 분명히 농도가 낮은 쪽으로 이동하나, 나이와 폐실질 평균 농도간에 통계학적으로 유의한 상관관계는 없었다고 보고 하였다. 이것은 나이가 증가함에 따라 폐포 숫자의 감소, 폐포관의 증가 때문에 공기 조직비(air to tissue ratio)의 증가가 일어나는 것을 의미한다. 그러나 이러한 변화는 평균 농도에서는 반영되지 않고, 농도 분포 곡선의 이동으로 나타난다. 따라서 임상적으로 농도 분포 곡선을 이용한 비교를 위해서는 각 연령별로 더 많은 건강인에서 검사가 시행되어 정상 농도 분포 곡선을 구하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

둘째 저자들은 폐야 전체를 촬영하여 농도를 측정한 것이 아니라 정찰영상에서 미리 폐첨부와 늑골횡격막각 사이를 4등분하여 상부, 중부, 하부 폐야의 3 부분만을 검사하였다. 따라서 촬영 부위에 병변이 가장 심한 부위가 포함되지 않을 수도 있다. 즉, 전체적으로 더 심한 병적 상태이지만 촬영되는 부위가 상대적으로 병변이 심하지 않을 경우 더 양호한 결과가 나올 수도 있다. 이것은 현재까지는 반자동화된 분석용 프로그램을 사용하기 때문에 전 폐야를 촬영하여 분석하는 것은 너무 노력이 많이 들기 때문에 3 부분만을 촬영하여 분석한 것이지만 앞으로 완전 자동화된 분석용 프로그램이 개발되면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것이다. 현재 상태에서는 검사자가 촬영부위를 선택하는 것으로 이 문제를 해결할 수 있을 것이라고 생각된다.

셋째 상부, 중부, 하부 폐야 각각의 농도분포곡선을 구하여 정상군과 미만성 폐질환군을 비교한 것이 아니라 전체 폐야에 대한 농도분포곡선을 비교하였다. 미만성 폐질환에서 질병의 초기에는 비균질(heterogeneous) 분포를 할 수 있으므로 전체 폐야에 대한 농도 분포 곡선이나 평균 농도 만으로 정상군과 비교하는 것은 질병 진단에 있어 예민도가 떨어질 수도 있다. 특발성 폐섬유증에서는 섬유화가 주로 하부 폐야에 생기기 때문에 상부와 하부폐야의 폐실질 농도를 비교해보면 상부폐야의 폐농도가 훨씬 낮다. 따라서 전체 폐야에 대한 농도 분포 곡선과 평균 농도만을 사용하면 특발성 폐질환을 발견하지 못할 수도 있다. 따라서 전체 폐야의 농도 분포 곡선과 평균 농도 만으로 비교하지 말고, 상부, 중부, 하부 폐야의 농도 분포 곡선과 평균 농도등을 각기 비교함으로써 질병을 초기에 발견 할 수 있으며, 예민도도 높일 수 있을 것이다.

넷째 특발성 폐섬유증 환자는 2명에 대해서만 실험을 시행하여 그 통계적 유의성을 구할 수 없었다.

본 연구에서는 폐용적 조절에 의한 정량적 폐실질 농도 분석 시스템으로 정상군내에서 일관성있는 결과를 얻음으로써 제한적이지만 폐실질 농도의 정상 영역을 구할 수 있었고 정량분석요소에 대한 정상비교지표를 만들 수 있었다. 또한 호흡수준의 변화에 따른 폐실질농도의 유의한 변화를 관찰하였으며, 동일한 호흡 수준에서 정상군과 비정상군을 구분할 수 있었다. 광범위한 적용을 통해 다양한 조건에서의 정상 농도 분포곡선 영역과 정량 분석용 요소들의 정상치를 파악한다면, 본 시스템을 이용하여 미만성 폐실질 질환의 객관성 있는 진단과 동일 개체내에서 예민한 추적 검사가 가능할 것이며 분석용 프로그램의 개선이 이루어진다면 전체 폐야를 대상으로 더욱 정확한 검사를 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Bellamy EA, Nocholas D, Husband JE. Quantitative assessment of lung damage due to bleomycin using computed tomography. *Br J*

Radiol 1987;60:1205-1209
2. Heremans A, Verschakalen JA. Measurement of lung density by means of quanatitative CT scanning. *Chest* 1992;102:805-811
3. Muller NL, Staples CA, Milles RR, Abboud RT.“ Density Mask ”an objective method to quantitate emphysema using computed tomography. *Chest* 1988;94:782-787
4. Gilman MJ, Laurens RG, Somogyi JW, Honing EG. CT attenuation values of lung density in sarcoidosis. *J Comput Assist Tomogr* 1983; 7:407-410
5. Kalender WA, Rienmuller R, Seissler W, Behr J, Welke M, Fichte H. Measurement of pulmonary parenchymal attenuation: use of spirometric gating with quantitative CT. *Radiology* 1990;175:265-268
6. Kalender WA, Fichte H, Bautz W, Skalej M. Semiautomated evaluation procedures for quantitative CT of the lung. *J Comput Assist Tomogr* 1991;15(2):248-255
7. Fromson BH, Denison DM. Quantitative features in the computed tomography of healthy lungs. *Thorax* 1988;43:120-126
8. Rienmuller R, Behr J, Kalender WA, et al. Standardized quantitative high resolution CT in lung diseases. *J Comput Assist Tomogr* 1991;15:742-749
9. Lamers RJ, Thelissen GR, Kessels AG, Wouters EF, Engelshoven JM. Chronic obstructive pulmonary disease: evaluation with spirometrically controlled CT lung densitometry. *Radiology* 1994;193: 109-113
10. Beinert T, Behr J, Mehnert F, et al. Spirometrically controlled quantitative CT for assessing diffuse parenchymal lung disease. *J Comput Assist Tomogr* 1995;19:924-931
11. Knudson RJ, Standen JR, Kaltenborn WT, et al. Expiratory computed tomography for assessment of suspected pulmonary emphysema. *Chest* 1991;99:1357-66

J Korean Radiol Soc 2000;42:925 - 932

Volume-Controlled Histographic Analysis of Pulmonary Parenchyma in Normal and Diffuse Parenchymal Lung Disease: A Pilot Study[1]

Hyo Yong Park, M.D., Jongmin J. Lee, M.D., Jong Seob Kim, M.D.,
Chul Ho Won, Ph.D.[2], Myoung Nam Kim, Ph.D.[3], Duk Sik Kang, M.D.

[1]*Department of Diagnostic Radiology, School of Medicine, Kyungpook National University*
[2]*Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Kyungpook National University*
[3]*Department of Biomedical Engineering, The University of Iowa*

Purpose: To evaluate the clinical usefulness of a home-made histographic analysis system using a lung volume controller.

Materials and Methods: Our study involved ten healthy volunteers, ten emphysema patients, and two idiopathic pulmonary fibrosis (IPF) patients. Using a home-made lung volume controller, images were obtained in the upper, middle, and lower lung zones at 70%, 50%, and 20% of vital capacity. Electron beam tomography was used and scanning parameters were single slice mode, 10-mm slice thickness, 0.4-second scan time, and 35 - cm field of view. Using a home-made semi-automated program, pulmonary parenchyma was isolated and a histogram then obtained. Seven histographic parameters, namely mean density (MD), density at maximal frequency (DMF), maximal ascending gradient (MAG), maximal ascending gradient density (MAGD), maximal descending gradient (MDG), maximal descending gradient density (MDGD), and full width at half maximum (FWHM) were derived from the histogram. We compared normal controls with abnormal groups including emphysema and IPF patients at the same respiration levels.

Results: A normal histographic zone with ±1 standard deviation was obtained. Histographic curves of normal controls shifted toward the high density level, and the width of the normal zone increased as the level of inspiration decreased. In ten normal controls, MD, DMF, MAG, MAGD, MDG, MDGD, and FWHM readings at a 70% inspiration level were lower than those at 20% ($p < 0.05$). At the same level of inspiration, histograms of emphysema patients were located at a lower density area than those of normal controls. As inspiration status decreased, histograms of emphysema patients showed diminished shift compared with those of normal controls. At 50% and 20% inspiration levels, the MD, DMF, and MAGD readings of emphysema patients were significantly lower than those of normal controls ($p < 0.05$). Compared with those of normal controls, histograms of the two IPF patients obtained at three inspiration levels were located in an area of higher density.

Conclusion: Using a home-made histographic analysis system which included a lung volume controller, patients with diffuse parenchymal lung disease could be distinguished from normal controls. The method may be useful for the diagnosis and follow up of diffuse parenchymal lung diseases.

Index words : Emphysema, pulmonary
Lung, interstitial disease
Lung, CT
Lung, density

Address reprint requests to : Jong Min Lee, M.D., Department of Diagnostic Radiology, School of Medicine,
Kyungpook National University Hospital. 50, Samduk-Dong 2Ga, Chung-Gu, Taegu 700-721, Korea.
Tel. 82-53-420-5390 Fax. 82-53-422-2677