

## 重力効果を利用した慢性心不全における肺野濃度上昇に対する超高速 CT を用いた定量的評価法についての臨床的検討

三品 淳資<sup>1)</sup>, 村田喜代史<sup>1)</sup>, 森田 陸 司<sup>1)</sup>

1) 滋賀医科大学放射線医学講座

### Clinical Evaluation for vertical gradient of Lung CT Density in Patients with Chronic Heart Failure using Ultrafast CT

Atsushi MISHINA<sup>1)</sup>, Kiyoshi MURATA<sup>1)</sup>, Rikushi MORITA<sup>1)</sup>

Department of Radiology, Shiga University of Medical Science

**Abstracts:** The diagnosis of mild increase in the lung CT density, which is seen in patients with heart failure, is difficult because it is influenced by window settings and respiratory levels. The purpose of this study was to develop a quantitative method which is independent from alteration of respiratory levels. High resolution ultrafast CT was performed in 7 volunteers and 192 patients with heart disease using 0.1 msec-scanning time without breath-holding. Lung fields were divided into three ROIs (anterior, intermediate, and posterior lung) at the three constant slice levels. About all subjects, mean lung density of anterior lung and that of posterior lung was measured, and the difference between mean lung density of anterior lung and that of posterior lung was calculated. It was found that strong linear relationship between the lung density of posterior lung and the difference in both the volunteers ( $r=0.94-0.98$ ) and the patients ( $r=0.72-0.88$ ). Moreover, the 192 patients were divided into two groups; "cardiac dyspnea group", who had present illness or past history of cardiac failure from chronic heart failure, and "no dyspnea group", who had no such history. In each lung field, the regression line in "cardiac dyspnea group" was below that in "no heart failure group". And, each Y-intercept of the former was statistically lower than the latter in upper and middle slice levels ( $p<0.05-0.001$ ). In conclusion, correlation between "the difference between mean lung density of anterior lung and that of posterior lung" and "mean lung density of posterior lung" was useful index to estimate the change of lung CT density in chronic heart failure without respiratory influence.

**Key words:** ultrafast CT, CT density, gravitation effect, chronic heart failure, respiration

---

Received July 2, 1997; Accepted after revision October 13, 1997

Correspondence: 滋賀医科大学放射線医学講座 三品 淳資 〒520-2192 大津市瀬田月輪町

## はじめに

早期の間質性肺炎や肺水腫では、CT画像上、淡い濃度上昇やスリガラス陰影が出現する事があり<sup>5,7)</sup>、CT診断をする上で唯一の所見である場合も少なくない。したがって、これらの軽い濃度上昇をCTで捉える事は临床上重要であると考えられる。しかし、ウィンドウ設定や呼吸相の違いによる影響のため、軽い濃度変化は軽ければ軽いほどモニターやフィルム上で捉えることは難しくなる。この問題を解決するためには、CT値測定による客観的判断が必要である。

ところで、肺野のCT値測定にはいくつかの問題点がある。一つは部位によるCT値の違い、特に重力方向に沿ったCT値分布(重力効果)の問題である。もう一つは同じ部位のCT値が吸気量の違いによって大きく変化する点である<sup>2,3,8,10)</sup>。そこで、重力方向に沿った肺野CT値分布の問題を解決するために、肺野を分割してCT値を測定する方法がよくとられる。一方、吸気量による肺野CT値の変化についての問題を解決するために、スパイロメトリーなどで測定された吸気量の目安と、肺野CT値との関係を利用する方法が知られている<sup>8,10,13)</sup>。しかし、この方法は患者の協力を必要とするため呼吸困難患者や重症患者に応用するのは難しいという欠点がある。

今回、我々は局所の肺野CT値とその重力方向における較差との関係を健常者で見出し、さらに、その関係を用いて心不全患者と心不全のない患者を区別できるかどうかを検討したので報告する。

## 対 象

健常者の局所肺野CT値と呼吸相の関係を明らかにするために、7名の健常者に呼吸同期下超高速CTを施行した(研究1)。研究1の対象は男性2名、女性5名、年齢は48-81才(平均64才)で、CT上異常像は認められなかった。

“慢性心不全患者”の局所肺野濃度の変化を明らかにするために、1990年から1995年に滋賀医科大学附属病院第一内科に入院した患者の中で入院中に超高速CT、心臓カテーテル検査及び心エコー検査を

施行された192名について検討した(研究2)。なお、これらの検査の間に手術やInterventional Radiologyを受けた患者や、“淡い肺野濃度の上昇やスリガラス陰影”以外のCT異常所見(浸潤影、胸膜病変、胸水や肺気腫像など)が認められた患者、そして、慢性心不全とは肺野濃度分布が違う<sup>14,15)</sup>と考えられている急性心不全(急性心筋梗塞)の患者は対象から除外された。

研究2の対象は男性128名、女性64名で、年齢は17-83才(平均58才)であり、疾患の内訳は陳旧性心筋梗塞または狭心症90名、僧帽弁疾患18名、拡張型心筋症11名、心房中隔欠損症8名、その他の循環器疾患(不整脈、心臓神経症、スポーツ心など)65名であった。

研究2の対象をさらに、慢性心不全患者と心不全のない心疾患患者とに分けるため、「心性呼吸困難(左心不全症状)の既往または現症の有無」のある患者を“呼吸困難群”とし、心不全症状の既往および現症のない患者を“非呼吸困難群”とした(呼吸器疾患による呼吸困難は含んでいない)。“呼吸困難群”の入院時のNYHA心機能分類、心駆出率(Ejection Fraction, 以下EF)および肺動脈楔入圧(Pulmonary capillary wedge pressure, 以下PCWP)の平均および標準偏差は各々、 $1.8 \pm 0.9$  (NYHA I; 28名, II; 19名, III; 12名, IV; 2名),  $0.50 \pm 0.14$ ,  $9.8 \text{ mm Hg} \pm 5.6$ であり、心不全の重症度は主として軽度から中等度と考えられた<sup>6,11)</sup>。“非呼吸困難群”のEFおよびPCWPは各々 $0.60 \pm 0.13$ ,  $6.4 \text{ mm Hg} \pm 3.4$ であった。呼吸困難群の疾患別の内訳は僧帽弁疾患18名、拡張型心筋症9名、陳旧性心筋梗塞(虚血性心筋症)18名、他の心筋症9名、心房中隔欠損症4名、他の循環器疾患6名で、慢性うっ血性心不全を合併した弁膜症や心筋症が多かった。非呼吸困難群の内訳は陳旧性心筋梗塞または狭心症72名、拡張型心筋症2名、心房中隔欠損症4名、他の循環器疾患(不整脈、心臓神経症、スポーツ心など)50名であった。

なお、“呼吸困難群”と“非呼吸困難群”の間には、年齢(呼吸困難群;  $57.1 \pm 11.5$ , 非呼吸困難群;  $58.1 \pm 12.3$ ,  $\chi^2 = 5.84$ ,  $P > 0.5$ ,  $t = 0.54$ ,  $P > 0.5$ )および性別(呼吸困難群; 男性38名, 女性23名, 非呼吸困難群; 男性92名, 女性39名,  $\chi^2 = 1.53$ ,  $P > 0.1$ )について統計学的な有意差はなかった。

## 方 法

### CT 撮像方法

CT の撮像は超高速 CT スキャナー (Imatron C-100, Imatron 社製, San Francisco, CA) を使用して行われた。CT 画像は背臥位で呼吸停止なし、スキャン時間0.1秒で得られた。この非常に短いスキャン時間で撮像された CT 画像は、呼吸や心拍動によるモーションアーチファクトがなく、息止めなしの条件であっても従来のコンベンショナル CT の画像より鮮明な画像が得られた。研究 1 では、全肺野を 6 mm スライス、2 mm ギャップでスキャンし、呼吸同期システムを使って息止めなし、tidal breathing の状態で吸気と呼気の 2 回撮像した。我々の施設の呼吸同期システムの詳細は森らによって報告されているが<sup>4)</sup>、以下にその要点を説明する。心電図・呼吸モニター (Life Scope, OMP-7201, 日本光電社製, 東京) を使って得られた呼吸カーブはトリガー機器 (SMV-104-Do, Dornier, Medizintechnik, Gross Groenau, Germany) に転送されトリガーパルスに変換される。トリガー機器より発信されたトリガーパルスによって超高速 CT のスキャンはコントロールされ、トリガーポイントを呼吸カーブの山に設定する事で吸気の CT 画像が得られ、カーブの谷に設定することで呼気の CT 画像が得られる (図 1)。研究 2 では、スキャンは心臓をカバーする範囲で行われ、3 mm スライス、ギャップなし、息止めなし、心電図同期下で行われた。この条件では、呼吸同期は行われず自然呼吸の下で任意の呼吸相の CT 画像が得られたことになる。

研究 1, 2 の CT 値測定は 3 ヶ所のスライスレベル、つまり右主気管支が横走するレベル (upper slice level)、右中葉気管支が横走するレベル (middle slice level) および肺底部 (lower slice level) で行われた。関心領域 (Region of Interest, 以下 ROI) は大または中血管をなるべく含まないために、左右それぞれの外層肺野 (肺野辺縁から 2 cm 内側にかけまで) に設定され、重力 (前後) 方向に 3 分割された (図 2)。腹側の ROI を anterior lung, 背側の ROI を posterior lung とした。また、CT 値測定の再現性を保つために、ROI は葉間裂を含まないよう

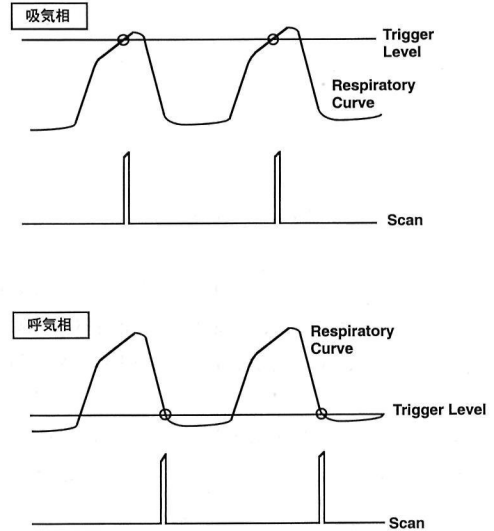


図 1 呼吸同期システムの原理

吸気相では呼吸カーブの山に Trigger Level を設定し (上図)、呼気相ではカーブの谷に Trigger Level を設定することによって、各々の相に対応したスキャンが得られる。(○印は Trigger Point)

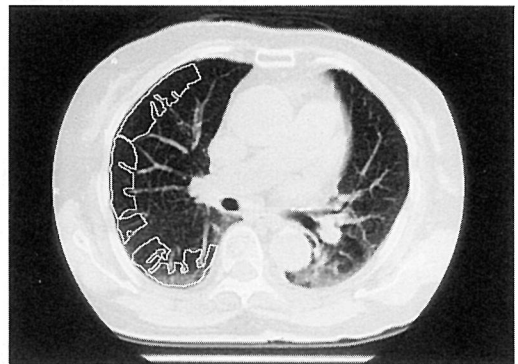


図 2 ROI の設定方法

片側肺野を 3 分割し、外層肺野に ROI をとった。ROI 内に入ってくる径 1 mm 以上の肺血管は手動的に除かれた。

に、またその面積は 500mm<sup>2</sup> を超えるように選択された。さらに肺血管の CT 値に及ぼす影響を除くために、径が 1 mm を超える肺血管はモニター上 (Window 1500, Level -500) で手動的に ROI から除かれた。

腹側肺野の ROI における平均 CT 値を Lung density of anterior region (以下, LDA) 背側肺野

のROIにおける平均CT値をLung density of posterior region (以下, LD-P)とし, LD-PからLD-Aを差し引いた値をLung density difference (腹側-背側CT値較差, 以下LDD)した。

をもって有意差ありと判定した。

結 果

解析方法

研究1では, LD-AとLDD, LD-PとLDDとの線形相関を導き出し, 回帰曲線の推定値標準誤差 (standard error of estimate, 以下SEE)を計算した。

研究2では, “呼吸困難群”および“非呼吸困難群”においてLD-AとLDD, LD-PとLDDとの線形相関を導き出し, 回帰曲線のSEEを計算した。さらに, LD-PとLDDとの回帰曲線の傾きおよびY切片の値について, unpaired t-testを使って“呼吸困難群”と“非呼吸困難群”の間で比較した。p < 0.05

研究1

表1 aは健常者7名におけるLDDとLD-Aとの間の相関関係を示したものである。線形相関は成立しないか, 弱いものであった (r = 0.07-0.72)。一方, LDDとLD-Pとの間には非常に強い線形相関が成立した (表1 b)。図3はupper slice levelの右肺におけるLDDとLD-Pの相関関係を示した (Y = 0.71X + 631, r = 0.98, SEE = 12.7 H.U.)。以上より, 全てのスライスレベルにおいて7名の健常者のLDDとLD-Pの間には強い相関関係が存在した。また, これらの値は図3でわかるように, LDDとLD-Pは呼吸相に従って回帰直線上を滑るように変化し, その回帰直線は呼吸相の違いにかかわら

表1 a 7人の健常者におけるLD-AとLDDとの相関。

lung side	slice level	LDDとLD-Aとの線形相関 健常人		
		傾き	Y-切片	r
right	upper	1.75	1,589	0.72
	middle	0.25	354	0.1
	lower	1.16	1,142	0.31
left	upper	0.14	251	0.07
	middle	1.25	1,141	0.5
	lower	1.42	1,278	0.59

相関については, 吸気相, 呼気相の両方の値が使われている。  
(LD-A; 腹側肺野の平均CT値, LDD=背側肺野の平均CT値と背側肺野の平均CT値との較差, r = correlation coefficient)

表1 b 7人の健常者におけるLD-PとLDDとの相関。

lung side	slice level	LDDとLD-Pとの線形相関 健常人			
		傾き	Y-切片	r	SEE
right	upper	0.71	631	0.98	12.7
	middle	0.84	729	0.94	24.7
	lower	0.87	761	0.97	23.6
left	upper	0.79	677	0.94	20.2
	middle	0.77	656	0.96	24.7
	lower	0.75	646	0.97	15.5

相関については, 吸気相, 呼気相の両方の値が使われている。  
(LD-P; 背側肺野の平均CT値, LDD=腹側肺野の平均CT値と背側肺野の平均CT値との較差, r = correlation coefficient, SEE = standard error of the estimate)

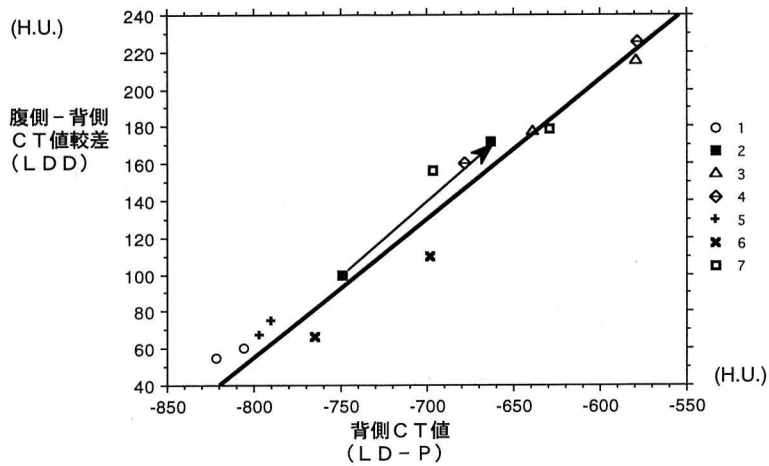


図3 健常者7名における腹側一背側CT値較差(LDD)と背側CT値(LD-P)との関係  
 図中のシンボルと番号は各々の患者の点をあらわし、1人の患者に対し吸気相と呼気相の2点が示されている。2点のうち左下の点は吸気相における点で、右上の点は呼気相における点である。患者2(矢印)で示したように、全ての患者で吸気相の点から呼気相の点へと、回帰直線(太線)に沿って右上へ移動していることがわかる。2点間の距離は呼吸の深さやトリガーポイントの位置によって変わるが、それらの違いにもかかわらず、全ての点は回帰直線から極めて近い距離に分布している。

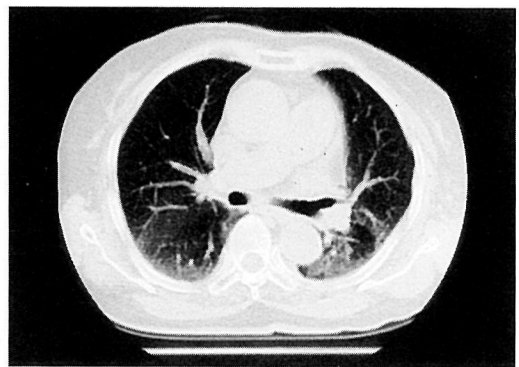
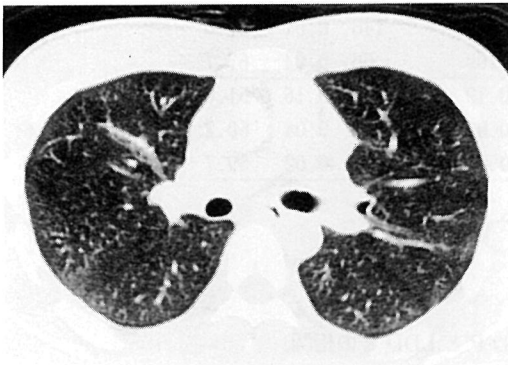


図4左 吸気相における代表的な肺野のCT画像

図4右 呼気相における代表的な肺野のCT画像

呼気相では吸気相に比べ、腹側肺野と背側肺野間の濃度差が広がることを視覚的に認識できる。

ず一定である事がわかった。図4に代表的な吸気および呼気の肺野CT画像を示した。

## 研究2

循環器疾患群192名では、LDDとLD-Aとの間には全てのROIで相関関係は成立しなかった( $R=0.01-0.16$ ) (表2 a)。一方、LDDとLD-Pとの間には全患者群において全てのROIで強い線形相関が成立した(表2 b)。さらに、全患者群を呼吸困難群と非呼吸困難群に分けた場合、全てのROIで2群それぞれに強い線形相関が成立した。

図5はupper slice levelの右肺における両群のLDDとLD-Pとの強い相関を示したものである。呼吸困難群の回帰直線は非呼吸困難群の回帰直線の下方に位置し、両者は生理的な肺野CT値の範囲で(-900~-400)交叉しなかった。両群の回帰直線の傾きの間には統計学的な有意差はなかったが、Y切片については呼吸困難群の値が非呼吸困難群の値よ

り有意に小さかった( $t=1.98, p<0.05$ )。

表4は全てのROIにおける両群の回帰直線の傾きおよびY切片の統計学的差異を示したものである。なお、全てのROIにおいて呼吸困難群の回帰直線は非呼吸困難群の回帰直線より下方に位置した。Y切片について検討すると、upper slice levelおよびmiddle slice levelにおいて、呼吸困難群の値は非呼吸困難群の値より統計学的に有意に小さかった。一方、lower slice levelでは呼吸困難群のY切片と非呼吸困難群のY切片の間には統計学的有意差はなかった。傾きに関する検定の結果、2カ所の肺野以外は統計学的に両群の回帰直線はparallelと考えられるため、Y切片の間に有意差が証明された場合には各々の回帰直線は統計学的に別の集団の回帰直線とみなす事ができた。

なお、図6で呼吸困難群および非呼吸困難群におけるLDD値(一変量)の分布を示した。また、図7で研究2の対象の中で、肺野濃度上昇が最も顕著に

表2 a 循環器疾患患者におけるLD-AとLDDとの相関。

lung side	slice level	LDDとLD-Aとの線形相関			
		全患者			
		傾き	Y一切片	r	SEE
right	upper	0.14	209	0.09	52.6
	middle	0.02	146	0.01	67.0
	lower	-0.09	66	0.04	67.7
left	upper	0.19	267	0.16	51.0
	middle	0.05	153	0.04	60.2
	lower	-0.53	92	0.02	59.7

表2 b 循環器疾患患者におけるLD-PとLDDとの相関。

lung side	slice level	LDDとLD-Pとの線形相関			
		全患者			
		傾き	Y一切片	r	SEE
right	upper	0.65	567	0.83	28.5
	middle	0.75	646	0.87	31.5
	lower	0.85	721	0.88	32.5
left	upper	0.61	532	0.79	32.9
	middle	0.58	514	0.75	37.3
	lower	0.58	501	0.72	41.7

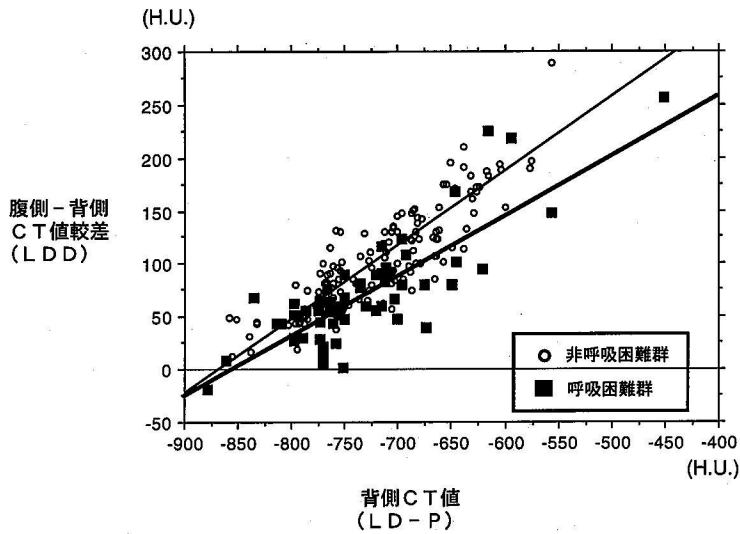


図5 非呼吸困難群および呼吸困難群のLDD/LD-P間の回帰直線の比較 (right lung, upper slice level)

二変量による分布を利用したこの図では、64名の呼吸困難群のうち15名ほどの患者が非呼吸困難群の範囲と重ならず、LDDとLD-Pの相関関係を使うことでこれらの患者の定量的なスクリーニングが可能となる。

(細線は非呼吸困難群の回帰直線、太線は呼吸困難群の回帰直線)

表3 呼吸困難群および非呼吸困難群におけるLDDとLD-Pとの線形相関、LDDとLD-Pとの線形相関

lung side	slice level	呼吸困難群				非呼吸困難群			
		傾き	Y-切片	r	SEE	傾き	Y-切片	r	SEE
right	upper	0.56	479	0.82	29.7	0.65	573	0.86	24.5
	middle	0.58	509	0.78	25.9	0.78	673	0.91	33.7
	lower	0.77	648	0.83	26.9	0.84	718	0.91	37.8
left	upper	0.46	407	0.63	25.4	0.64	562	0.87	36.1
	middle	0.47	418	0.64	30.3	0.61	548	0.83	42.7
	lower	0.57	477	0.68	38.4	0.58	510	0.75	44.3

表4 呼吸困難群と非呼吸困難群の間の回帰係数の差の検定。

lung side	slice level	呼吸困難群と非呼吸困難群の間の回帰係数の差の検定					
		傾き		Y-切片			
		t 値	p	t 値	p		
right	upper	1.35	NS	1.98	<0.05		
	middle	3.22	<0.002	3.70	<0.001		
	lower	1.02	NS	1.45	NS		
left	upper	2.60	<0.02	3.12	<0.005		
	middle	1.91	NS	2.53	<0.02		
	lower	0.11	NS	0.54	NS		

(NS: not significant)

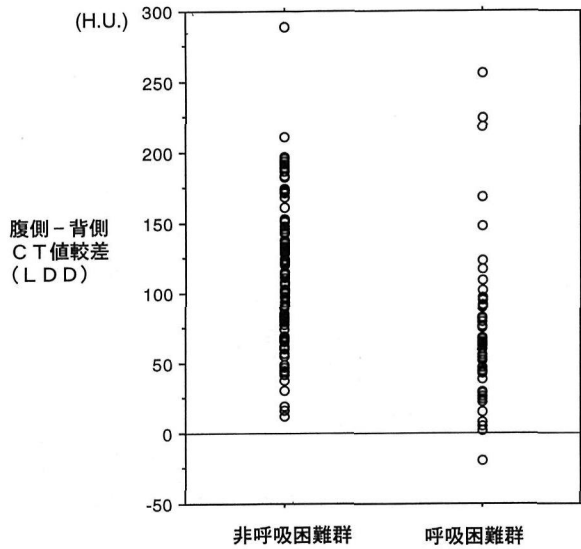


図6 呼吸困難群および非呼吸困難群における腹側-背側CT値較差(LDD)の分布 (right lung, upper slice level)  
 変量による分布を利用したこの図では65名の呼吸困難群のうち4名の患者しかスクリーニングできない。

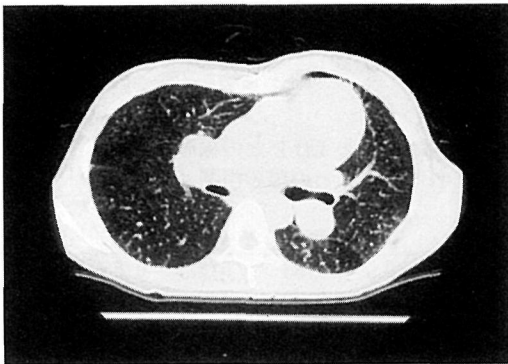


図7 慢性心不全患者のCT像の1例  
 患者はNYHA III度の心性呼吸困難を示し、CT上は明らかな淡い肺野濃度の上昇や、肺動脈の拡張などの所見が認められる。

現われた心不全患者のCT画像を示した。

### 考 察

肺の体積の大半(5-9割)は空気で構成され、肺野CT値は吸気量の違いで大きく変化する<sup>2,3,8,13)</sup>。そのため、軽-中等度の心不全で見られる軽い肺野

濃度の上昇は、呼吸による生理的な肺野濃度変化の中に埋もれてしまう。つまり、軽い濃度変化を定量化するためには呼吸レベルを揃える必要があるが、息止めを利用したCT値の測定方法では、吸気量の少ない患者(重症または呼吸困難患者)のCT値は健常者よりも必然的に高くなるため、それらの患者への応用には限界がある。また、VerschakelenやWollmerはスパイロメトリーなどを使って呼吸相を揃えたCT値測定法を考案し、局所の肺野CT値が呼吸レベルの指標(% Vital Capacityや気道内圧)に比例して直線的に上昇する事を報告しているが<sup>8,13)</sup>、これらの方法も患者に負担を強いるため重症患者などには応用しにくい。

これに対して、我々は呼吸レベルの問題を解決するため、吸気量によって大きく変化する重力方向の濃度分布(重力効果)を利用した。背臥位におけるこの重力方向に沿った濃度分布は、'腹側肺'には肺胞内圧のみが加わるのに対して、'背側肺'には腹側肺の重み(重力の影響)と肺胞内圧の2つの力が加わる結果、起こると考えられている<sup>2,3)</sup>。

つまり、吸気相では腹側と背側の肺胞には同じ肺胞内圧が加わる事で同じ程度に膨らんでいるが、呼気相では腹側肺の重みが加わる背側肺は大きく虚脱



し、肺の重みが変わらない腹側肺の虚脱は小さくて済む。したがって、背側肺の濃度 (LD-P) の呼吸による変化量は大きく、腹側肺の濃度 (LD-A) の変化量は小さく、LD-P と LD-A の差として成立する LDD の呼吸による変化量は、変化量の大きい LD-P によって主に決定される。この事が LD-P と LDD との間に強い相関関係をもたらし、LD-A と LDD との間の相関関係を成立させなかった原因だと考えられる。

一方、肺うっ血 (肺内水分量の増加) が生じた場合を考えると、Wollmer らの SPECT の研究から慢性心不全患者の肺内水分量は、腹側も背側も共に同程度に健常者より上昇すると考えられる<sup>12,15)</sup>。それを LDD と LD-P の相関関係に当てはめた場合、腹側および背側の CT 値が同じ程度に上昇するため LDD が一定 (LDD の変化量が 0) のまま LD-P のみが増加するため、仮に健常者に肺うっ血が乗じた場合にはその患者の点は図 8 のように健常者の回帰直線から離れて X 軸方向 (右方) にシフトすると考えられる。我々の研究 2 の呼吸困難群も慢性心不全を対象としており、Wollmer らの研究と同じように腹側および背側の濃度が同程度に上昇したと考えれば、呼吸困難群の回帰直線が非呼吸困難群より右方へシフトした事実を説明し得ると考えられる。

次に、研究 2 における群分けと、呼吸困難群と非呼吸困難群の間のオーバーラップの問題について考察する。Vuorela は代償された心不全患者 (NYHA I 群) 23 名中 10 名に X 線上、肺うっ血や間質性肺水腫の所見が見られると報告しており<sup>9)</sup>、軽度の肺うっ血を評価するためには NYHA I 群の患者の存在を軽視する事はできないと考えられる。当初、我々は研究 2 の対象に対して NYHA I 群と NYHA II-III 群との間で群分けを行ったが、満足できる結果は得られなかった。そして、検討の結果、左心不全の増悪の既往があり現在は NYHA I 群の僧帽弁疾患患者や心筋症患者の LDD/LD-P 値の多くが、心不全のない患者群の回帰直線から離れる事を見出した。つまり、我々の研究 2 の対象についても Vuorela の報告のように“肺うっ血のある NYHA I 群患者”が多く含まれていると推測されたため、「心性呼吸困難 (左心不全症状) の既往または現症」を群分けの指標とし、NYHA I 群患者を心不全群に含む事で統計学的にも有意差を得る事ができた。しかし、逆にこの群分けでは呼吸困難群の中に“肺うっ血のない NYHA I 群患者”や、症状の発現から CT 撮像までの間に肺うっ血が改善した患者を含んでしまうため、心不全群と非心不全群のオーバーラップが大きくなったと考えられる。したがって、研究 2 の結

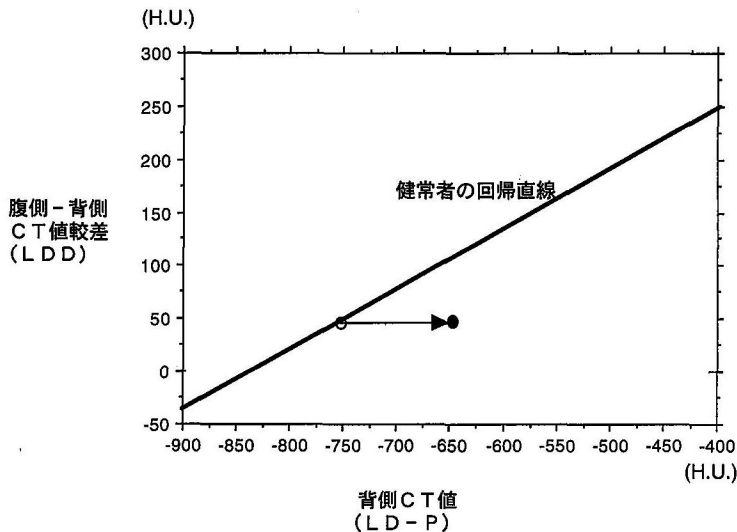


図 8 慢性心不全を想定した場合の LDD/LD-P の分布の変化に関するモデル

仮に健常者に肺うっ血が起こり、LD-A, LD-P が共に 100H.U. づつ上昇した場合には、健常者の回帰直線より X 軸に沿って右へ 100H.U. シフトする。一方、LDD の変化量は 0 であるため、Y 軸方向へはシフトしない。

果よりもさらにオーバーラップを小さくするためには、prospective study によって入院直後などの心不全症状の強い時期を選んで CT 検査を施行したり、CT 検査の直前に運動負荷を行って肺うっ血を誘発するなどの工夫を行うか、または、肺内水分量の上昇を直接的に捉える事ができ、かつ、症状や X 線検査などよりも肺内水分量の上昇に対して sensitive であると考えられる RI 検査や二重希釈法などを golden standard にして<sup>19)</sup>、comparative study を行う必要があると考えられる。

次に、ROI の問題について考察する。研究 2 では全ての ROI で呼吸困難群の回帰直線は非呼吸困難群より下方に位置したが、lower slice level については両群の Y 切片の値の間に統計学的な有意差がなかった。これは、lower slice level では心肥大による肺野の圧排が CT 値に対して影響を及ぼしているためと推測され、心不全患者の CT 値を比較する際には、肺底部のスライスは避けた方が良いと考えられる。

最後に、我々の方法には 3 つの利点が挙げられる。一つは、一変量の CT 値による測定 (図 6) に較べて呼吸レベルの違いによる影響を受けにくい点、一変量による比較と較べて心不全患者と心不全のない患者との間のオーバーラップが少なく、慢性心不全患者のスクリーニングに適している点である。二番目の利点は 0.1 秒という非常に短いスキャン時間によって息止めが不要で、なおかつ吸気量不足による CT 値の上昇の問題も解決できるため、老人、呼吸困難患者、意識障害や重傷患者の CT 値測定に有利であると考えられる点である。三番目は、RI 検査がサイクロトロンで生成される半減期の短い核種 ( $H_2^{15}O$ ,  $^{11}CO$ ) や特殊な核種 ( $^{125}In$ -antipyrine,  $^{113m}In$ -trasferrin) を使用し<sup>9,15)</sup>、二重指示薬希釈法が侵襲的な動脈内カテーテル留置が必要であるのに比べて、我々の方法はスパイラル CT などでも応用されれば非侵襲的な簡便な方法として多くの施設で実施できる可能性がある点である。

## ま と め

- 1) 呼吸レベルの変化に影響されずに、慢性心不全患者に出現する淡い肺野濃度上昇を定量的に診断

する方法を見つける目的で、7名の健常者および192名の循環器疾患患者について超高速 CT が行われ、局所の肺野 CT 値間の相関関係を利用した診断方法の可能性について検討した。

- 2) 7名の健常者において‘背側肺野 CT 値’と‘腹側一背側 CT 値較差’との間に強い相関関係が認められ ( $r=0.94-0.98$ )、192名の循環器疾患患者においても同様の結果が得られた (0.72-0.88)。
- 3) 循環器疾患患者を‘左心不全症状の既往または現症’を持つ“心性呼吸困難群”とそれらの既往や現症のない“非呼吸困難群”に分けたところ、全てのスライスレベルにおいて“心性呼吸困難群”の回帰直線が“非呼吸困難群”の回帰直線よりも低い位置にあり、upper slice level および middle slice level において、前者の Y 切片は後者の Y 切片よりも有意に低かった ( $P<0.001-0.005$ )。
- 4) ‘背側肺野 CT 値’と‘腹側一背側 CT 値較差’の相関関係を用いた肺野 CT 値の評価方法は、呼吸レベルの違いの影響を除外しつつ、心不全患者の淡い肺野濃度上昇を定量的に区別し得る方法として期待される。

## 謝 辞

本研究は、循環器疾患に対する着実なる診療の積み重ねの上に成り立ったものであり、滋賀医科大学第一内科学講座の先生方の不断の努力に対して謝意を表します。

## 文 献

- 1) Critchley HM, Prichard H, Grime JS, Patten M, Ansell I: Radionuclide assesement of extravascular lung water in minimal pulmonary oedema. Clin. Radiol. 32: 607-609, 1981.
- 2) Miller AB, Denison DM: Vertical gradients of lung density in healthy supine men. Thorax 44: 485-490, 1989.
- 3) Miller AB, Denison DM: Vertical gradient of lung density in supine subjects with fibrosing alveolitis or pulmonary emphysema. Thorax.

- 45: 602-605, 1990.
- 4) Mori M, Murata K, Takahashi M, Shimoyama K, Morita R, Sakamoto T: Accurate contiguous sections without breath-holding on chest CT: value of respiratory gating and ultrafast CT. *Am. J. Radiol.* 162:1057-1062, 1994.
  - 5) Primack SL, Muller NL, Mayo JR, Remy-Yardin M, Remy J: Pulmonary parenchymal abnormalities of vascular origin: high resolution CT findings. *Radiographics.* 14: 739-746, 1994.
  - 6) Scurutino D, Lagiola R, Ricci A, Clemente M, Boni L, Rizzon P: Predilection of mortality in mild to moderately symptomatic patients with left ventricular dysfunction. The role of the New York Heart Association classification, cardiopulmonary exercise testing, two-dimensional echocardiography and Holter monitoring. *Eur. Heart. J.* 15(8): 1089-1095, 1994.
  - 7) Storto ML, Kee ST, Golden JA, Webb WR: Hydrostatic pulmonary edema: high-resolution CT findings. *Am. J. Radiol.* 165: 817-820, 1995.
  - 8) Verschakelen JA, Fraeyenhoven LV, Laureys G, Demedts M, Baert AL: Differences in CT density between dependent and nondependent portion of the lung: influence of lung volume. *Am. J. Radiol.* 161:713-717, 1993
  - 9) Vuorela AL: Measurement of regional extravascular lung water. Using the double indicator-dilution isotope technique. *Ann. Clin. Res.* 17 supplement 46: 3-161, 1985.
  - 10) Webb WR, Stern EJ, Kanth N, Gamsu G: Dynamic pulmonary CT: Findings in healthy adult man. *Radiology* 186: 117-124, 1993.
  - 11) Wei CM, Lerman A, Rodehoffer RJ, McGregor CG, Brandt RR, Wright S, Heublein DM, Kao PC, Edwards WD, Burnett JC: Endothelin in human congestive heart failure. *Circulation* 89(4): 1580-1586, 1994.
  - 12) Wollmer P, Rhodes CG, Allan RM, Fazio F: Regional extravascular lung density and fractional pulmonary blood volume in patients with chronic pulmonary venous hypertension. *Clin. Physiol.* 3: 241-256, 1983.
  - 13) Wollmer P, Albrechtsson U, Brauer K, Eriksson L, Jonsen B, Tylen U: Measurement of pulmonary density by means of X-ray computerized tomography. Relation to pulmonary mechanics in normal subjects. *Chest:* 90(3)387-391, 1986.
  - 14) Wollmer P, Rhodes CG, Deanfield J, Rozkovec A, Allan RM, Maseri A, Fazio F: Regional extravascular density of the lung in patients with acute pulmonary edema. *J. Appl. Physiol.* 63: 1890-1895, 1987.
  - 15) Wollmer P, Rhodes CG: Positron emission tomography in pulmonary edema. *J. Thorac. Imaging* 3: 44-50, 1988.