

호흡에 따른 부위별 폐밀도 변화: 흡기와 호기 CT의 비교¹

김영민 · 곽병국 · 양상규 · 박현선 · 윤혜란 · 정인주 · 이창준

목 적 : CT를 이용하여 정상폐에서 중력과 호흡에 따른 각 부위별 폐밀도 차이를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법 : 비흡연자이고 이전에 폐질환이 없었던 15명의 자원자를 대상으로 하였다. 최대흡기와 최대호기시에 첨부, 중부, 기저부(각각 대동맥궁, 기관분기부, 횡격막직상방) 세 부위를 CT로 촬영하였고 각각의 폐주변부에서 전, 측, 후 세 곳을 정하여 폐밀도를 측정하였다.

결 과 : 폐의 전방이 후방보다 폐밀도가 더 낮았고 폐전방에서 후방으로의 감쇠계수의 평균증가는 최대흡기보다 최대호기시에 유의하게 더 컸다($p < 0.005$). 부위별로는 폐첨부보다 기저부에서 더 컸다(호기시 $p < 0.005$, 흡기시 $p = 0.006$). 최대흡기시 폐밀도는 최대호기시보다 낮았고($p < 0.005$) 최대흡기에서 최대호기로의 폐밀도의 평균증가는 후방이 전방보다 더 컸다($p < 0.005$). 부위별로 보면 후방에서는 폐첨부보다 기저부가($p = 0.007$), 전방에서는 기저부보다 폐첨부가 더 컸다($p < 0.005$).

결 론 : 정상폐의 CT에서 중력과 호흡은 폐의 부위별 밀도 변화를 가져와서 흡기와 호기에 따라 의존적, 비의존적 부위 및 폐첨부, 중부, 기저부 사이에 감쇠계수의 차이를 일으킨다.

폐에서 CT scan으로 측정된 감쇠계수는 혈액, 공기, 혈관외액, 폐조직의 네가지 요소에 의해 결정되며 중력과 호흡은 위 요소들에 영향을 미쳐 폐밀도를 변화시킬 수 있다(1).

지금까지 이와 관련된 많은 보고가 있었고 이들은 흡기보다는 호기시에 폐밀도가 더 높고, 폐의 의존적(dependent portion), 비의존적(nondependent portion) 사이의 감쇠계수 차이가 폐용적의 영향을 받아서 흡기보다 호기시에 더 크다고 보고하였다(1-6). 그러나 이것이 폐첨부, 중부, 기저부의 각 부위별로는 어떻게 다른지 그리고 흡기와 호기 사이의 폐밀도 차이는 부위별로 어떻게 나타나는지에 관한 연구는 별로 없었다.

이 연구의 목적은 정상폐의 의존적 부위와 비의존적 부위에 서 중력과 호흡이 폐밀도에 어떤 영향을 미치는지 그리고 폐첨부, 중부, 기저부의 부위별 밀도 차이가 존재하는지를 알아보는 것이다.

대상 및 방법

비흡연자이고 이전에 폐질환이 없었던 15명의 자원자를 대상

으로 하였고 남자는 8명, 여자는 7명, 평균연령은 30세(21-39세)였다. 이들의 폐기능검사는 모두 정상이었다.

이미 발표했던 연구논문의 나선식 CT 자료를 이용하여(7) 보조컴퓨터인 VoxelQ(Picker International, Ohio, USA)에서 폐첨부, 중부, 기저부(각각 대동맥궁, 기관분기부, 횡격막직상방) 세 곳의 스캔만을 취했다. 촬영기기는 PQ2000(Picker International, Ohio, USA)를 사용하였고 촬영조건은 10mm collimation, pitch 1, 130kVp, 150mA, window level -700 HU, width 1000HU으로 하였고 양와위로 촬영하였다. 검사시작 전에 강제적 폐활량 호흡법을 교육하였고 최대흡기와 최대호기시 동일 부위를 스캔하였다.

스캔한 세부위에서 대혈관은 포함시키지 않고 흉벽에서 5mm 떨어진 폐주변부에서 전부, 측부, 후부 세 곳을 정하여 70-80mm² 면적을 갖는 사각형모양의 관심영역을 설정한 후 그 면적의 밀도를 측정하였다(Fig. 1). 15명에서 총 540개의 관심영역을 얻었다. 측정값에 있어서 폐의 좌우 구별은 하지 않았다. 측정값 사이의 차이의 유용성은 t-test로 결정하였다.

결 과

최대흡기와 최대호기 모두에서 후방(의존적 부위)이 전방

¹ 국립의료원 진단방사선과
이 논문은 1996년 11월 20일 접수하여 1997년 3월 20일에 채택되었음.

(비의존적 부위)보다 폐밀도가 더 높았다($p<0.005$)(Table 1). 전방에서 후방으로의 폐밀도의 평균 증가는 폐첨부에서는 최대 흡기시 10.9 ± 39.5 HU, 최대호기시 138.5 ± 89.6 HU이었고, 폐 중부에서는 각각 22.4 ± 25.8 HU, 175.4 ± 77.5 HU였으며 기저부는 각각 34.1 ± 19.0 HU, 282.4 ± 85.3 HU이었다. 즉 전방에서 후방으로의 폐밀도의 평균증가는 최대흡기보다 최대호기시 더욱 컸고($p<0.005$) 폐첨부에서 기저부로 갈수록 통계학적으로 유의하게 컸다(호기시 $p<0.005$, 흡기시 $p=0.006$)(Fig. 2). 이것은 기저부로 갈수록 전방의 폐밀도는 작아지고 후방의 폐밀도는 커지기 때문이다.

폐첨부, 중부, 기저부 각각의 전, 측, 후 세부위 모두에서 최대 호기시의 폐밀도는 최대흡기시의 밀도보다 더 높았다($p<0.005$)(Table 1). 최대흡기에서 최대호기로의 폐밀도의 평균증가는 후방이 전방보다 더 크게 나타났는데($p<0.005$) 후방은 폐

첨부, 중부, 기저부 세곳에서 각각 334.1 ± 98.3 HU, 331.9 ± 102.7 HU, 380.6 ± 86.2 HU이었고 전방은 각각 206.5 ± 85.6 HU, 179.0 ± 59.2 HU, 132.3 ± 59.0 HU이었다. 부위별로 보면 최대흡기에서 최대호기로의 감쇠계수의 증가는 전방에서는 기저부에서 폐첨부로 갈수록 컸고($p<0.005$), 후방에서는 폐첨부와 중부보다 기저부에서 더 컸다($p=0.007$)(Fig. 3).

고 찰

폐의 밀도는 공기, 혈액, 혈관외액, 폐조직 등의 네가지 요소에 의해 복합적인 영향을 받는다고 알려져왔다. 호흡에 의한 폐용적 변화는 네 요소 사이의 상대적 비를 변화시켜 폐밀도의 차이를 가져오게 한다. 그리고 중력은 폐의 의존적 부위에 혈류량을 증가시키고 폐포 확장을 감소시킴으로써(8, 9) 의존적, 비의

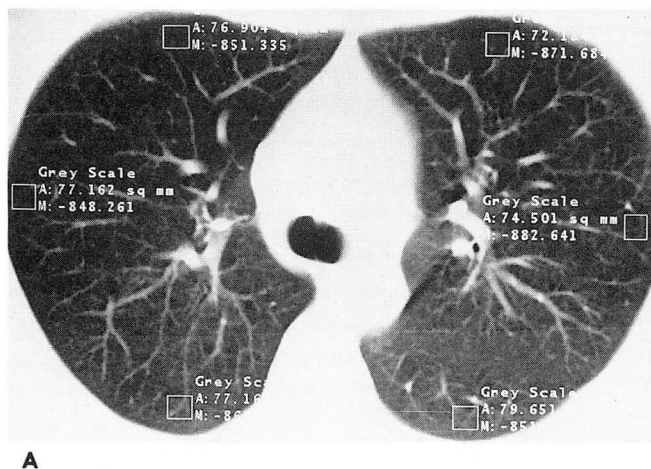


Fig. 1. Regional density measurement.

Lung attenuation was measured within regions of interest selected in most anterior, lateral, posterior portion at carinal level on full inspiration (A) and full expiration (B) CT. Regions of interest have rectangular shape and 70—80mm² size, placed at peripheral one fourth of the lung, not including chest wall or large vessel.

Table 1. Mean Regional CT Attenuation of the Lung at Full Inspiration and Full Expiration Status

Region		Full Inspiration mean \pm SD(HU)	Full Expiration mean \pm SD(HU)
Apex	Anterior	-862.6 ± 30.1	-656.1 ± 87.5
	Lateral	-858.7 ± 42.1	-643.4 ± 95.9
	Posterior	-851.7 ± 31.0	-517.6 ± 103.2
Middle	Anterior	-877.1 ± 17.9	-698.1 ± 66.1
	Lateral	-872.0 ± 22.0	-681.9 ± 86.1
	Posterior	-854.7 ± 29.1	-522.8 ± 108.6
Base	Anterior	-886.6 ± 19.6	-754.3 ± 62.3
	Lateral	-873.3 ± 23.1	-698.7 ± 64.6
	Posterior	-852.5 ± 22.3	-471.9 ± 89.9

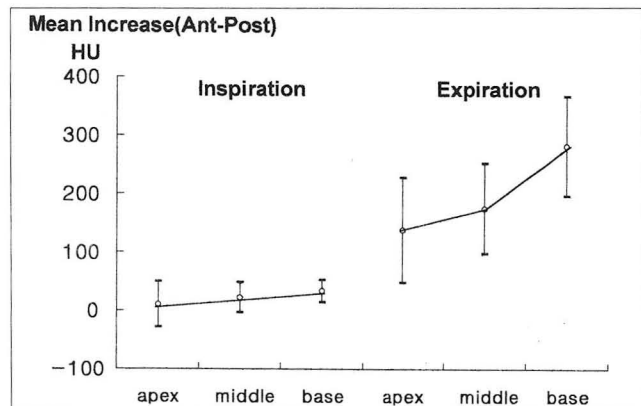


Fig. 2. Mean increase of regional CT attenuation from the anterior portion (non-dependent) to the posterior portion (dependent) of apical, middle and basal lung sections in full inspiration and full expiration CT. Ant-Post: from anterior to posterior.

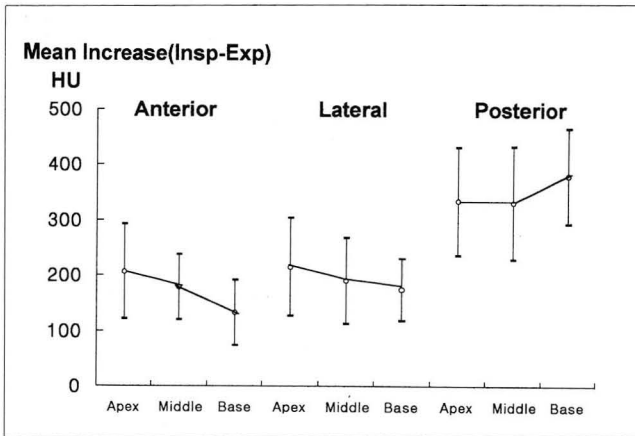


Fig. 3. Mean increase of regional CT attenuation from full inspiration to full expiration in anterior, lateral and posterior portion in apex, middle and base of the lung. Insp-Exp : from full inspiration to full expiration.

존적 부위 사이에 감쇠계수의 차이를 생기게 한다. 폐의 네가지 요소들은 균등하게 분포하지 않기 때문에 중력과 호흡에 따른 폐밀도의 변화는 폐의 각 부위별로 다르게 나타날 수 있다.

70년대 후반부터 비침습적 방법인 CT 스캔을 통해 이들 요소들이 중력과 호흡에 의해 어떻게 변화하는가를 연구한 많은 논문들이 있었다(1-6). 이들은 폐의 의존적 부위가 비의존적 부위보다 폐밀도가 더 높고, 의존적 부위와 비의존적 부위 사이의 폐밀도 차이가 흡기시보다 호기시에 더 크다는 사실을 보고하였다. 본 저자들은 위의 사실들을 검증하고 폐를 첨부, 중부, 기저부로 나누어 각각의 의존적, 비의존적 부위에는 어떻게 다르게 작용하는지에 대해 연구하고자 하였다.

폐밀도 측정은 흉벽에서 5mm 떨어진 폐주변부에서 흉벽과 대혈관을 포함시키지 않고 관심영역을 설정하였고 그래서 측정에 있어 작은 변동이 있어도 감쇠계수에는 큰 영향을 미치지 않도록 하였다. 그러나 호흡법과 관심영역 설정의 주관적 오차들은 개선해 나가야 할 문제들이다(10, 11).

본 저자들의 결과에서도 흡기와 호기 모두에서 폐의 의존적 부위의 밀도가 비의존적 부위의 밀도보다 더 높았다. 그리고 의존적 부위와 비의존적 부위 사이의 폐밀도 차이가 최대흡기에서 최대호기로 폐용적이 감소할수록 반비례하여 커졌다($p < 0.005$). 그 이유는 흡기시에는 폐포확장이 균일한 반면 호기시에는 의존적 부위의 흉막압이 비의존적 부위보다 더 양압이 되어 의존적 부위의 폐확장이 덜 되기 때문이다. Verschakelen 등(4)은 폐용적이 전폐용적(TLC)에 가까울수록 의존적 부위와 비의존적 부위 사이의 폐밀도 차이가 작아지므로 비정상적인 폐의 밀도를 측정할 때는 최대흡기 상태인 CT에서 측정해야 한다고 하였다.

의존적 부위와 비의존적 부위 사이의 폐밀도 차이를 부위별로 비교해보면, 흡기와 호기 모두에서 첨부에서 기저부로 갈수록 그 차이가 더 커졌다(호기시 $p < 0.005$, 흡기시 $p = 0.006$) (Fig. 2). 이것은 Table 1.에서 보듯이 기저부로 갈수록 비의존적 부위의 폐밀도는 작아지고 의존적 부위의 폐밀도는 커지기

때문이다. 즉 비의존적 부위에서는 기저부가 첨부보다 폐포확장이 더 잘되는 반면 의존적 부위에서는 그렇지 않다는 것을 말해준다.

최대호기시의 폐밀도는 폐의 각 부위 모두에서 최대흡기시의 밀도보다 더 높았다. 최대흡기에서 최대호기로의 폐밀도 증가는 비의존적 부위보다 의존적 부위에서 더 크게 나타났고 이것은 흉막압 차이에 의해 의존적 부위의 폐용적 변화가 더 크기 때문이다. 부위별로 보면 비의존적 부위에서는 최대흡기와 최대호기 사이의 폐밀도 증가가 기저부에서 폐첨부로 갈수록 크고($p < 0.005$) 의존적 부위에서는 폐첨부와 중부보다 기저부에서 더 크다($p = 0.007$). 이것은 비의존적 부위에서는 폐첨부가 기저부보다 호흡에 따른 폐용적 변화가 더 크고, 반대로 의존적 부위에서는 기저부가 폐첨부보다 더 크다는 것을 말해준다. 의존적 부위의 기저부는 후늑횡격막구가 깊고 횡격막 상승의 영향을 더 많이 받아서 흡기와 호기 사이의 폐용적 차이가 커지기 때문으로 생각된다.

본 연구는 20-30대 성인만을 대상으로 하였기 때문에 모든 연령별 변화를 반영할 수는 없다. 그러나 Rosenblum 등(2)에 의하면 10세이상 나이에서 폐밀도와 연령 사이에 일정한 상관관계는 볼 수 없다고 하였기에 본 논문에 커다란 오차는 없으리라 생각한다. 앞으로 정상인의 표준치를 제시하기 위해서는 연령별로 대상자수를 더 늘려야 할 것이다.

몇몇 논문에서 폐기능 검사상 이상이 있는 폐질환에서는 CT 감쇠계수가 비정상적이거나, 의존적 부위와 비의존적 부위 사이의 호흡에 따른 폐밀도 차이가 감소됨을 보고한 바 있고(12, 13) 앞으로도 다양한 폐질환에 이것을 적용하는 연구가 있을 것으로 생각된다.

결론적으로 호흡과 중력은 폐밀도에 영향을 미쳐서 정상폐의 의존적, 비의존적 부위 그리고 첨부, 중부, 기저부 사이에 부위별 밀도 변화를 가져온다. 이러한 사실은 폐의 생리를 이해하는데 도움을 줄것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Hedlund LW, Vock P, Effmann EL. Computed tomography of the lung: densitometric studies. *Radiol Clin North Am* 1983; 21: 775-788
- Rosenblum LJ, Mauceri RA, Wellenstein DE, et al. Density patterns in the normal lung as determined by computed tomography. *Radiology* 1980; 137: 409-416
- Webb WR, Stern EJ, Kanth N, Gamsu G. Dynamic pulmonary CT: Findings in healthy adult men. *Radiology* 1993; 186: 117-124
- Verschakelen JA, Fraeyenhoren LV, Laureys G, et al. Differences in CT density between dependent and nondependent portions of the lung: Influence of lung volume. *AJR* 1993; 161: 713-717
- Robinson PJ, Kneel. Pulmonary tissue attenuation with CT: comparison of inspiration and expiration scans. *J Comput Assist Tomogr* 1979; 3: 740-748
- Wollmer P, Albrechtsson U, Brauer K, et al. Measurement of pulmonary density by means of X-ray CT: relation to pulmon-

- ary mechanics in normal subjects. *Chest* 1986; 90: 387-391
7. 강호영, 박병국, 이상윤 등. 나선식 CT에 의한 폐용적 측정 : 폐기능 검사와 비교. *대한방사선의학회지* 1996; 35: 709-714
 8. Kanebo K, Milic-Emili J, Doovich MB, et al. Regional distribution of ventilation and perfusion as a function of body position. *J Appl Physiol* 1966; 21: 767-777
 9. Des Jardins, Terry R. *Cardiopulmonary anatomy & physiology: essentials for respiratory care*. 2nd ed. 66-109
 10. Kalender WA, Fichte H, Bautz W, et al. Semiautomatic evaluation procedures for quantitative CT of the lung. *J Comput Assist Tomogr* 1991; 15: 248-255
 11. Kalender WA, Rienmuller R, Seissler W, et al. Measurement of pulmonary parenchymal attenuation: use of spirometric gating with quantitative CT. *Radiology* 1990; 175: 265-268
 12. Rienmuller RK, Behr J, Kalender WA. Standardized quantitative high resolution CT in lung diseases. *J Comput Assist Tomogr* 1991; 15: 742-749
 13. Adams H, Bernard MS, McConnochie K. An appraisal of CT pulmonary density mapping on normal subjects. *Clin Radiol* 1991; 43: 238-242

J Korean Radiol Soc 1997; 36: 983-986

Difference of Regional Lung Density in Inspiration and Expiration CT¹

Young Min Kim, M.D., Byung Kook Kwak, M.D., Sang Kyu Yang, M.D.
Hyun Sun Park, M.D., Hye Ran Yoon, M.D., In Ju Jung, M.D., Chang Joon Lee, M.D.

¹Department of Diagnostic Radiology, National Medical Center

Purpose: To evaluate differences in regional density of normal lung, as seen on CT, according to respiration and gravity.

Materials and Methods: The subjects were 15 healthy volunteers, all non-smokers and without previous pulmonary disease. CT scans were obtained at three selected levels through the apex, middle and basal lung at the aortic arch, carina and just above the diaphragm, respectively at both full inspiration (FVC) and full expiration (RV). Within these regions of interest and at the three scanning levels, lung density was measured in the anterior, lateral, and posterior portions of the peripheral lung field.

Results: Attenuation of the anterior portion of the lung was lower than that of the posterior portion ($p < 0.005$); average lung attenuation increase from the anterior to the posterior portion was significantly greater during full expiration than full inspiration ($p < 0.005$), and was significantly greater at the base of the lung than at the apex ($p < 0.005$ on expiration, $p = 0.006$ on inspiration). Lung density during inspiration was lower than during expiration ($p < 0.005$); average lung density increase from full inspiration to full expiration was significantly greater in the posterior portion than in the anterior ($p < 0.005$). In the former, the average increase at the base of the lung was greater than at the apex ($p = 0.007$), but in the latter, the average increase at the apex was greater than at the base ($p < 0.005$).

Conclusion: In normal lung, respiration and gravity cause regional density changes, as seen on CT, and result in difference of lung attenuation between dependent and nondependent portions and between the apex, middle and base of the lung, according to inspiration and expiration.

Index Words: Lung, CT
Computed tomography (CT), attenuation coefficients

Address reprint requests to: Young Min Kim, M.D., Department of Diagnostic Radiology, National Medical Center,
18-79, Ulchi-Ro 6 Ga, Chung-Gu, Seoul 100-196, Korea. Tel. 82-2-260-7324 Fax. 82-2-265-3502