

CT Densitometry of the Lung in Healthy Nonsmokers with Normal Pulmonary Function¹정상 폐 기능의 비흡연자에서 흉부 전산화단층촬영 덴시토메트리¹Tack Sun Oh, MD¹, Eun Jin Chae, MD¹, Joon Beom Seo, MD¹, Young Ju Jung, MD²,
Yeon-Mok Oh, MD³, Sang Do Lee, MD³¹Department of Radiology and Research Institute of Radiology, ²Health Promotion Center, ³Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea**Purpose:** To investigate the upper normal limit of low attenuation area% in healthy nonsmokers.**Materials and Methods:** A total of 36 nonsmokers with normal pulmonary function test underwent a CT scan. Six thresholds (-980 - -930 HU) on inspiration CT and two thresholds (-950 and -910 HU) on expiration CT were used for obtaining low attenuation area%. The mean lung density was obtained on both inspiration CT and expiration CT. Descriptive statistics of low attenuation area% and the mean lung density, evaluation of difference of low attenuation area% and the mean lung density in both sex and age groups, analysis of the relationship between demographic information and CT parameters were performed.**Results:** Upper normal limit for low attenuation area% was 12.96% on inspiration CT (-950 HU) and 9.48% on expiration CT (-910 HU). Upper normal limit for the mean lung density was -837.58 HU on inspiration CT and 686.82 HU on expiration CT. Low attenuation area% and the mean lung density showed no significant differences in both sex and age groups. Body mass index (BMI) was negatively correlated with low attenuation area% on inspiration CT (-950 HU, $r = -0.398$, $p = 0.016$) and positively correlated with the mean lung density on inspiration CT ($r = 0.539$, $p = 0.001$) and expiration CT ($r = 0.432$, $p = 0.009$). Age and body surface area were not correlated with low attenuation area% or the mean lung density.**Conclusion:** Low attenuation area% on CT densitometry of the lung could be found in healthy nonsmokers with normal pulmonary function, and showed negative association with BMI. Reference values, such as range and upper normal limit for low attenuation area% in healthy subjects could be helpful in quantitative analysis and follow up of early emphysema, using CT densitometry of the lung.

Index terms

Pulmonary Disease, Chronic Obstructive
Respiratory Function Test
Tomography, X-Ray Computed

Received August 14, 2010; Accepted October 4, 2010

Corresponding author: Eun Jin Chae, MD

Department of Radiology and Research Institute of
Radiology, University of Ulsan College of Medicine,
Asan Medical Center, 88 Olympic-ro 43-gil,
Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea.
Tel. 82-2-3010-4400 Fax. 82-2-476-4719
E-mail: ejinchae@amc.seoul.krThis work was supported by the grants of the Korean
Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare,
Republic of Korea (A040153, A084305).

Copyrights © 2012 The Korean Society of Radiology

서론

만성기도폐쇄성질환(chronic obstructive lung disease; 이하 COPD)은 불완전한 가역성을 가지는 진행성의 기류제한을 특징으로 하는 질환으로, 주로 흡연시의 유해 입자나 가스의 흡입으로 인한 폐의 비정상적인 염증 반응에 의한 질병으로 정의된다(1). 만성기도폐쇄성질환 환자의 진단 및 경과 관찰에서 병력과 폐 기능검사에 더불어 영상진단은 폐기종의 정도와 범위를 판단하는 데 있어서 중요한 진단도구로 사용된다. 특히

전산화단층촬영(CT)을 이용하면 폐기종의 범위와 중증도를 정량적으로 분석할 수 있으며(2-10), 이러한 전산화단층촬영상의 덴시토메트리(densitometry)의 결과는 병리조직의 육안적, 현미경적 폐기종의 범위와 잘 일치하는 것으로 알려져 있다(3, 4). 그러나 덴시토메트리는 특정 역치를 사용하므로 폐기종과 유사하게 역치 미만의 CT값을 나타낼 수 있는 폐의 과팽창, 노령화에 따른 폐포 크기의 증가, 저관류, 혹은 다른 기도폐쇄성 질환에 의한 공기 포획 부위가 모두 폐기종으로 과평가될 수 있다. 따라서 특정 역치 사용시 정상 폐에서도 나타날

수 있는 덴시토메트리상의 저감쇠영역%의 정도를 아는 것은 조기 폐기종의 진단에서 가양성 판정을 줄이고 전산화단층촬영을 이용한 폐기종의 추적검사에서 폐기종의 진행 정도를 정확히 평가하는 데 중요하다.

이 전향적 연구의 목적은 정상 폐 기능의 비흡연 성인에서 흡기와 호기 전산화단층촬영에서 나타나는 저감쇠영역%를 정량적으로 분석하여 그 범위를 알아보고, 폐기종의 가양성 판정을 줄이기 위한 정상인에서의 정상 상한치를 제시하고자 하였다.

대상과 방법

이 연구는 임상연구심의위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받았으며 연구에 포함된 모든 대상자로부터 연구참여에 대한 서면 동의서를 받았다.

대상군

건강검진센터를 방문하여 폐결절 조기발견을 목적으로 흉부 전산화단층촬영 검사를 시행 받는 20세 이상의 정상 성인을 전향적으로 모집하였다. 현재 또는 과거에 호흡기질환의 병력이 없고 흡연한 적이 없으며 폐 기능검사상 정상 소견을 보이는 대상자만 포함되었다. 2006년 5월부터 2008년 1월까지의 기간 동안 총 36명(남자 15명, 여자 21명)이 모집되었고, 그들의 평균 연령은 55.4세(28~72세)였다. 대상자의 인구학적 정보는 Table 1에 나타내었다.

전산화단층촬영

16채널 다중검출 전산화단층촬영기기(Somatom Sensation; Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)를 이용하여 최대 흡기와 호기시에 촬영을 시행하였다. 촬영조건은 0.75 mm의 collimation, 100 effmAs, 140 kVp, 1.0 pitch를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 전산화단층촬영기기는 -1024 Hounsfield unit (HU)에서 3071 HU까지의 감쇠계수(attenuation coefficients) 범위를 가지고 있다. 전산화단층촬영은 앙와위(supine)에서 중축방향(craniocaudally)으로 시행되었으며, 정맥 조영제는 투여하지 않았다. 흉곽 입구에서 폐 기저부까지 표준커널(Standard

kernel, B30f; Siemens Medical Systems, Forchheim, Germany)을 이용하여 절편 두께 0.75 mm, 절편간격 0.75 mm로 영상을 재구성하였다.

흉부영상의학 전문의 한 명(E.J.C.)이 모든 대상자의 전산화단층촬영 영상에서 CT 덴시토메트리에 영향을 줄 수 있는 폐실질의 국소적 혹은 미만성 이상소견 유무를 평가하였고, 이상소견을 보이는 대상자는 없었으며 폐기종을 보이는 대상자도 없었다.

흡기와 호기 영상에서 자체적으로 개발한 소프트웨어(in-house software)를 사용하여 -400 HU 미만을 폐로 정의하고 자동으로 전체 폐를 뽑아낸 후 흡기와 호기시 전체 폐용적을 구하고 각 화소(pixel)의 감쇠계수를 측정하였다. 전체 폐용적 중 특정 역치 이하를 보이는 화소들의 용적의 백분율을 저감쇠영역%(low attenuation area%)로 정의하였다. 흡기 영상에 대해서는 -930 HU부터 -980 HU까지 10 간격으로 6개의 역치를 사용하였고, 호기 영상에 대해서는 -950 HU와 -910 HU의 2개의 역치를 사용하였다. 또한, 전체 폐의 모든 화소의 평균 감쇠계수를 구하여 폐실질평균농도(mean lung density)로 정의하였고 흡기와 호기 영상 모두에서 각각 폐실질평균농도를 구하였다.

폐 기능검사

표준 폐 기능검사법인 폐활량측정법을 통해 폐 기능검사를 시행하였다(11). 1초간 강제호기량(forced expiratory volume at one second; 이하 FEV1), 1초간 강제호기량과 노력성폐활량의 비[FEV1/forced vital capacity (FVC)], 일산화탄소확산능(carbon monoxide diffusing capacity)을 측정하였으며, 모든 측정값은 예상치에 대한 실측치의 비율로 나타내었다. 일산화탄소확산능은 일호흡일산화탄소흡입법(single-breath carbon monoxide uptake (Vmax 22, SensorMedics, Yorba Linda, CA, USA; PFDX, MedGraphics, MN, USA)]을 통해 측정하였다. 폐 기능검사상 1초간 강제호기량과 노력성폐활량의 비(FEV1/FVC)가 70% 이상이고 1초간 강제호기량이 80% 이상인 경우를 정상 범위로 간주하였으며 이에 해당하는 대상자만 이 연구에 포함되었다.

통계분석

모든 통계분석은 SPSS 통계패키지(statistical package)를 사용하였다(SPSS 12.1.1; SPSS; Chicago, IL, USA). 결과값은 평균값 ± 평균오차로 나타내었으며 *p*값이 0.05 미만이면 유의한 것으로 판단하였다.

정상 성인에서 나타날 수 있는 저감쇠영역%의 범위를 알아보고 정상 성인에서의 저감쇠영역%의 정상 상한치를 제시하기

Table 1. Demographic Information of Subjects

	Mean ± SD	Range
Age (y)	55.36 ± 9.94	28-72
Weight (kg)	67.15 ± 11.19	45-98
Height (cm)	166 ± 8.01	150-179
Body surface area (m ²)	1.65 ± 0.15	1.37-2.03
Body mass index (kg/m ²)	23.56 ± 2.57	19.10-31.90

Note. -SD = standard deviation

위하여 다양한 역치별 저감쇠영역%와 폐실질평균농도의 기술통계를 시행하였다.

성별에 따라서 저감쇠영역%와 폐실질평균농도가 차이를 보이는지 단일표본 *t*검증(*t*-test)을 이용하여 비교하였다. 연령을 20~39, 40~59, 60~79세의 구역별로 세분한 후 연령구역에 따라서 저감쇠영역%와 폐실질평균농도가 차이를 보이는지 분산분석(analysis of variance)을 이용하여 비교하였다.

연령, 체표면적, 체질량지수와 다양한 역치별 저감쇠영역%와 폐실질평균농도의 상관성을 피어슨 분석(Pearson analysis)을 이용하여 분석하였다.

결과

흡기와 호기시에 시행된 전산화단층촬영에서의 각각의 역치

에 따른 저감쇠영역%와 폐실질평균농도의 기술통계값들을 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다. 흡기 영상에서 -950 HU 역치의 저감쇠영역%의 최소값은 0.43%, 최대값은 16.17%였고, 평균은 $5.24 \pm 4.25\%$, 중앙값은 4.41%였다. 정상 상한치값(95th percentile)은 12.96%였다. 호기 영상에서 -910 HU 역치의 저감쇠영역%의 최소값은 0.05%, 최대값은 19.41%였고, 평균은 $2.06 \pm 3.58\%$, 중앙값은 1.14%였다. 정상 상한치값은 9.48%였다.

흡기 영상에서 폐실질평균농도의 최소값은 -894.79 HU, 최대값은 -819.24 HU였고, 평균은 -866.16 HU, 중앙값은 -869.38 HU였다(Fig. 2). 정상 상한치값은 -837.58 HU였다. 호기 영상에서 폐실질평균농도의 최소값은 -838.77 HU, 최대값은 -660.30 HU였고, 평균은 -737.80 HU, 중앙값은 -731.69 HU였다. 정상 상한치값은 -686.82 HU였다.

Table 2. Results of CT Densitometry in All Subjects

	Mean \pm SD	Median	Range	25%/75% Quartile	95th Percentile
LAAi980 (%)	0.50 ± 0.46	0.345	0.04 - 1.67	0.14/0.68	1.47
LAAi970 (%)	1.14 ± 1.01	0.84	0.09 - 3.73	0.33/1.59	3.20
LAAi960 (%)	2.52 ± 2.16	1.98	0.19 - 8.20	0.70/3.61	6.68
LAAi950 (%)	5.24 ± 4.25	4.41	0.43 - 16.17	1.47/7.82	12.96
LAAi940 (%)	9.89 ± 7.36	8.96	0.95 - 27.14	2.96/15.24	22.74
LAAi930 (%)	16.67 ± 11.10	16.04	2.10 - 39.32	5.63/25.8	34.87
LAAe950 (%)	0.27 ± 0.62	0.15	0.01 - 3.66	0.04/0.24	0.95
LAAe910 (%)	2.06 ± 3.58	1.14	0.05 - 19.41	0.40/2.24	9.48
MLDi (HU)	-866.16 ± 20.58	-869.38	-894.79 - -819.24	-883.62/-845.94	-837.58
MLDe (HU)	-737.80 ± 42.25	-731.69	-838.77 - -660.30	-759.20/-707.73	-686.82
LVi (mL)	4587.78 ± 845.96	4385.08	3053.74 - 6218.10	4014.41/5234.87	6107.85

Note.—LAAe = low attenuation area on expiratory image, LAAi = low attenuation area on inspiratory image, LVi = inspiratory lung volume, MLDe = mean lung density on expiratory image, MLDi = mean lung density on inspiratory image, SD = standard deviation

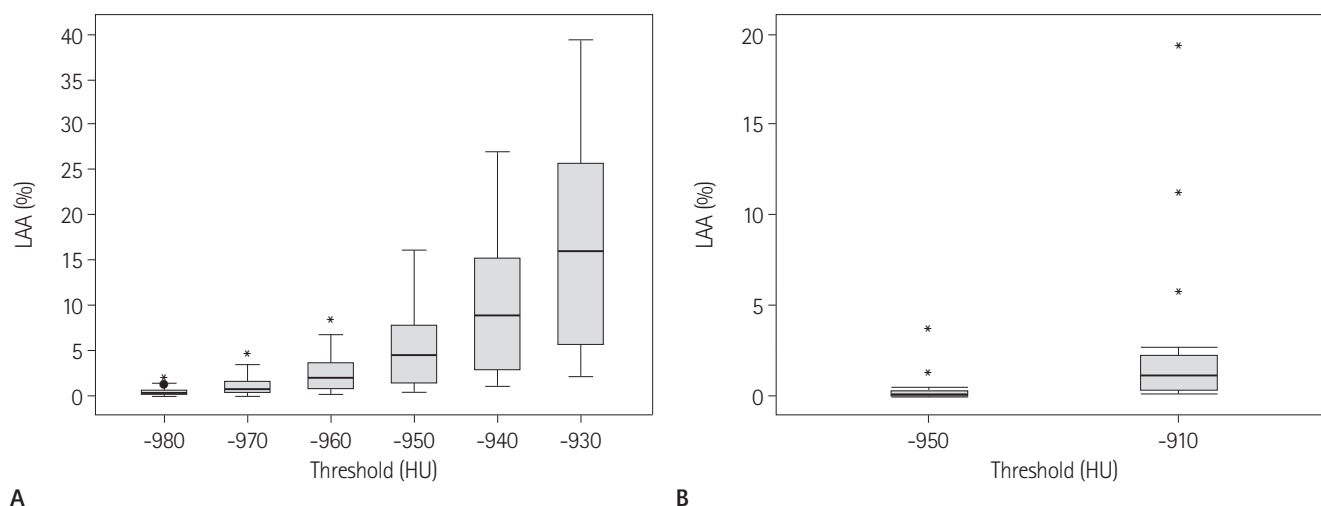


Fig. 1. Box and whisker plot of low attenuation area (%) along each thresholds on inspiratory CT (A) and expiratory CT (B).

Note.—central line = median, ends of boxes = interquartile boundaries, whiskers = data point closest to inner fence (1.5 x interquartile range), • = mild outlier, * = severe outlier, HU = Hounsfield unit, LAA (%) = low attenuation area %

성별에 따른 비교시, 흡기 영상에서 -950 HU 역치의 저감쇠 영역%의 평균값은 남성은 $6.17 \pm 4.83\%$, 여성은 $4.58 \pm 3.77\%$ 였으며($p = 0.184$), 흡기 영상에서 폐실질평균농도의 평균값은 남성은 -866.59 ± 23 HU, 여성은 -865.85 ± 19.25 HU였다($p = 0.548$). 이들은 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

연령 구역에 따른 비교시, 흡기 영상에서 -950 HU 역치의 저감쇠영역%($p = 0.207$)와 흡기 영상에서 폐실질평균농도($p = 0.265$)의 평균값은 구역별로 유의한 차이를 보이지 않았다.

상관 분석 결과에서 체질량지수가 흡기 -930~-970 HU 역치 저감쇠영역%들과 음의 상관성을 보였다(Table 3, Fig. 3). 또 체질량지수는 흡기와 호기 폐실질평균농도와 양의 상관성을 보였다($r = 0.539$, $p = 0.001$; $r = 0.432$, $p = 0.009$).

체표면적은 흡기 폐용적과 양의 상관성을 보였다($r =$

0.298 , $p = 0.078$). 그러나 저감쇠영역%나 폐실질평균농도와는 유의한 상관성을 보이지 않았다. 연령은 모든 변수와 통계학적으로 유의한 상관성을 보이지 않았다.

고찰

만성기도폐쇄성질환에서 흉부 전산화단층촬영은 폐 기능의 이상이 나타나기 전의 경증 폐기종을 발견할 수 있을 뿐 아니라 덴시토메트리를 이용하여 소위 '폐기종 지수(emphysema index)'를 구함으로써 폐기종의 중증도를 정량화할 수 있다(2-10). 또한, 최근의 연구들에서는 폐기종의 진행 정도를 폐 기능검사보다 더욱 민감하게 진단할 수 있다고 알려지고 있다(12). 전산화단층촬영을 이용한 폐기종 정량화에서 가장 중요한 것은 폐기종지수를 구하는 적절한 역치를 정하는 것이며 이

Table 3. Results of Correlation Analysis between CT Densitometry and Demographic Information

	Age		BMI		BSA	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
LAAi980 (%)	-0.176	0.303	-0.302	0.074	-0.019	0.914
LAAi970 (%)	-0.189	0.269	-0.332*	0.048	-0.048	0.780
LAAi960 (%)	-0.206	0.229	-0.362*	0.030	-0.080	0.643
LAAi950 (%)	-0.228	0.182	-0.398*	0.016	-0.118	0.494
LAAi940 (%)	-0.250	0.141	-0.439*	0.007	-0.162	0.345
LAAi930 (%)	-0.263	0.122	-0.477*	0.003	-0.206	0.228
LAAe950 (%)	-0.084	0.628	-0.091	0.596	0.145	0.400
LAAe910 (%)	-0.056	0.745	-0.128	0.456	0.152	0.377
MLDi (HU)	0.256	0.133	0.539*	0.001	0.298	0.078
MLDe (HU)	0.198	0.247	0.432*	0.009	0.112	0.515
LVl (mL)	-0.312	0.064	-0.182	0.289	0.390*	0.019

Note. —*Statistically significant result.

BSA = body surface area, BMI = body mass index, LAAe = low attenuation area on expiratory image, LAAi = low attenuation area on inspiratory image, LVl = inspiratory lung volume, MLDe = mean lung density on expiratory image, MLDi = mean lung density on inspiratory image, SD = standard deviation

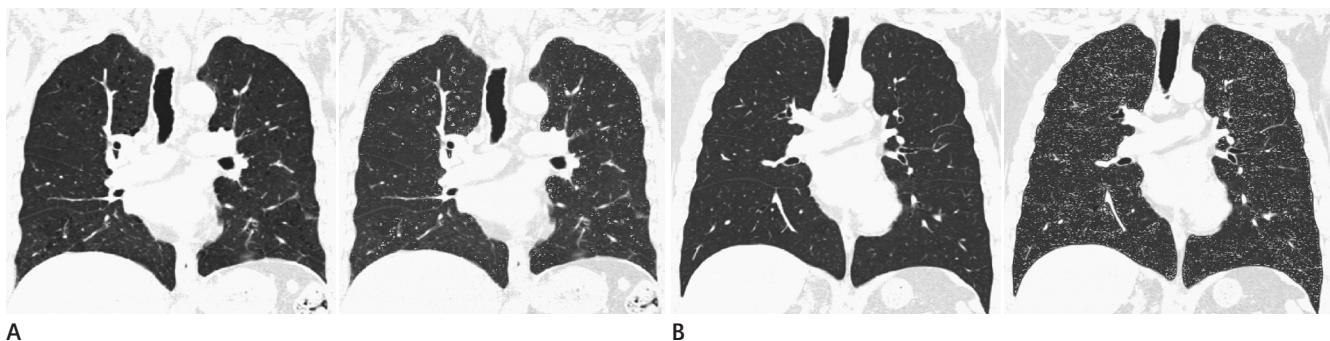


Fig. 2. Example of quantitative densitometry in a patient with mild emphysema and a healthy subject.

A. A 54-year-old male who have mild degree of centrilobular emphysema. A coronal CT image (window level: -750 HU, width: 1500 HU) shows some areas of centrilobular emphysema in both upper lobes. Low attenuation area (%) is shown on a color-coded image demonstrating pixels having CT density below the threshold -950 HU and the value was 4.01%.

B. A 59-year-old male who is one of healthy nonsmokers in this study. Emphysema is not evident on a coronal CT image (window level: -750 HU, width: 1500 HU). However, on a color-coded image, there are color-coded areas representing low attenuation area at -950 HU which value was 13.45%.

에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(3-5, 7, 9). 10 mm 두께의 조영증강 전산화단층촬영을 이용한 초기의 연구에서는 적절한 역치가 -910 HU였다(5, 8). 이후 1 mm 두께의 얇은 절편 영상에서의 적절한 역치의 연구들 결과가 보고되었는데, Gevenois 등(5)은 흡기시에는 -950 HU를 역치로 하였을 때 그 이하의 폐영역이 육안적(macroscopic), 현미경적(microscopic) 폐기종의 범위와 잘 일치한다고 하였고, Madani 등(13)의 연구에서는 -960 HU가 가장 높은 일치도를 보였다. 또한, 폐기종지수와 폐 기능검사와의 연관성을 분석한 연구에서는 -940 HU부터 -970 HU 역치 구간에서 폐 기능검사값들과 큰 상관성을 보였다(14).

덴시토메트리의 결과가 병리학적 폐기종 범위 혹은 폐 기능과의 높은 상관성을 보임에도 불구하고 덴시토메트리는 몇 가지 한계점을 가지고 있는데, 과다호흡, 과팽창, 저관류, 혹은 소기도 폐쇄에 의한 공기 포획(air trapping) 등도 폐기종으로 과평가될 수 있다는 점이다. 이러한 제한점으로 인하여 정상 성인에서도 폐기종지수가 높게 나타날 수 있고, 만성기도폐쇄성 질환 환자에서는 추적 검사상 폐기종의 진행 정도를 평가하는데에 이러한 과평가가 폐기종의 악화로 오인될 가능성이 있다. 따라서 특정 역치를 사용한 덴시토메트리를 시행하였을 때 정상에서도 나타날 수 있는 저감쇠영역%의 범위를 알고 이 결과를 바탕으로 정상 상한치를 제시한다면 조기 폐기종 진단의 특이도를 높이고 추적 검사시 폐기종 진행 평가에도 도움을 줄 수 있을 것이다.

최근 몇몇 연구에서 비흡연 정상 성인에서 나타날 수 있는 저감쇠영역%의 범위에 대한 결과들이 보고되었다(4, 15, 16). Gevenois 등(4)은 23~71세 범위의 정상 성인 42명을 대상으로 분석시 흡기시 평균 저감쇠영역%는 7.8%라고 보고하였다. Irion 등(16)의 연구에서는 19~41세 범위의 정상 성인 30명에서 -950 HU의 역치를 사용할 때 흡기시 평균 저감쇠영역%는 19%이고 호기시 4%였다. Irion 등은 -950 HU의 역치를 사용할 때 정상 성인에서의 흡기시 저감쇠영역%의 정상 상한치는 35%라고 제시하였다. Marsh 등(15)은 25~75세 범위의 정상 성인 185명에서 세 축상 영상(axial images) 분석 결과 고해상도(high resolution) 영상에서 평균 15%, 평균 해상도(standard resolution) 영상에서 평균 1.4%의 저감쇠영역%를 보고하였다. 본 연구에서는 -950 HU 역치 이용시 평균 저감쇠영역%는 5.24%였고 정상 상한치는 12.96%였다. 이전 연구들과 본 연구에서 전체 영상으로부터 폐영역을 분할하는 과정에서 사용된 역치가 -250 HU(16), -300 HU(15), -400 HU(본 연구) 등으로 다양하고 또한 용량 자료(volume data) 전체를 분석에 사용한 경우와 특정 수준(level)의 몇 축상 영상(axial images)만

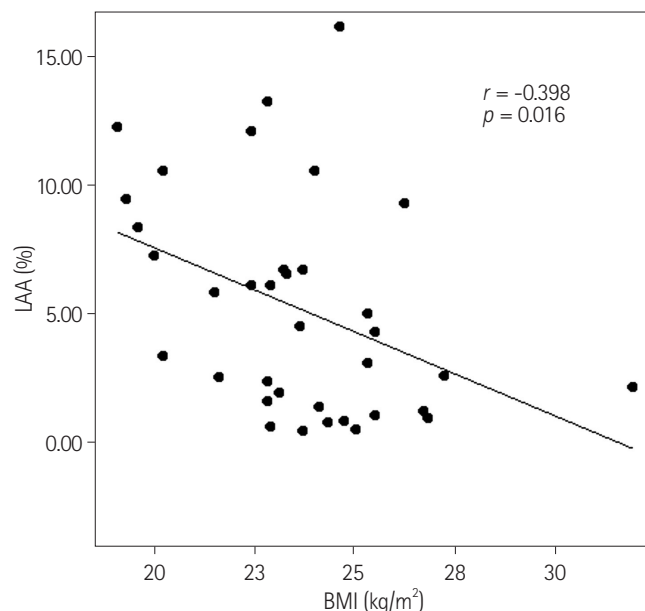


Fig. 3. Correlation between low attenuation area (%) at -950 HU on inspiration and body mass index.

Note. — BMI = body mass index, LAA (%) = low attenuation area %

을 분석에 사용한 경우가 있는 등 방법론의 차이가 있어서, 그 결과를 단순히 비교하는 것은 의미가 없을 것으로 생각한다. 향후 동일한 폐 분할 방법과 용량 자료를 이용한 보다 많은 연구 결과가 필요하겠다. 현재 국내외적으로 여러 개의 만성기도 폐쇄성질환의 코호트 연구들이 진행되고 있으며(예, 한국의 Korean Obstructive Lung Disease Cohort, 미국의 COPD gene study, 미국의 National Emphysema Treatment Trial 등), 각각의 코호트에서 사용되는 정량화 방법에 따라 정상 상한치의 기준을 마련해야 할 것이다.

경한 정도의 폐기종을 진단하는 데 있어서 역치 기반의 저감쇠영역%는 그 진단적 민감도가 어떤 역치를 사용하느냐에 매우 의존적이게 된다. 그 이유는 폐의 CT값의 히스토그램은 단봉커브(unimodal curve)이고, 이 커브에서 증가하는 부분은 S-자 모양(sigmoidal shape)을 보이므로 $y = 0\%$ 와 $y = 100\%$ 에서 안정기(plateau)가 형성된다. 따라서 $y = 0\%$ 에 가까운 영역에서는 곡선아래면적(area under the curve)이 역치값에 매우 의존적이게 됨으로써 진단의 민감도가 낮다(17). 반면 백분점(percentile point)을 이용하여 폐기종을 정량화하는 방법에는 이러한 단점이 없는데, 특히 15번째 백분점(15th percentile point)을 사용할 경우 -900~-800 HU 범위의 변화도 민감하게 잘 반영하는 것으로 알려져 있다(17). 실제 Stolk 등(18)은 알파 항트립신결핍($\alpha 1$ -antitrypsin deficiency) 환자에서 조기 폐기종의 추적 관찰에서 15번째 백분점이 -950 HU를 이용한 저감쇠영역%보다 폐기종지수의 작은 변화를 더욱

민감하게 보여주었다고 보고하였다. 역치기반의 저감쇠영역%가 경한 폐기종을 진단하는데 있어 민감도가 상대적으로 낮은 반면, 백본점에 비해 수치를 제시하였을 때 폐기종 정도를 보다 직관적으로 인식할 수 있는 등의 장점이 있어, 실제로는 저감쇠영역%가 보다 많이 사용되고 있다. 따라서 폐 기능검사상 이상소견을 보이지 않는 단계의 경증의 폐기종을 진단하는데 있어 저감쇠영역%를 사용할 때 이와 같은 저감쇠영역%의 특성에 대한 이해가 필요하다.

흡연과 같은 폐기종 유발 요인이 없는 정상 성인에서 나타나는 저감쇠영역%의 원인으로 여러 가지 요인들을 들 수 있는데 크게 전산화단층촬영상의 요인과 대상에 의한 요인들로 나뉜다. 촬영상의 요인으로는 관전압, 관전류, 영상 재구성 알고리즘, 스캐너의 종류, 환자의 부적절한 체위 등의 다양한 요인들이 있을 수 있다. 대상에 의한 요인으로는 호흡의 정도, 폐용적, 나이, 체표면적, 체질량지수 등이 요인이 될 수 있다. 본 연구에서는 연령이 증가함에 따라 저감쇠영역%가 감소하는 경향성을 볼 수 있었으나 이는 통계학적으로 유의하지 않았다. 이러한 음의 상관성은 보다 젊은 성인일수록 과다호흡으로 인한 폐의 과팽창이 흔히 발생하는 것에 기인할 것으로 추정할 수 있지만, 연령이 증가하면서 폐포의 크기가 증가하여 저감쇠영역%가 오히려 증가한다고 보고한 연구 결과도 있어서 아직 논란이 있다(19, 20). 본 연구에서 성별에 따른 저감쇠영역%의 차이는 없는 것으로 나타났고 이는 이전 연구들의 결과와 같다(16, 19). 체표면적이 증가할수록 흡기와 호기시 폐 용적이 큰 것으로 나타났으나 체표면적의 증가 그 자체가 저감쇠영역%의 증가와 상관성을 보이지는 않았다.

상관분석에서 흥미로운 결과 중 하나는 체질량지수가 감소할수록 저감쇠영역%는 증가하였고 폐실질평균농도는 감소하는 것이었다. 본 연구진에 의해 시행된 만성기도폐쇄성질환 환자 코호트 연구에서도 체질량지수와 폐기종지수는 강한 음의 상관성을 보였다($r = -0.68, p < 0.001$)(8). Ogawa 등(21)도 만성기도폐쇄성질환 환자에서 체질량지수와 피하지방질량이 모두 폐기종지수와 음의 상관성을 보인다고 보고하였다($r = -0.56, p < 0.001$; $r = -0.31, p < 0.0001$, 각각). 만성기도폐쇄성질환 환자에서의 체질량지수와 폐기종지수와와의 이러한 음의 상관성에 대해서 인과관계의 방향(폐기종이 저체중 유발 혹은 저체중이 폐기종 유발)은 아직 밝혀지지 않고 있다. 또 Coxson 등(22)은 신경성식욕부진(anorexia nervosa) 환자에서 폐기종지수가 증가되어 있는데 이는 체질량지수와 음의 상관성을 보인다고 보고하였으며 만성적인 영양실조와 폐 조직 감소의 상관성을 입증하였다. 그러나 본 연구 결과에 의하면, 만성기도폐쇄성질환 환자와 신경성식욕부진과 같이 체질량지

수가 비정상적으로 낮은 경우가 아닌 정상 성인에서도, 체질량지수와 저감쇠영역%가 음의 상관성을 보이므로, 신체의 전체 조직 양 혹은 지방의 양과 폐 조직의 양이 비례함으로써, 체질량지수가 낮으면 동시에 폐의 간질조직의 양도 적고 이에 따라 덴시토메트리상 저감쇠영역%가 증가한다는 가설을 세울 수도 있겠다. 체질량지수와 저감쇠영역%가 음의 상관성을 보이는 것의 기전에 대해서는 향후 보다 많은 연구가 필요하겠다.

본 연구의 제한점은 첫째, 대상표본의 크기가 작아서 결론의 일반화에 한계가 있다는 점이다. 둘째, 비록 흉부영상의학 전문의에 의해 전산화단층촬영 영상에서 폐실질에 이상소견이 없다고 판단되었지만, 소기도 폐쇄에 의한 공기 포획 등 저감쇠영역%를 일으키는 병변이 포함되어 있을 가능성을 완전히 배제하기 어렵다. 셋째, 전산화단층촬영시 호흡 수준을 조절하지 않았으므로 이에 의한 제한점이 발생하였다.

본 연구에서는 흡연과 같이 폐기종의 유발요인이 없고 폐 기능이 정상인 건강 성인에서도 특정 역치를 이용한 폐 덴시토메트리에서 저감쇠영역%가 나타날 수 있음을 보여주었다. 흡기 영상에서 -950 HU를 역치로 하였을 때 저감쇠영역%의 평균은 5.24%였고 정상 상한치는 12.96%였다. 정상 성인에서 나타나는 이런 저감쇠영역%는 체질량지수와 반비례하여 증가하였다. 정상 성인에서 나타나는 저감쇠영역%의 범위와 이를 통한 정상 상한치를 이용하면 덴시토메트리를 이용한 조기 폐기종의 정량분석 그리고 추적관찰에서의 진행 정도를 평가하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease. American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152(5 Pt 2):S77-S121
- Bankier AA, De Maertelaer V, Keyzer C, Gevenois PA. Pulmonary emphysema: subjective visual grading versus objective quantification with macroscopic morphometry and thin-section CT densitometry. *Radiology* 1999;211:851-858
- Gevenois PA, de Maertelaer V, De Vuyst P, Zanen J, Yernault JC. Comparison of computed density and macroscopic morphometry in pulmonary emphysema. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:653-657
- Gevenois PA, De Vuyst P, de Maertelaer V, Zanen J, Jacobovitz D, Cosio MG, et al. Comparison of computed density

- and microscopic morphometry in pulmonary emphysema. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:187-192
5. Gevenois PA, De Vuyst P, Sy M, Scillia P, Chaminade L, de Maertelaer V, et al. Pulmonary emphysema: quantitative CT during expiration. *Radiology* 1996;199:825-829
6. Chae EJ, Seo JB, Song JW, Kim N, Park BW, Lee YK, et al. Slope of emphysema index: an objective descriptor of regional heterogeneity of emphysema and an independent determinant of pulmonary function. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:W248-W255
7. Kinsella M, Müller NL, Abboud RT, Morrison NJ, DyBuncio A. Quantitation of emphysema by computed tomography using a "density mask" program and correlation with pulmonary function tests. *Chest* 1990;97:315-321
8. Lee YK, Oh YM, Lee JH, Kim EK, Lee JH, Kim N, et al. Quantitative assessment of emphysema, air trapping, and airway thickening on computed tomography. *Lung* 2008;186:157-165
9. Müller NL, Staples CA, Miller RR, Abboud RT. "Density mask". An objective method to quantitate emphysema using computed tomography. *Chest* 1988;94:782-787
10. Park KJ, Bergin CJ, Clausen JL. Quantitation of emphysema with three-dimensional CT densitometry: comparison with two-dimensional analysis, visual emphysema scores, and pulmonary function test results. *Radiology* 1999;211:541-547
11. Standardization of Spirometry, 1994 Update. American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1107-1136
12. Stolk J, Putter H, Bakker EM, Shaker SB, Parr DG, Piitulainen E, et al. Progression parameters for emphysema: a clinical investigation. *Respir Med* 2007;101:1924-1930
13. Madani A, Zanen J, de Maertelaer V, Gevenois PA. Pulmonary emphysema: objective quantification at multi-detector row CT--comparison with macroscopic and microscopic morphometry. *Radiology* 2006;238:1036-1043
14. Lee HJ, Lee YK, Seo JB, Kim N, Oh YM, Lee SD. A study of the relationship between the pulmonary function test and the threshold value for the emphysema index at volumetric inspiration and expiration CT in cases of chronic obstructive lung disease. *J Korean Radiol Soc* 2008;59:99-106
15. Marsh S, Aldington S, Williams MV, Nowitz MR, Kingzett-Taylor A, Weatherall M, et al. Utility of lung density measurements in the diagnosis of emphysema. *Respir Med* 2007;101:1512-1520
16. Irion KL, Marchiori E, Hochegger B, Porto Nda S, Moreira Jda S, Anselmi CE, et al. CT quantification of emphysema in young subjects with no recognizable chest disease. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:W90-W96
17. Stolk BC, Stolk J. Optimization and standardization of lung densitometry in the assessment of pulmonary emphysema. *Invest Radiol* 2004;39:681-688
18. Stolk J, Ng WH, Bakker ME, Reiber JH, Rabe KF, Putter H, et al. Correlation between annual change in health status and computer tomography derived lung density in subjects with alpha1-antitrypsin deficiency. *Thorax* 2003;58:1027-1030
19. 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;167:1169-1173
20. Gilleooly M, Lamb D. Airspace size in lungs of lifelong non-smokers: effect of age and sex. *Thorax* 1993;48:39-43
21. Ogawa E, Nakano Y, Ohara T, Muro S, Hirai T, Sato S, et al. Body mass index in male patients with COPD: correlation with low attenuation areas on CT. *Thorax* 2009;64:20-25
22. Coxson HO, Chan IH, Mayo JR, Hlynsky J, Nakano Y, Birmingham CL. Early emphysema in patients with anorexia nervosa. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;170:748-752

정상 폐 기능의 비흡연자에서 흉부 전산화단층촬영 덴시토메트리¹

오탁선¹ · 채은진¹ · 서준범¹ · 정영주² · 오연목³ · 이상도³

목적: 정상 폐 기능 비흡연 성인의 흉부 전산화단층촬영에서 다양한 역치의 저감쇠영역%의 범위와 정상 상한치를 제시하고자 하였다.

대상과 방법: 흉부 전산화단층촬영을 시행 받은 정상 폐 기능 비흡연 성인 36명에 대해 흡기시 6개의 역치(-980~-930 HU)와 호기시 2개의 역치(-950, -910 HU)에서의 저감쇠영역%와 흡기, 호기시 폐실질평균농도를 구하였다. 저감쇠영역%와 폐실질평균농도의 기술통계를 시행하고 성별과 연령구역에 따른 차이를 비교하였으며, 연령, 체표면적, 체질량지수와와의 상관성을 분석하였다.

결과: 흡기시 -950 HU 역치의 저감쇠영역%의 평균, 정상 상한치값(95th percentile)은 5.24%, 12.96%, 호기시 -910 HU 역치에서는 2.06%, 9.48%, 흡기시 폐실질평균농도는 -866.16 HU, -837.58 HU, 호기시 폐실질평균농도는 -737.80 HU, -686.82 HU였다. 성별과 연령구역 간 저감쇠영역%와 폐실질평균농도는 통계학적 차이가 없었다. 체질량지수는 흡기시 -970~-930 HU 역치의 저감쇠영역%들과 음의 상관성을(-950 HU, $p = 0.016$), 흡기와 호기 폐실질평균농도와 양의 상관성을 보였다($p = 0.001$, $p = 0.009$).

결론: 정상 폐 기능의 비흡연자에서도 특정 역치를 이용한 덴시토메트리에서 저감쇠영역%가 나타날 수 있고, 체질량지수와 반비례하여 증가하였다. 정상 성인에서 저감쇠영역%의 범위와 정상 상한치의 정보가 덴시토메트리를 이용한 조기 폐기종의 정량분석과 추적관찰에서의 진행 정도를 평가하는 데에 도움을 줄 것으로 생각한다.

울산대학교 의과대학 서울아산병원 ¹영상의학과 영상의학연구소, ²건강증진센터, ³호흡기내과