

X線CTを用いたヒト肺葉容積の測定

渡辺英明 小場弘之

札幌医科大学内科学第3講座 (主任 鈴木 明 教授)

Measurement of Human Lung Lobar Volume using X-ray CT

Hideaki WATANABE and Hiroyuki Koba

Department of Internal Medicine (Section 3), Sapporo Medical College

(Chief : Prof. A. SUZUKI)

ABSTRACT This study was conducted to measure the lobar volumes of human lung using CT under physiological conditions and to define its changes during respiration. Chest CT scans were obtained in 16 healthy volunteers from the apex to the base of the lung at four respiratory levels; maximal inspiratory level, half inspiratory capacity level, resting expiratory level and maximal expiratory level. The outlines of the lung lobes were traced with a digitizer on CT film and the area of the lung lobes in the cross-sectional plane was calculated using a personal computer.

The total area of each lobe—right upper lobe (RUL), right middle lobe (RML), right lower lobe (RLL), left upper lobe (LUL) and left lower lobe (LLL)—multiplied by the thickness of the scan space gave the lung lobar volume.

We calculated the sum total of five lobar volumes at three respiratory levels in order to obtain total lung volumes (total lung capacity (TLC_{CT}), functional residual capacity (FRC_{CT}) and residual volume (RV_{CT}). Vital capacity (VC_{CT}) was determined by subtracting RV_{CT} from TLC_{CT}.

A good correlation was found between the lung volumes (TLC, FRC, RV and VC) measured by this method and those from spirometry in the supine position. The ratio of LUL to total lung volume at the resting expiratory level, which was independent of respiratory effort, was greatest, followed by those of RLL, RUL, LLL and RML. As the respiratory level went up from the resting expiratory level to the maximal inspiratory level, the ratios of RUL, RML and LUL to total lung volume decreased, while those of LLL and RLL increased. The ratio of LLL to vital capacity was greatest, 27.7%, followed by that of RLL, 27.2%; LUL, 21.6%; RUL, 16.6%; and RML, 6.9%.

This method of using CT is useful and reliable for measurement of lung lobar volume. The measurement at different respiratory levels demonstrated the change of each lobar volume during respiration. Our method is expected to greatly contribute to clinical practice, e.g., diagnosis of diffuse lung disease which shows local volume change and determination of lobar resection operability for patients with poor pulmonary function.

(Received November 2, 1990 and accepted November 21, 1990)

Key words: CT, Lung volume, Lung lobar volume, Vital capacity

Abbreviations:

PFT : pulmonary function test
RUL : right upper lobe
RML : right middle lobe
RLL : right lower lobe
LUL : left upper lobe
LLL : left lower lobe

TLC : total lung capacity
IC : inspiratory capacity
FRC : functional residual capacity
RV : residual volume
ERV : expiratory reserve volume
VC : vital capacity
FEV : forced expiratory volume

1 緒 言

X線CT（以下CT），殊に高分解能CTの出現以来呼吸器病学の領域においても，肺癌をはじめとする限局性陰影の診断はもちろん，びまん性肺疾患の診断・病態解析も著しい進歩を遂げている．さらにCTによる病変の3次元的把握から間質性肺炎¹⁾，肺線維症等のように病変部に一致して容積減少を来す疾患，肺気腫，びまん性汎細気管支炎²⁾等のように過膨張を来す疾患など，疾患による特徴的な肺の容積変化が注目されている．これらの疾患は進行と共にその容積変化が著明となって行くので肺の局所の容積変化を知ることが病変の診断と共に進行度を判断する上で大きな意味を持つ．

従来，肺の容積変化は胸部単純像での横隔膜の高さや，胸骨後腔，心後腔の拡大などによりおおまかに判断されていただけで，各肺葉ごとの定量的な計測はほとんど不可能であった．呼吸生理学的アプローチとしての肺機能検査も肺全体としての容積変化は推定できるが，局所的な容積変化については知り得ず，ラジオアイソトープを用いた局所肺機能検査も上・中・下肺野というおおまかな変化しかとらえることができないため，生理的条件下で肺葉別の容積変化を客観的に判断することは現在まで不可能であった．

本論文ではCTの描出能の向上により各肺葉ごとの葉間が明瞭に認識できるようになったことに着目し，CTを用いて生理的な四つの呼吸レベルで肺葉別の容積を測定し，呼吸レベルの違いによる肺葉別容積比を検討した．同時にCTで肺活量，最大吸気量，予備呼気量を算出し，各肺気量に占める肺葉別の比率について検討した．

2 対象と方法

2.1 対 象

呼吸器疾患の既往や現在呼吸器症状がなく，一般肺機能検査で%VCが80%以上，FEV_{1.0}%が70%以上の健常有志者16人を対象とした．年齢は24～35歳，平均年齢29.1歳，全例男性で喫煙者は5名である．

2.2 実験方法

2.2.1 肺機能検査 Pulmonary Function Test (PFT)

仰臥位で肺気量分画（全肺気量 TLC_{PFT}（total lung capacity），機能的残気量 FRC_{PFT}（functional residual capacity），残気量 RV_{PFT}（residual volume），肺活量 VC_{PFT}（vital capacity））（Fig. 1）を測定した．

測定には肺機能測定システム（CHEST社製CHES-TAC-55V）を用い，機能的残気量はHeを指示ガスとする閉鎖回路法を用いた．

2.2.2 胸部CT撮像法

CT装置はGE-CT/T9800を使用し，スライス間隔は10mm，スライス厚は部分容積現象を最小限にして肺葉辺縁及び葉間線を明瞭に描出するため1.5mm厚を用いた．仰臥位肺機能検査で測定した肺気量との相関性及び呼吸レベルの違いによる肺葉の容積変化を検討するために最大吸気位（maximal inspiratory level），1/2最大吸気量位（half inspiratory capacity level），安静呼気位（resting expiratory level），最大呼気位（maximal expiratory level）の四つの呼吸レベルで各々肺尖部から肺底部まで胸部CT検査を施行した（Fig. 2, Fig. 3）．

仰臥位の被験者に一方弁のついたマウスピースをくわえさせCHEST社製スパイラー81で呼吸レベルをモニターしながら，最大吸気位は安静呼気位より吸入しうる最大の吸気努力をさせたところで息止めをさせ，最大呼気位は安静呼気位より呼出しうる最大の呼気努力をさせたところで息止めをさせて各々撮像した．安静呼気位は呼吸努力にほとんど依存しない安定したレベ

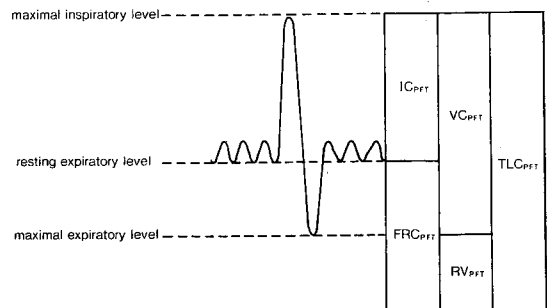


Fig. 1 The subdivisions of lung volume measured by pulmonary function test.

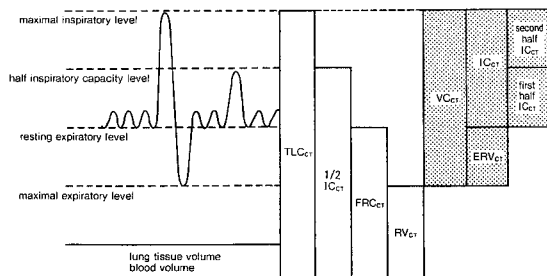


Fig. 2 The subdivisions of lung volume measured using X-ray CT.

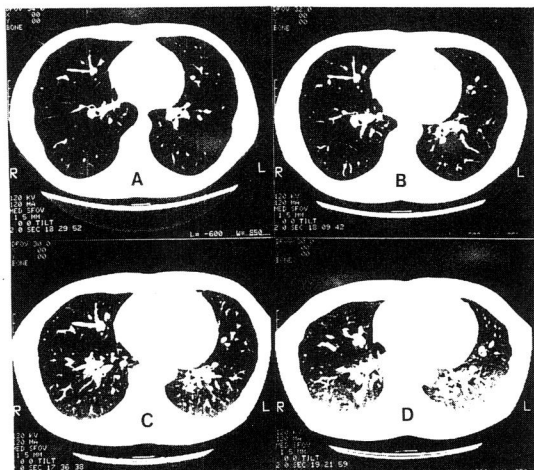


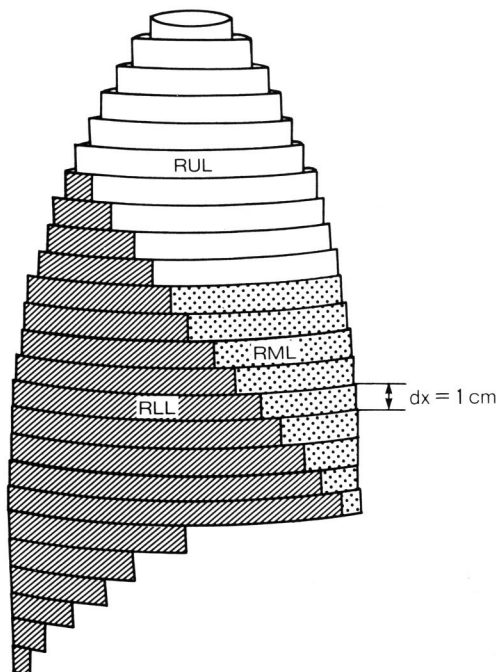
Fig. 3 Chest CT images of four respiratory levels at almost equal level relative to spine.
A: maximal inspiratory level. B: half inspiratory capacity level. C: resting expiratory level. D: maximal expiratory level.

ルであり各対象で一定しているが、最大吸気位、1/2最大吸気量位、最大呼気位では呼吸レベルをできるだけ一定にして撮像するため、験者がスパイラー81の記録用紙を見ながら同一の呼吸努力をするように息止めを指示した。1/2最大吸気量位はCT検査直前にあらかじめ測定した最大吸気量の1/2の吸気レベルで息止めを指示し撮像した。さらに呼吸レベルの変動を最小限にするために最大吸気位、1/2最大吸気量位、安静呼気位は1回の息止めで連続3スキャン、最大呼気位は1回の息止めで連続2スキャンの rapid sequential scan で撮像した。本法は scan time 2秒、テーブル移動に3.5秒を要し3スキャンでも15秒前後の息止めで撮像が可能である。

肺野撮像条件は我々が通常臨床で使用している window level-600HU, window width 850HU で撮像した。

2・2・3 CT画像を用いた肺容積の測定

容積測定システムはシャウカステン・ディジタイザー(フォトロン社製グラディマスタ U4-30. MARK II), NEC製 personal computer PC-9801, 三次元画像処理プログラム shadow system から構成される。撮像されたCT像の各スライス面をディジタイザーを用いて各肺葉ごとに肺葉辺縁を正確にトレースし shadow system に入力して各肺葉ごとの面積を算出し、その総面積にスライス間隔10mmを乗じて各肺葉(右上葉, 右中葉, 右下葉, 左上葉, 左下葉)の容積を算出した(Fig. 4)。肺葉辺縁は胸壁側, 縦隔側は容易に認識でき



$$\begin{aligned} \text{Volume} &= dx \sum_{i=1}^n \text{Area } i \\ &= dx (\text{Area } 1 + \text{Area } 2 + \dots + \text{Area } n) \end{aligned}$$

$$dx = \text{scan spacing} = 1 \text{ cm}$$

Fig. 4 Lung lobar volume represented by stack of cylindroids.

るが極力、気量部分のみを測定するためにトレースの際に区域支レベルより末梢の血管・気管支構造は肺葉内に含めてトレースしたが、それより中枢部の太い構造は肺葉面積から除外した。各肺葉間はスライス厚1.5mmでスキャンした場合、ほとんどの例で線状影として描出されるが³⁾上中葉間のごとくスライス面に対して水平方向に分葉する場合にはCT画像上、無血管野として描出される。このような場合には無血管野の面積の1/2づつを各葉に分けて計算した(Fig. 5)。

以上の操作を四つの呼吸レベルで得られたCT画像の全スライス面で行い各呼吸レベルにおける各肺葉の容積を測定した。

2・2・4 分析項目

2・2・4・1 CT測定肺容積と肺機能測定肺気量の比較

各呼吸レベルごとに、CTで求めた各肺葉容積を総和し、各レベルにおける全肺容積を算出した。最大吸気位での測定値の総和を TLC_{CT}, 1/2最大吸気量位での総和を1/2 IC_{CT}, 安静呼気位での総和を FRC_{CT}, 最大呼気位での総和を RV_{CT}と定義し、肺機能測定肺気量

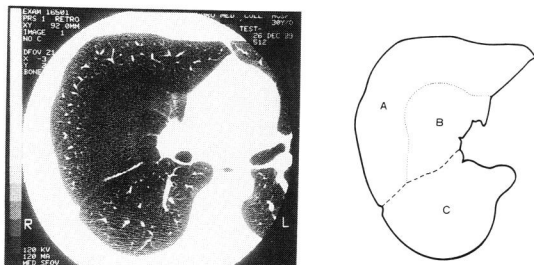


Fig. 5 A chest CT image at the level of interface between right upper and middle lobe and its scheme.

Area A belongs to RUL. Area B, avascular area, is equally divided into RUL and RML. Area C is included in RLL.

と比較検討した。これらCT測定肺容積には真の肺気量の他、肺血管容量及び肺組織容量を含んでいる(Fig. 2)。

2・2・4・2 各呼吸レベルにおける肺葉容積の検討

各呼吸レベルにおいて右肺、左肺及び各肺葉の全肺容積に占める比率を各肺葉容積/全肺容積 $\times 100$ として算出し、呼吸レベルの違いによる各肺葉の容積比を検討した。

2・2・4・3 肺葉容積変化 (CT測定肺気量) の検討

① 肺活量

最大吸気位で測定した各肺葉容積から最大呼気位で測定した肺葉容積を減じ、これを肺葉別肺活量と定義した。肺葉別肺活量の総和をCT測定肺活量 VC_{CT} として算出し、肺機能測定肺活量 VC_{PFT} と比較検討した。さらに VC_{CT} に占める各肺葉の比率(各肺葉別肺活量/ $VC_{CT} \times 100$)を算出し16例の平均値を求めた。

② 吸気量と呼気量

最大吸気位で測定した各肺葉容積から安静呼気位で

測定した肺葉容積を減じ肺葉別最大吸気量を算出した。肺葉別最大吸気量の総和をCT測定最大吸気量 IC_{CT} とし、 IC_{CT} に占める各肺葉の比率(各肺葉別最大吸気量/ $IC_{CT} \times 100$)を算出した。さらに IC_{CT} を安静呼気位から1/2最大吸気量位までの前半(first half IC_{CT})と1/2最大吸気量位から最大吸気位までの後半(second half IC_{CT})とに分けて、同様に各肺葉の占める比率を測定した。

次に安静呼気位で測定した各肺葉容積から最大呼気位で測定した肺葉容積を減じ肺葉別予備呼気量を算出した。肺葉別予備呼気量の総和をCT測定予備呼気量 ERV_{CT} とし、 ERV_{CT} に占める各肺葉の比率(各肺葉別予備呼気量/ $ERV_{CT} \times 100$)を算出した。得られた吸気量と呼気量に占める各肺葉の比率及び吸気前半と吸気後半に占める各肺葉の比率を検討した。 VC_{CT} 、 IC_{CT} 、 ERV_{CT} は各吸気レベルにおける肺血管容量と肺組織容量が同一であると仮定すると真の肺気量のみを示す(Fig. 2)。

データの数値は平均値 \pm 標準偏差(mean \pm S. D.)で表し、統計処理方法はpaired t-testを用い有意水準を0.05とした。

3 成績

3・1 CT測定肺容積と肺機能測定肺気量との比較

CT測定肺容積と仰臥位肺機能検査で測定した肺気量を比較検討した。

TLC_{CT} は 6191.1 ± 1169.3 ml、 TLC_{PFT} は 6243.1 ± 1020.6 mlとほぼ同一で、 FRC_{CT} は 2904.5 ± 822.3 ml、 FRC_{PFT} は 2328.8 ± 639.3 ml、 RV_{CT} は 2072.1 ± 548.4 ml、 RV_{PFT} は 1573.1 ± 396.6 mlと FRC 、 RV ではCT測定値の方が大きかった。相関係数

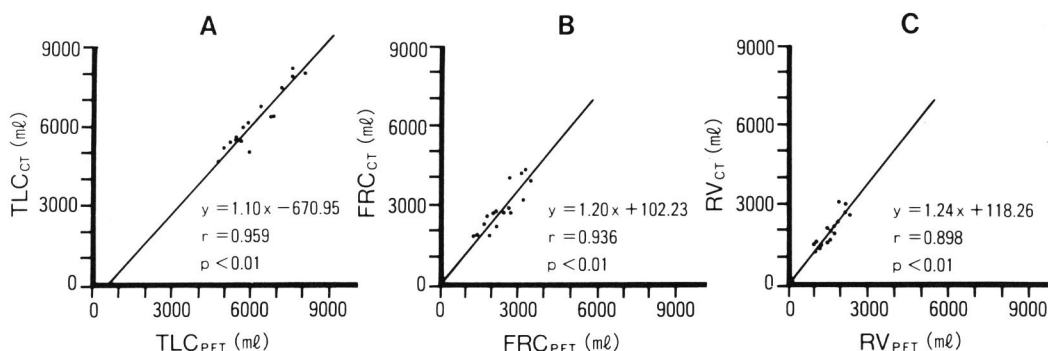


Fig. 6 Correlations between lung volumes measured using X-ray CT and measured by pulmonary function test. A: Correlation between TLC_{CT} and TLC_{PFT} . B: Correlation between FRC_{CT} and FRC_{PFT} . C: Correlation between RV_{CT} and RV_{PFT} .

を検討すると (Fig. 6-A, B, C), TLC_{CT} と TLC_{PFT} ($r=0.959$, $p<0.01$), FRC_{CT} と FRC_{PFT} ($r=0.936$, $p<0.01$), RV_{CT} と RV_{PFT} ($r=0.898$, $p<0.01$) はいずれも非常に良好な相関を示した。

3.2 各呼吸レベルにおける肺葉容積の検討 (Table 1)

努力性呼吸に依存しない安静呼吸気位では左右比は右肺が $54.4 \pm 1.7\%$, 左肺が $45.6 \pm 1.7\%$ と右肺の比率が高く, 各肺葉別では左上葉の占める比率が $25.4 \pm 1.7\%$ と最も高く, 次いで右下葉が $23.1 \pm 2.2\%$, 右上葉 $20.9 \pm 2.5\%$, 左下葉 $20.2 \pm 2.2\%$, 右中葉 $10.5 \pm 2.2\%$ の順であった。吸気レベルが 1/2 最大吸気量位, 最大吸気位へと高くなるにつれて両下葉の占める比率が有意に増加し, 逆に両上葉, 右中葉の占める比率は有意に減少した。

安静呼吸気位から最大呼吸気位へ呼吸レベルが下がると, 右中葉の占める比率は有意に増加したが他の肺葉は安静呼吸気位の比率と有意差はなかった。

左右比は各レベルとも右肺の比率が高かったが, 吸気レベルが高くなるにつれて左肺の占める比率が増加した。

3.3 肺葉容積変化 (CT 測定肺気量) の検討

3.3.1 CT 測定肺活量 VC_{CT} と肺機能測定肺活量 VC_{PFT} との比較

VC_{CT} は $4119.0 \pm 733.3 \text{ ml}$, VC_{PFT} は $4832.5 \pm 805.4 \text{ ml}$ と肺機能測定値の方が軽度大きかった。両者の相関を検討すると $r=0.953$ ($p<0.01$) と非常に良好な相関を示した (Fig. 7)。

ついで VC_{CT} に占める各肺葉の比率を検討した (Fig. 8)。左右比は右肺が $50.7 \pm 1.6\%$, 左肺が $49.3 \pm 1.6\%$ で, 16 例中 11 例で右肺がわずかに優位であった。肺葉別では左下葉の占める比率が $27.7 \pm 2.0\%$ と最も高く, 次いで右下葉が $27.2 \pm 2.2\%$, 左上葉が $21.6 \pm 1.9\%$, 右上葉が $16.6 \pm 2.0\%$, 右中葉が $6.9 \pm 1.3\%$ であった。

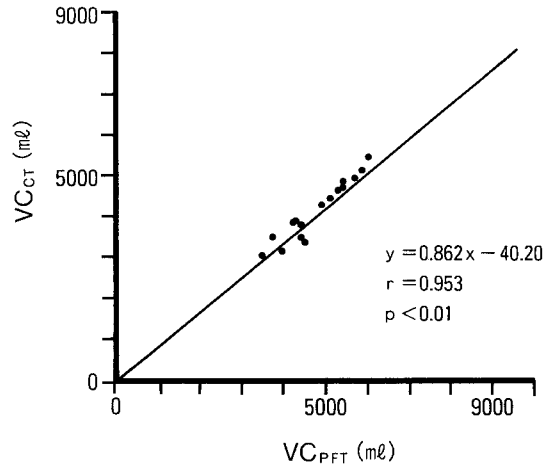


Fig. 7 Correlation between vital capacity measured using X-ray CT and measured by pulmonary function test.

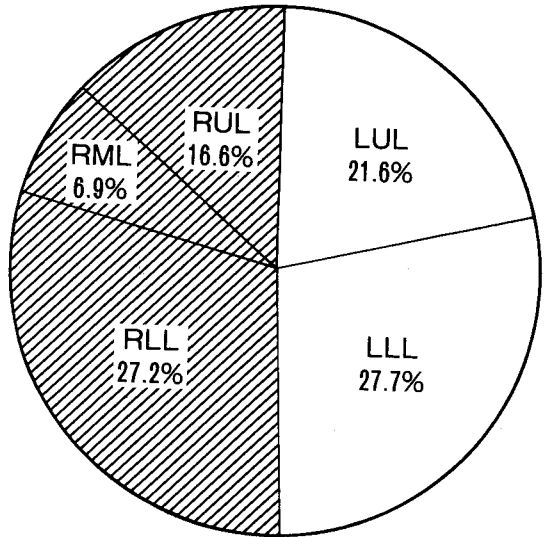


Fig. 8 The ratio of lung lobes to vital capacity.

Table 1 The ratio of lobar volume to total lung volume at the respiratory levels

respiratory level	RL	LL	RUL	RML	RLL	LUL	LLL
maximal inspiratory level	52.3±1.3	47.8±1.3	17.9±1.9	8.4±1.4	26.0±1.8	22.6±1.6	25.2±1.4
half inspiratory capacity level	53.0±1.4	47.0±1.0	19.1±2.2	9.0±1.6	24.9±2.5	24.0±2.1	23.0±2.0
resting expiratory level	54.4±1.7	45.6±1.7	20.9±2.5	10.5±2.2	23.1±2.2	25.4±1.7	20.2±2.2
maximal expiratory level	55.4±2.3	44.6±2.3	20.3±2.0	11.4±2.3	23.7±2.2	24.5±2.4	20.2±1.4

* $p<0.001$, ** $p<0.005$, n.s.: not significant

RL: Right Lung, LL: Left Lung, RUL: Right Upper Lobe, RML: Right Middle Lobe
RLL: Right Lower Lobe, LUL: Left Upper Lobe, LLL: Left Lower Lobe

3・3・2 吸気量, 呼気量に占める各肺葉の比率 (Table 2)

最大吸気量(IC_{CT})に占める右肺, 左肺の比率は若干, 右肺が優位であった。肺葉別では両下葉の占める比率が高かった。最大吸気量を比較的努力の必要ない前半(first half IC_{CT})と, かなり努力を要する後半(second half IC_{CT})とに分けて検討すると, 前半では右肺が優位であったのに対し後半では逆に左肺が優位になる傾向があった。各肺葉別に検討すると前半では両下葉の占める比率が高く, 後半ではさらに左下葉の占める比率が有意に増加し右下葉も増加傾向を示した。逆に両上葉の比率は有意に減少し, 右中葉の比率は大きな変化を示さなかった。

ついで予備呼気量(ERV_{CT})について検討すると左右比は右肺の比率が軽度高く, 各肺葉別では左上葉の占める比率が最も高く, 次いで右上葉, 右下葉, 左下葉, 右中葉の順であった。最大吸気量に占める各肺葉の比率と比較すると, 予備呼気量での両上葉の占める比率の高さが目立った。

4 考 察

4・1 CTによる肺容積測定

胸部CTの普及と共に, 各種肺疾患における病変分布とそれに伴う局所の容積変化の重要性が明らかになってきており, 客観的に肺の葉別の容積変化を評価することが必要になってきた。

正常の左右肺各葉の容積を測定した報告はきわめて少なく, 検索し得た範囲では山下ら⁴⁾及びYamashita⁵⁾による6例の平均値の右上葉609 ml, 右中葉253 ml, 右下葉813 ml, 左上葉707 ml, 左下葉813 mlという報告があるのみである。これらは各葉気管支内にゼラチン液を注入し水置換法でその容積を測定したものであるが, 注入圧や肺局所のコンプライアンスによってその大きさは変わってくるものと考えられる。肺は空気を多量に含んだ実質臓器であるため胸郭外に取り出

すとその容積は容易に変化してしまう。従って生理的条件下での各葉の容積を正確に計測することはX線的方法以外は困難である。

胸部X線像から肺の容積を求めようという試みは古くからあり1960年, Barnhard *et al.*⁶⁾により正面像, 側面像を用いたEllipse methodが発表されて以来, 多くの報告がなされ呼吸機能検査で測定したTLCと比較的良好な相関を示している⁷⁾。またCTの出現以来, CT像を用いた体内臓器の容積測定も肝臓⁸⁾, 脾臓⁹⁾, 脳¹⁰⁾などの多くの実質臓器で行われており, 摘出された臓器の実測値とも良好な相関を示している。浜野ら¹⁰⁾による脳容積の測定では平均百分率誤差2.91%と, ほぼ正確にCTにより臓器容積を測定できることが明らかになっている。肺に関してもCTを用いて肺全体の容積を測定し肺機能検査と良好な相関を示した報告は散見されるが^{11,12)}, 肺葉毎の容積については報告がない。本研究では肺葉毎の容積変化を客観的に評価するために, CTの分解能の向上により肺の葉間面が明瞭に描出できるようになったことに着目し, 生体内での各吸気レベルにおける各葉の大きさを測定することを試みた。その結果, 仰臥位肺機能検査で測定した肺気量とCT測定肺容積はTLC, FRC, RVいずれも良好な相関を示し, CT測定値は, かなり正確に肺容積を反映していると考えられる。

CTで臓器容積を測定する場合, 撮像条件でその容積が変化してしまうことが知られているが, ファントム実験では肺内腫瘍の直径を測定する場合window levelが-600 HUで正確に測定されると報告されている¹³⁾。今回の測定でもwindow levelは-600 HUで撮像しており, 本条件で葉間線は明瞭に描出されることから, ほぼ正確に肺葉辺縁を計測し, 容積を算出していると考えられる。

本法による肺容積の測定では測定値に区域支レベル以下の肺血管容量と肺組織容量が含まれる。肺動脈起始部から肺静脈末梢の間に存在する肺血液量は安静時

Table 2 The ratio of lobar volume to total lung volume in the subdivisions of lung volume

	RL	LL	RUL	RML	RLL	LUL	LLL
IC _{CT}	50.5±1.8	49.5±1.8	15.4±2.1	6.5±1.1	28.6±2.3	20.2±2.0	29.4±2.0
first half IC _{CT}	51.1±1.8	48.9±1.8	16.4±2.5	6.8±1.4	27.8±3.5	21.6±3.4	27.3±3.0
second half IC _{CT}	49.3±3.7	50.7±3.7	13.6±3.4	6.3±1.9	29.5±3.4	18.0±2.4	32.7±4.5
ERV _{CT}	53.0±7.7	47.0±7.7	22.7±5.8	8.5±5.0	21.7±9.1	27.9±7.6	19.2±9.0

*p<0.001 **p<0.005 ***p<0.01 n.s.: not significant

RL: Right Lung, LL: Left Lung, RUL: Right Upper Lobe, RML: Right Middle Lobe

RLL: Right Lower Lobe, LUL: Left Upper Lobe, LLL: Left Lower Lobe

で約 900 ml, 肺毛細血管床中の血液量である肺毛細血管血液量は 75~100 ml¹⁴⁾ といわれているが, 肺血液量の大部分は肺動脈本幹部から主肺動脈, 葉動脈で占められ区域支以下の血液量は数 100 ml と考えられる. また肺組織量は約 400 ml¹⁵⁾ と報告されている. 今回の測定で安静時に相当すると考えられる安静呼吸位で測定した肺容積 FRC_{CT} と肺機能測定 FRC_{PFT} の差は約 600 ml であり, 安静時の区域支以下の肺血液量および肺組織容量に相当する値と推測される. また TLC_{CT} と TLC_{PFT} を比較すると両者はほぼ同一の値を示したが, CT 測定では連続して努力呼吸を行うため吸気が多少, 少なくなり, 一回の最大努力呼吸で測定できる肺機能測定値に比して低値になり, 肺血液量及び肺組織容量分と相殺されたものと考えられる.

4・2 肺葉別肺気量

左右別肺気量を直接測定しようとする試みは, 1932 年, Jacobaeus *et al.*¹⁶⁾ が Bronchspirometry を用いた左右別肺活量の測定法を報告したのが最初であるが, bronchoscope が太く硬いため患者に大きな苦痛を与えたので一般化しなかった. 1949 年, Carlens らによりゴム製の複胴気管支カテーテルがつくられて以来, 1950 年代には本邦でも開胸手術や肺切除術の普及により, 手術の適否を決めるため肺外科領域で Bronchspirometry を用いて左右別, 肺葉別肺機能検査がさかんに行われた^{17,18)}. しかし侵襲性がありすぎ被験者の協力が得られにくく, 測定された値も生理的条件下のものとはいえず, 呼吸抵抗が大きくなり実測値は低く測定されるため左右の比率のみを問題にしていた. Bronchspirometry による左右別肺気量分画の報告では右肺/全肺の比は TLC 52~53%, FRC 53~55%, RV 52~57% と吸気レベルが下がるにつれて右肺の占める比率が増加し, 今回の成績と同様の結果であった^{19,20)}.

各肺気量に占める肺葉別の比率を測定した報告はほとんど認められず, 解剖学的に大きさを測定した前述の山下⁴⁾ の報告では両下葉の容積が最も大きいとされている. 今回の測定では安静呼吸位では左上葉が最も大きく, 次いで右下葉, 右上葉, 左下葉, 右中葉の順であった. 従来報告に比して両下葉, 特に左下葉は小さかったが, これは仰臥位での測定のため腹腔内臓器が頭側へ移動したためと考えられる. 最大吸気位での各葉の比率は山下⁴⁾ の報告にほぼ一致した.

肺葉別肺活量の測定も Bronchspirometry 以外には不可能であり操作の困難さからその報告は少なく, また右中葉の肺活量を測定することは技術的に困難であっ

た. 谷向²¹⁾ によると右上葉 17.3%, 右中下葉 34.2%, 左上葉 18.0%, 左下葉 30.5% と報告されている. 中葉に関しては中葉支にチューブをウエッジさせるのが困難であるため中下葉を一括して測定している. 本研究では吸気レベルの違いによる肺容積の変化から生理的条件下での各肺葉別の肺活量の測定が可能となった. 肺活量に占める各葉の比率は右上葉 16.6%, 右中葉 6.9%, 右下葉 27.2%, 左上葉 21.6%, 左下葉 27.7% であり, 左下葉の比率が最も高く両下葉で 50% 以上を占めている. 右中葉は安静呼吸位では容積として 10.5% を占めるにも拘らず肺活量では 6.9% しか占めず中葉の動きが少ないことが示唆された. 逆に左下葉は安静呼吸位では 20.2% と左上葉, 右下葉, 右上葉に次いで 4 番目の大きさなのにも拘らず肺活量では 27.7% と最大を占め, 動きの大きいことが示唆された.

肺は脊柱, 肋骨, 胸骨, 横隔膜等よりなる胸郭内に存在し, 呼吸筋による胸腔の拡張・収縮により呼吸運動を行っており, 横隔膜の働きにより主に頭尾方向に伸縮し, 肋間筋の働きにより前後左右に伸縮する²²⁾. 最大吸気量を前半と後半に分けた検討では, 努力吸気である後半に占める両下葉, 特に左下葉の比率が高かったのは, 努力吸気における横隔膜の働きが大きいためと考えられる. 安静呼吸では通常, 呼吸は受動的に行われるが, 強制呼出では肋間筋の収縮により胸郭の前後径, 横径が縮まり, また, 腹壁筋の収縮により腹腔内圧が上昇し横隔膜が上方へ押し上げられ容積が減少する²²⁾. 最大吸気量と予備呼気量に占める各葉の比率を比較すると吸気量に占める両上葉の比率は全体の約 35% であるのに対して, 呼気量に占める両上葉の比率は 50% を越え, 上葉の呼気への関与が目立って大きかった. これは仰臥位で測定したため安静呼吸位では腹腔臓器の頭側への移動により横隔膜が上方へ押し上げられていたためと, 呼気での肋間筋収縮による上部胸郭の縮みの影響が強くてためと考えられる. このように吸気, 呼気に占める各肺葉の比率には差があり, 各肺葉の拡張, 収縮が不均等におこることが明らかになった. これは各肺葉の気管支の径・長さによる呼吸抵抗の違い, 周囲胸郭の動きによる局所の伸縮のしやすさ, 局所のコンプライアンス等の違いによるものと考えられる.

4・3 臨床応用

現在, CT の呼吸器疾患の画像診断に対する有用性は確立されつつあり, 特にびまん性肺疾患においてはその有用性は高く, 陰影の性状と共に陰影の分布を明

らかにする上で必要不可欠なものとなってきている。なかでも特発性間質性肺炎¹⁾、膠原病に伴う間質性肺炎²³⁾では容積減少、特に下葉の容積減少が注目されている。また小葉中心性肺気腫では両上葉に病変が強く、容積の増加を来してくるが²⁴⁾、これら各肺葉毎に、病変分布に差がある場合、従来の単純X線写真でこれを評価することは困難であった。CTにおいても肺葉容積の変化は葉間線の偏位や気管支血管影の収束、散開など肺既存構造の変化で経験的、主観的に判断されてきたが、本法により測定された肺葉容積は十分信頼できる値であり、肺葉容積の変化を定量的かつ客観的に判断することができ、病変の進行度や病変部の容積の経時的変化を把握することが可能と思われる。

また、近年肺癌症例の増加と外科療法の進歩により高齢者肺癌の手術例が増えてきているが、高齢者の肺切除術では術後の肺機能低下が問題となることが多い。各肺葉毎の肺活量に占める割合を知ることは肺葉切除後の肺活量の予測へとつながり手術適応、手術術式を決める上で重要である。最大吸気位と最大呼気位のCTを撮像することにより肺葉別の肺活量の生理的、非侵襲的な測定が可能となり臨床的にも有用な方法と考えられる。

5 要 約

1) 一般肺機能検査で異常を認めない健常有志者16人を対象として胸部X線CTを用い生理的条件下で四つの呼吸レベルの肺葉別肺容積を測定した。

2) 最大吸気位、安静呼気位、最大呼気位でのCT測定肺容積と肺機能測定肺気量とは良好な相関を示し、さらにCT測定肺活量と肺機能測定肺活量も良好な相関を示し、本法は肺容積の測定に有用と考えられた。

3) 各呼吸レベルで各肺葉の全肺に占める容積比を検討したところ、呼吸努力にほとんど依存しない安静呼気位では左上葉の比率が25.4%と最も高く、次いで右下葉23.1%、右上葉20.9%、左下葉20.2%、右中葉10.5%の順であった。吸気レベルが高くなるにつれて両上葉、右中葉の占める比率は減少し、両下葉の占める比率が増加した。

4) 肺活量に占める各肺葉の比率は左下葉が27.7%と最も高く、次いで右下葉27.2%、左上葉21.6%、右上葉16.6%、右中葉6.9%であり肺活量において両下葉の関与が大きく、中葉の関与の小さいことが明らかとなった。

5) 最大吸気量と予備呼気量に占める各肺葉の比率を比較すると、最大吸気量では両下葉が最も大きく関

与し、予備呼気量では両上葉が最も大きく関与した。

6) CTを用いた肺葉容積の測定は有用な方法であり、今後の臨床応用が期待される。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導・御校閲いただきました本学内科学第3講座 鈴木 明教授に深く感謝致します。またCT検査、肺機能検査に御協力いただきました本学放射線部の坂田元道診療放射線技師、本学機器診断部の黒田敦子臨床検査技師、容積測定に用いた3次元画像処理プログラム shadow systemを開発、御提供いただきました札幌宮の沢病院放射線部の古瀬 司診療放射線技師、ならびに被験者として御協力いただきました諸先生をはじめ本学内科学第3講座の教室員各位に深く感謝致します。

文 献

1. 小場弘之, 加藤誠也, 渡辺英明, 原田尚雄, 森 裕二, 山岸雅彦, 森 雅樹, 鈴木 明: HRCTを利用した診断法—特発性間質性肺炎—. **臨放** 34, 763-771 (1989).
2. 本間日臣: びまん性汎細気管支炎. **日内会誌** 75, 1347-1364 (1986).
3. 尾辻秀章, 吉村 均, 岩崎 聖, 畠山雅行, 吉川公彦, 村田敏彦, 木下 豊, 居出弘一, 西峯 潔, 玉田俊明, 西村幸洋, 細木靖弘, 大石 元, 打出日出夫: 肺微細構造描出に対する Thin Slice 高分解能CTの実験的ならびに臨床的研究. **日本医放会誌** 49, 23-34 (1989).
4. 山下英秋, 高瀬 昭, 尾川 寿, 鈴木 明, 島 正吾: 気管支肺胞系の構造. **結核研究の進歩** 20, 1-26 (1957).
5. Yamashita, H.: Anatomy of the lung and pulmonary segments. In: Roentgenologic anatomy of the lung, 34-45, Igaku-shoin, Tokyo (1978).
6. Barnhard, H. J., Pierce, J. A., Joyce, J. W. and Bates, J. H.: Roentgenographic determination of total lung capacity. **Am. J. Med.** 28, 51-60 (1960).
7. Loyd, H. M., String, S. T. and Dubois, A. B.: Radiographic and plethysmographic determination of total lung capacity. **Radiology** 86, 7-14 (1966).
8. Heymsfield, S. B., Fulenwider, T., Nordlinger, B., Barlow, R., Sones, P. and Kutner, M.: Accurate measurement of liver, kidney, and spleen volume and mass by computerized axial tomography. **Ann. Intern. Med.** 90, 185-197 (1979).

9. Breiman, R. S., Beck, J. W., Korobkin, M., Glenny, R., Akwari, O. E., Heaston D. K., Moore, A. V. and Ram, P. C.: Volume determinations using computed tomography. **AJR** **138**, 329-333 (1982).
10. 浜野建三, 川嶋浩一朗, 岩崎信明, 竹谷俊樹: 連続的CT像による脳容積の測定, **医学のあゆみ** **150**, 507-508 (1989).
11. Wandtke, J. C., Hyde, R. W., Hahey, P., Utell, M. J., Plewes, D. B., Goske, M. J. and Fischer, H. W.: Measurement of lung gas volume and regional density by computed tomography in dogs. **Invest. Radiol.** **21**, 108-117(1986).
12. Denison, D. M., Morgan, M. D. and Millar, A. B.: Estimation of regional gas and tissue volumes of the lung in supine man using computed tomography. **Thorax** **41**, 620-628 (1986).
13. Koehler, P. R., Anderson, R. E. and Baxter, B.: The effect of computed tomography viewer controls on anatomical measurements. **Radiology** **130**, 189-194 (1979).
14. Forster II, R. E., Dubois, A. B., Briscoe, W. A. and Fisher, A. B.: The pulmonary circulation. In: *The lung*. 136-162, Year Book Medical Publishers, INC., Chicago London (1986).
15. Sackner, M. A., Feisal, K. A. and Dubois, A. B.: Determination of tissue volume and carbon dioxide dissociation slope of the lungs in man. **J. Appl. Physiol.** **19**, 374-380 (1964).
16. Jacobaeus, H. C., Frenckner, P. and Bjorkmen, S.: Some attempts at determining the volume and function of each lung separately (Bronchspirometry). **Acta. Med. Scand.** **79**, 174-218 (1932).
17. 卜部美代志, 林 周一, 久野敬二郎, 菅 邦夫: 気管支肺容量測定に関する研究. **胸部外科** **3**, 280-286 (1950).
18. 松室正智, 原田昌亮: 日本人健康者における左右別肺内ガス分布曲線について. **呼と循** **14**, 77-83 (1966).
19. Svanberg, L.: Influence of posture on the lung volumes, ventilation and circulation in normals. **Scand. J. Clin. Lab. Invest. (Suppl. 25)** 84-105 (1957).
20. Orinius, E. and Stahle, I.: Determination of bilateral residual volume. **Am. Rev. Tuberc.** **78**, 368-375 (1958).
21. 谷向茂作, 堀沢真澄, 辰井半五郎: Bronchspirometryに就いて, **呼と循** **4**, 282-295 (1956).
22. Siebens, A. A.: The mechanics of breathing. In: Best, C. H. and Taylor, N. B.: *The physiological basis of medical practice*, 993-1006, The Williams & Wilkins Company, Baltimore (1966).
23. 小場弘之, 加藤誠也, 渡辺英明, 森 裕二, 四十坊典晴, 田中裕士, 山岸雅彦, 森 雅樹, 鈴木 明: 進行性全身性硬化症(PSS)に伴う肺線維症のCT像. **臨放** **34**, 107-113 (1989).
24. Thurlbeck, W. M.: The incidence of pulmonary emphysema. **Am. Rev. Respir. Dis.** **87**, 206-215 (1963).

別刷請求先:

(〒060)札幌市中央区南1条西16丁目

札幌医科大学内科学第3講座 渡辺英明