

# 全身用 X 線コンピューター 断層法 (CT) による肺うっ 血の検討

# Evaluation of pulmo- nary congestion by computed tomography

諸岡 信裕  
山本 博憲  
吉田 秀夫  
渡辺 滋  
中村 衛  
増田 善昭  
稲垣 義明

Nobuhiro MOROOKA  
Hironori YAMAMOTO  
Hideo YOSHIDA  
Shigeru WATANABE  
Mamoru NAKAMURA  
Yoshiaki MASUDA  
Yoshiaki INAGAKI

## Summary

Pulmonary congestion and pulmonary water distribution of lung fields were evaluated by computed tomography (CT) in 31 patients with congestive heart failure and 19 normal subjects in the supine position.

In normal subjects, no difference was noted in the CT value between levels of intercostal spaces as well as between right and left lung fields. CT values were greater in posterior lung fields than in anterior lung fields. A significant increase of CT values at both anterior and posterior lung fields was shown in patients with congestive heart failure compared to normal subjects. In congestive heart failure, pulmonary CT values were correlated with various clinical parameters in the order of chest X-ray findings, NYHA functional classification, venous pressure, right heart catheter findings and circulation time. CT values were decreased with the improvement of parameters by medical treatment.

Thus, the increase of pulmonary CT values in patients with congestive heart failure indicated the increase of pulmonary blood content and pulmonary tissue edema in a unit volume.

This method was particularly useful for the evaluation of pulmonary congestion and pulmonary water distribution.

## Key words

Pulmonary congestion

Congestive heart failure

CT values

CT image

## はじめに

従来、うっ血性心不全の診断において、胸部 X 線写真は重要な役割を演じてきたが、肺うっ血の

程度をその写真の濃さより定量的に表わすことは不可能とされていた。しかし、最近臨床応用されるようになったコンピューター X 線断層法 (CT) を使用すれば、撮影部の単位体積あたりの X 線

千葉大学医学部 第三内科  
千葉市亥鼻 1-8-1 (〒280)

The Third Department of Internal Medicine, Chiba University, School of Medicine, Inohana 1-8-1, Chiba 280

Presented at the 20th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Nagoya, March 29-30, 1980

Received for publication July 4, 1980

減衰係数を CT 値 (CT values) として示すことができるので<sup>1-3)</sup>, 肺うっ血の程度を定量的に表わすことが可能のように思われる<sup>4,5)</sup>. そこで今回, 我々は健常例およびうっ血性心不全例について胸部 CT を行い, それぞれの肺野 CT 値および治療によるその変化を, 自覚症状, 各種血行動態, 胸部 X 線像および右心系の圧などと比較検討してみた.

### 対象および方法

対象は健常 19 例, ならびに NYHA 心機能分類 II 度以上の種々弁膜疾患, 高血圧性心疾患, 急性心筋梗塞およびうっ血型心筋症 31 例である. そのうち, 僧帽弁膜疾患 14 例については, 右心カテーテルを実施し, 肺野 CT 値と肺動脈圧および楔入圧との比較を行った. また, うっ血性心不全患者のうち 10 例については, ジギタリス薬, 利尿薬による治療前後の肺野 CT 値の経過を観察した.

装置は心拍同期可能な, 低線量全身用 X 線コンピューター断層装置 JEOL ダイナミックスキャナーを使用した<sup>6-9)</sup>. 本器の CT 値は, 空気 -500, 水 0, 骨 +500 の 1,000 段階方式で示され, これは被写体となる物質の単位体積あたりの X 線減衰係数を表わし, 密度および原子番号に関

連する値である. なお, この CT 値を濃淡で表わしたものが CT 像で, 本報告では, 足元から頭部を見上げた像として示した. 全例について, 観察部位として各 CT 像より肺大血管の走行を避け, 右腹側肺野, 右背側肺野, 左腹側肺野, 左背側肺野の 4 ヶ所を選び, 5×5 計 25 のピクセル, つまり 14 mm 四方でスライス幅 10 mm の CT 値を付属コンピューターを使って求めた. また同時に, 撮影台のスポンジ CT 値を求め, これより CT 値の補正を行った (Fig. 1). 予備実験として 5 種類の濃度の含水スポンジを作製し, それぞれの CT 値を求めたところ, Fig. 2 に示すように  $Y=4.84X-468$  ( $r=0.996$ ) と含水量に比例して CT 値の増加がみられた. 血液を含ませた実験でもほぼ同様の結果が得られた.

### 結 果

#### 1. 臨床成績

健常例仰臥位における肺野各部位での CT 値を比較すると, いずれの例でも背側は腹側に比べ CT 値は大となるが, 肋間腔および左右別による変化はほとんど認められなかった. また同一例で体位変換を行い, CT 値を比較してみると, 仰臥位では腹側が小, 背側が大であり, 腹臥位では逆に腹側が大, 背側が小であった (Fig. 3). さらに

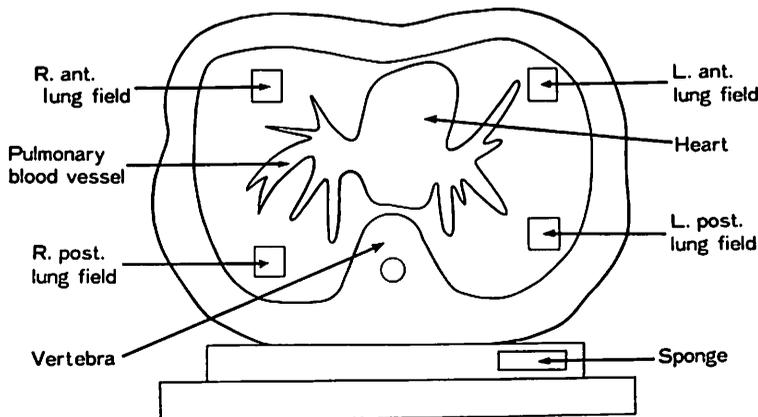


Fig. 1. The method for CT value measurement of four lung fields.

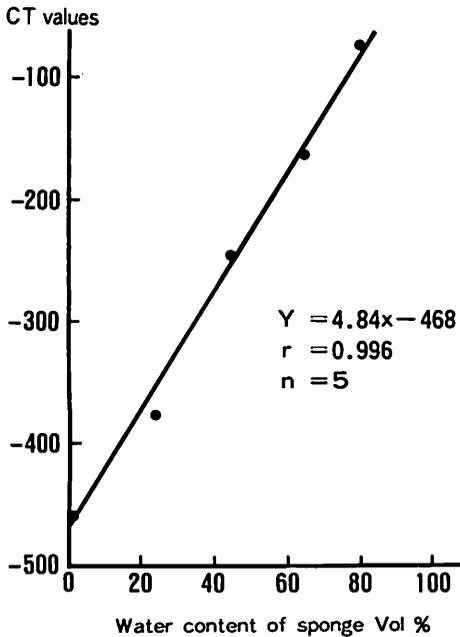


Fig. 2. Relationship between CT values and water content of sponge.

右側臥位にすると、左肺野では腹側背側とも CT 値が小、右肺野では腹側背側とも CT 値が大となり、左側臥位にすると逆の結果が得られた。呼吸による CT 値の変化をみると、吸気時に比べ

呼気時で CT 値が大となった。また心時相別では、CT 値は拡張末期より収縮末期のほうが大となった<sup>5)</sup>。

Fig. 4 は健常例とうっ血型心筋症による NYHA 心機能分類 IV 度の心不全例の胸部第 4 肋間 CT 像を、ウインドレベル -380 として示したものである。健常例に比べ、うっ血性心不全例の CT 像は拡大した心、肺門部より放射状に末梢まで出現する濃い肺血管陰影が特徴的所見として認められ、また、うっ血性心不全例では肺大血管を避けた肺野末梢部の CT 値も高かった。

Fig. 5 は健常 19 例とうっ血性心不全 31 例の仰臥位深吸気位における第 4 肋間腔での腹側、背側およびその平均 CT 値を示したものである。健常例、うっ血性心不全例とも腹側に比べ背側の肺野 CT 値は大となるが、いずれの部位の値も、うっ血性心不全例が増加を示し、その差は統計学的に有意であった。

Fig. 6 は急性左心不全を起こした高血圧性心疾患例に、ジギタリス薬と利尿薬を使用したさいの CT 経過をみたものである。入院時、NYHA 心機能分類の IV 度を示し、胸部 X 線写真でも明らかに肺うっ血像および Kerley B-line を認め、心胸郭比は 67%、Swan Ganz カテーテルによる肺動脈圧は収縮期圧 30 mmHg、拡張期圧

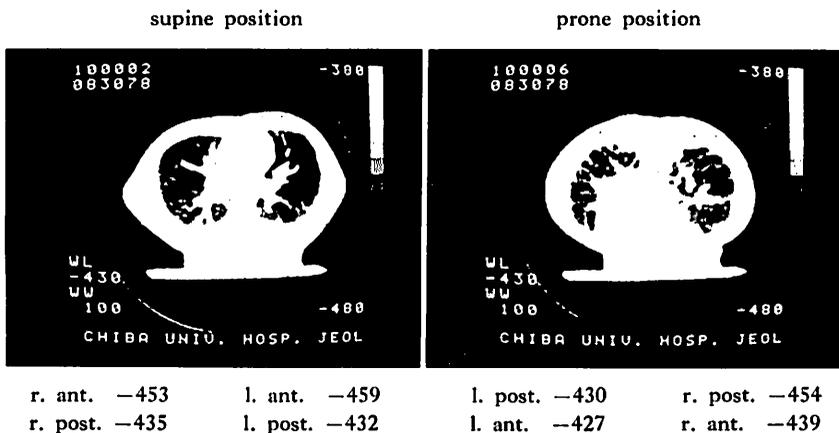


Fig. 3. CT-images and CT values at the supine and prone positions (normal, 30 yrs. m.).

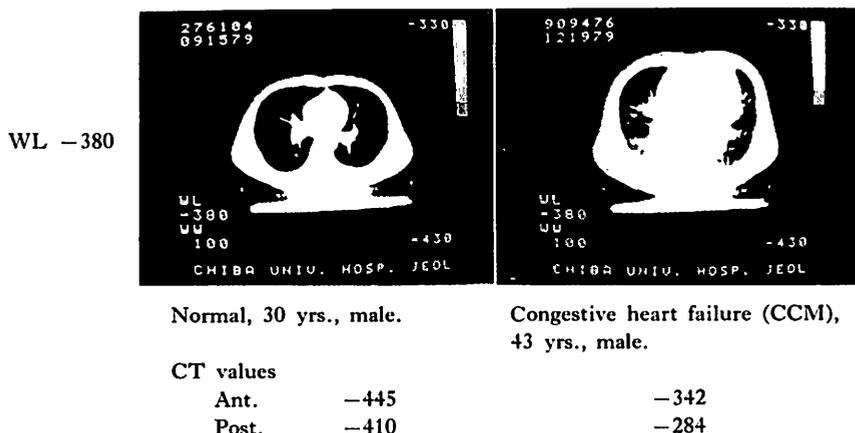


Fig. 4. CT-images and CT values at the level of 4th i.c.s. from a normal subject and a patient with congestive heart failure.

WL=window level.

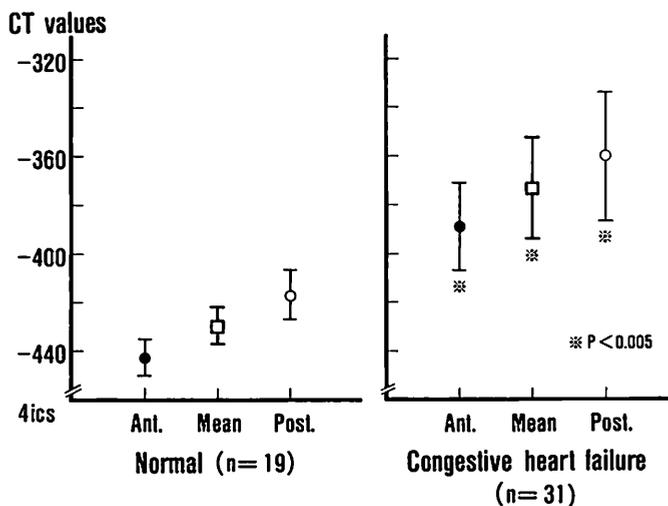


Fig. 5. Comparison of CT values between in normal subjects and in patients with congestive heart failure.

CT values are greater in posterior lung fields than in anterior lung fields. A significant increase of CT values is shown in patients with congestive heart failure compared to normal subjects.

15 mmHg であり, 肺野 CT 値は第3肋間腹側で -396, 背側で -335 と高値を示した。安静および薬剤治療により, 胸部 X 線写真および自覚症状は改善し, 同時にグラフでみるような肺野 CT 値の減少がみられた。3 週後には自覚症状は

ほとんどなくなり, 肺野 CT 値もほぼ正常化した。

Fig. 7 は急性左心不全を起こした大動脈弁閉鎖不全症における入院経過中の胸部 X 線写真, 肺 CT 像および肺野 CT 値の変化を示す。入院

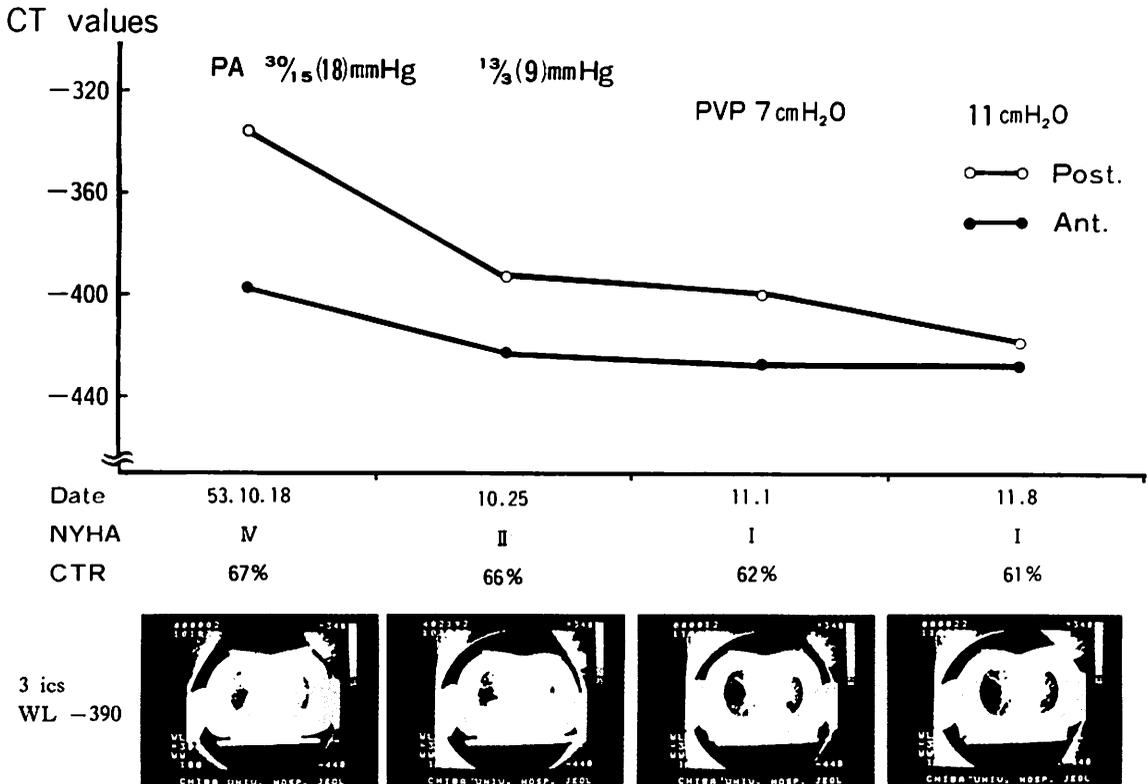


Fig. 6. Changes of CT values, CT images and clinical parameters in a 51-year-old female with congestive heart failure.

CT values are decreased with the improvement of clinical parameters by medical treatment.

PA=pulmonary arterial pressure; PVP=peripheral venous pressure; NYHA=NYHA functional classification; CTR=cardiothoracic ratio; WL=window level.

時の NYHA 心機能分類は前と同様に IV 度を示し、胸部 X 線写真では右葉間胸水 (vanishing tumor) を認め、第 4 肋間肺 CT 像 (胸部 X 線上黒線のレベル) でも明らかな胸水貯留の所見をみた。腹側と背側を平均した肺野 CT 値は -373 と高値を示した。安静および薬剤治療により、1 週間後には胸部 X 線写真上胸水はほとんど認めなくなり、また自覚症状も改善、肺野 CT 値も -406 とほぼ正常化した。しかし、肺 CT 像ではまだ少量の胸水貯留像が認められた。

Fig. 8 はうっ血性心不全における NYHA 心機能分類<sup>10)</sup>と肺野 CT 値との関連をみたもので

ある。健常群 (N) の第 4 肋間における腹側と背側の平均 CT 値は  $-430 \pm 8$  であるが、NYHA 心機能分類 II 度の例では  $-381 \pm 14$  と高値を示し、健常群と有意な差を認めた。NYHA 心機能分類が III 度、IV 度と増すにつれ、肺野 CT 値も  $-374 \pm 6$ 、 $-349 \pm 25$  と増加し、自覚症状の程度と肺野 CT 値との関連が明らかにみられた。

Fig. 9 は胸部 X 線所見を Kostuk ら<sup>11)</sup>の分類にしたがい、1) 無所見、2) 肺うっ血、3) 間質性肺浮腫、4) 肺胞浮腫の 4 段階に分類し、肺野 CT 値との関連をみたものである。なお、うっ血性心不全例のうち 10 例については、治療前後の胸部

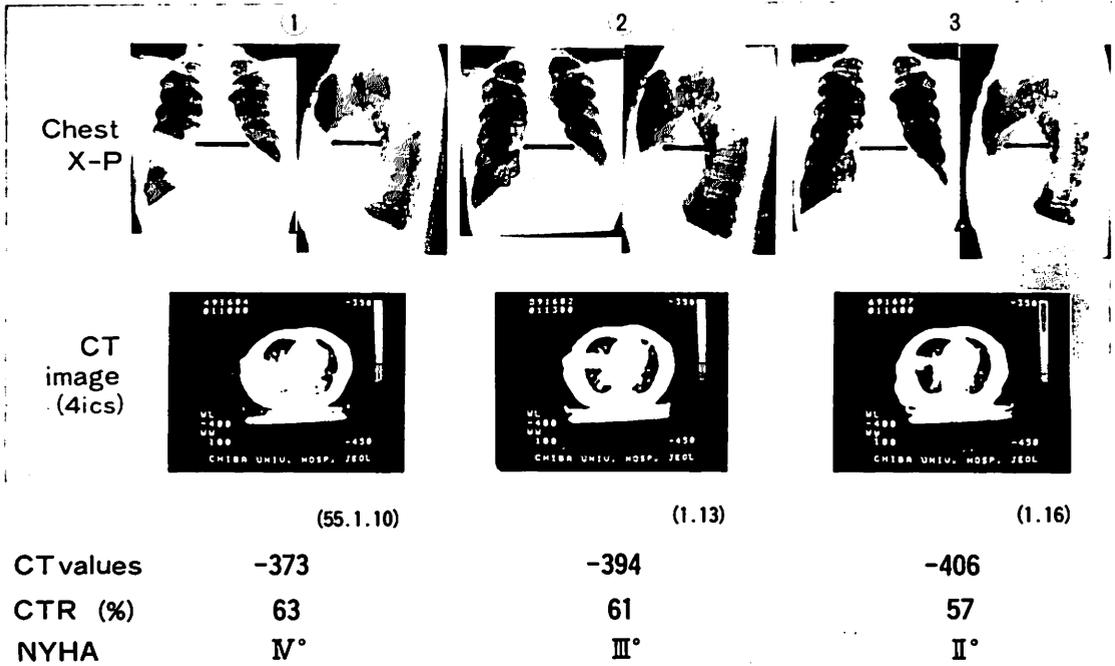


Fig. 7. Changes of chest X-P findings, CT images, CT values, cardiothoracic ratio (CTR), and NYHA functional classification in a 72-year-old female with interlobar pleural effusion (vanishing tumor).

X線所見および肺野CT値の変化を矢印で示した。肺野腹側背側平均CT値は健常群で $-430 \pm 8$ であるが、肺うっ血群では $-388 \pm 15$ 、間質性肺浮腫群では $-370 \pm 12$ 、肺胞性浮腫群では $-352 \pm 29$ と胸部X線所見の変化に伴い肺野CT値は増加を認め、健常群と有意な差を示した。なお、治療により胸部X線像でうっ血所見が全く消失した例でも、健常に比べCT値は $-418 \pm 8$ と軽度増大がみられた。

Fig. 10は僧帽弁膜疾患14例に右心カテーテルを行い、肺動脈楔入圧および肺動脈平均圧と肺野腹側背側平均CT値との関連をみたものである。肺動脈楔入圧と肺野CT値は $r=0.70$ 、肺動脈平均圧と肺野CT値は $r=0.68$ とある程度の正の相関がみられた。

Fig. 11はうっ血性心不全で入院し、臨床所見、各種検査成績を総合して治療効果の明らかにされ

た10例の、治療前後における肺野腹側背側平均CT値、末梢静脈圧(PVP)、循環時間、胸部X線心胸郭比(CTR)の変化をみたものである。各パラメーターの改善に伴い肺野CT値も明らかに減少し、心不全の程度と肺野CT値との関連が明らかにみられた。

## 2. 動物実験

肺水腫の程度と肺野CT値の関係をよりはっきりさせるため、木下、中村らの方法<sup>12)</sup>で、成犬7匹にペントバルビタール静脈内麻酔を行い、人工呼吸下で、生理的食塩水2,500mlにエピネフリン $0.5 \sim 0.7 \text{ mg/kg}$ を加えた混合溶液(38°C)を大腿静脈から注入し、種々の程度の急性肺水腫を作成した。また、そのうち4匹の成犬については、右室および肺動脈圧の変化も観察した。Fig. 12は急性肺水腫を起こした成犬7匹の、右中肺

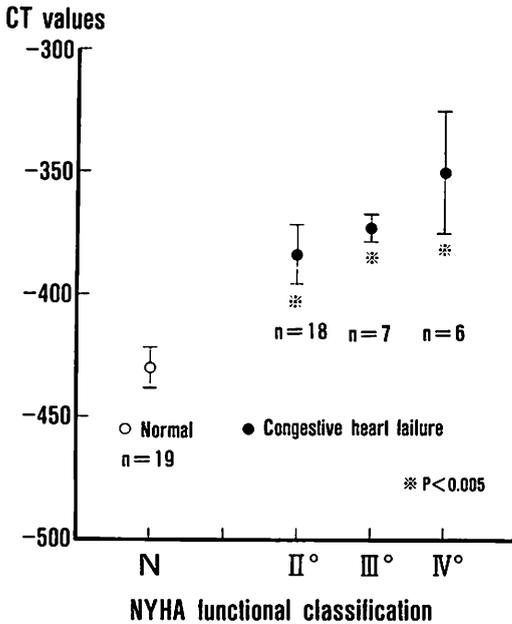


Fig. 8. Relationship between CT values and NYHA functional classification.

野平均 CT 値を経時的にみたものである。輸液量が増加し肺水腫が出現するにつれ、肺野 CT 値は増加した。また、肺動脈平均圧も  $10 \pm 4$  mmHg から  $26 \pm 9$  mmHg と有意な上昇を認めた。なお、2,500 ml 注入後直ちに開胸し取り出した肺標本では、水分に富み著しい肺うっ血を示し、とくに中下肺野背側では深紅色を呈し、出血を伴う肺水腫を認めた。そして、これらは肺 CT 像による所見と一致した。

#### 考 案

胸部 X 線写真は投影像であり、人体組織の X 線吸収度を定量的に表わすことは不可能である。この点、全身用 CT 装置を使用すれば、撮影部の単位体積あたりの X 線減衰係数を CT 値として示し、うっ血性心不全における肺うっ血の程度を定量的に表わすことは可能である。しかし、肺の CT 値についての報告はほとんどみられず、Rosenbulum ら<sup>3)</sup>が肺気腫例では肺野 CT 値が

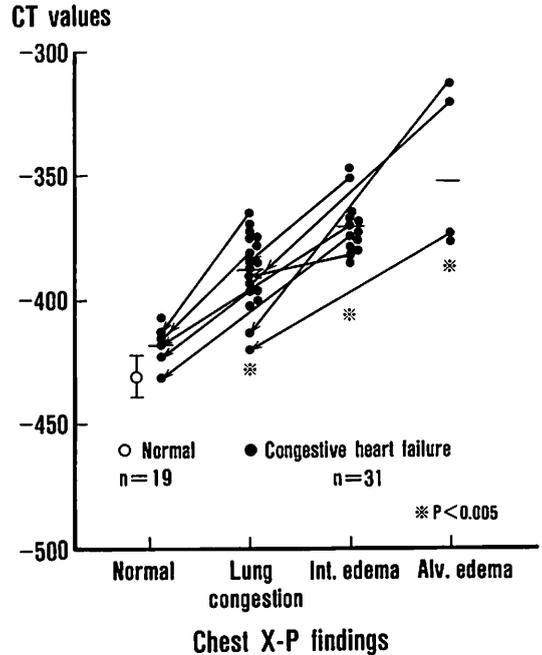


Fig. 9. Relationship between CT values and chest X-P findings.

Int. edema=interstitial edema; Alv. edema=alveolar edema.

減少していたと述べているにすぎない。また肺の CT 像に関しては、肺や縦隔の腫瘍などについての数多くの報告がみられるが、肺うっ血については Kreel ら<sup>13)</sup>が胸水や間質性肺浮腫の検出について述べているのみで、CT 像や CT 値による肺うっ血の検討はほとんど行われていない。

今回、我々は健常例およびうっ血性心不全例について、肺 CT 像や肺野 CT 値による検討を行った。健常例仰臥位による肺野 CT 値は、腹側に比べ背側で大となるが、腹臥位に体位変換すると腹側が背側より大となり、これらの変化は Kreel ら<sup>13)</sup>も述べているように、静水圧による血管径の変化が肺組織単位体積あたりの血液量の部位的分布を変えるためと考えられる。左右差および各肋間腔による差はほとんどみられなかった<sup>4,5)</sup>。

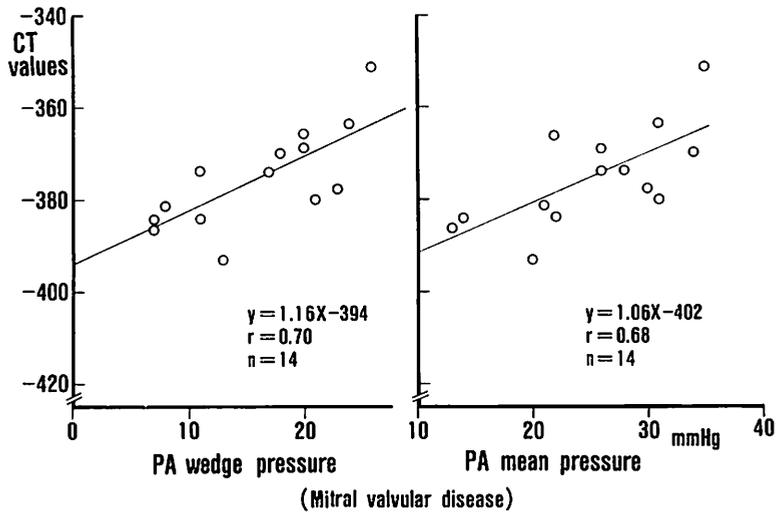


Fig. 10. Relationship between CT values, PA wedge pressure and PA mean pressure in patients with mitral valvular disease.

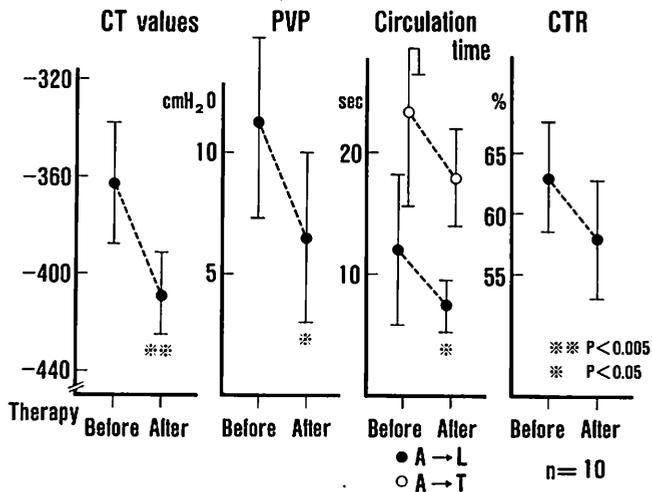


Fig. 11. Comparison of CT values, peripheral venous pressure (PVP), circulation time and cardiothoracic ratio (CTR) between before and after therapy in patients with congestive heart failure.

A → L=arm to lung time; A → T=arm to tongue time.

うっ血性心不全例における肺 CT 像は、拡大した心や肺門部より放射状に末梢まで出現する、濃い血管陰影が特徴的である。肺野末梢部の CT 値は高く、これらは左心不全による単位容積あた

りの肺内水分量の増加や、間質の浮腫などによるものと考えられる。

うっ血性心不全例における NYHA 心機能分類と肺野 CT 値との関連をみてみると、健常例の

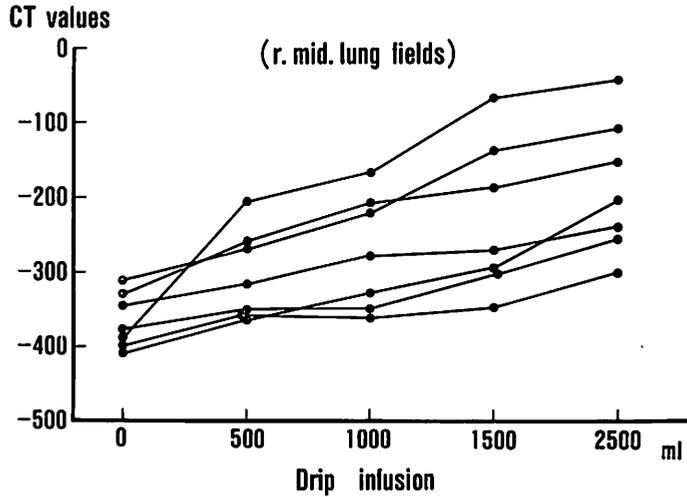


Fig. 12. Relationship between CT values and volume of drip infusion in seven dogs with experimental pulmonary edema.

r. mid. lung fields=right middle lung fields.

肺野 CT 値に比べ、II 度、III 度、IV 度群と心機能の程度が悪化するにつれ肺野 CT 値が増加していた。このことは、心疾患患者の運動能力からみた心予備能が、肺うっ血の程度に強く関連していることを示している。

さらに、うっ血性心不全の胸部 X 線所見を、1) 無所見、2) 肺うっ血、3) 間質性肺浮腫、4) 肺泡性浮腫の 4 段階に分類し、健常対照群と CT 値の比較を行うと、対照群に比べ 2) 群、3) 群、4) 群と肺うっ血の程度が増悪するにつれ肺野 CT 値が増加し、胸部 X 線所見と肺野 CT 値との密接な関連が示唆された。なお、1) 無所見群は治療によりうっ血性心不全の所見が消失し、NYHA 心機能分類 I 度に属するものと考えられるが、このように臨床症状や肺うっ血所見のない群で、すでに CT 値が増加していることは、心不全の早期発見に本法が役立つことを示唆する所見であり、今後検討を続けて行く予定である。

春見ら<sup>14)</sup>は胸部 X 線所見とその時点での心機能との関係を調べ、胸部 X 線で肺うっ血の所見がみられると肺動脈楔入圧が 18~20 mmHg で、

血管周囲や間質の浮腫が起こると 20~25 mmHg、肺泡浮腫では 25 mmHg 以上であると述べている。また、McCredie ら<sup>15)</sup>は種々の心疾患について、double indicator method による肺血管外水分量が、肺動脈圧および左房平均圧に正相関することを示し、その理由を左心機能の悪化により肺毛細管圧が上昇し、そのため血管内より血管外への水分の移動が増加して、間質性肺浮腫や肺泡浮腫が起こるものとしている。今回我々が、僧帽弁膜疾患について示した肺野 CT 値と、肺動脈楔入圧および肺動脈平均圧との正の相関(それぞれ  $r=0.70, 0.68$ )も、同様の理由によるものと考えられる。

入院したうっ血性心不全例について、ジギタリス薬および利尿薬などによる治療を行い、治療による改善が、肺野 CT 値、末梢静脈圧、循環時間、胸部 X 線、心胸郭比など臨床的に比較的簡単に行いうる検査成績のいずれによく反映するかをみたところ、肺野 CT 値は治療前後でもっとも大きな差を示し、両群の間にオーバーラップをみなかった。他のパラメーターでは治療前後の値

の差はより少なく, 両群の間に明らかなオーバーラップを認めた. したがって, 治療効果の判定に, とくにうっ血性心不全の治療経過をみるさいには, 本法が重要な役割を果たすと考えられる.

### ま と め

全身用 X 線 CT 装置を用いて, 健常 19 例と NYHA 心機能分類 II 度以上のうっ血性心不全例について, 仰臥位深吸気時における胸部 CT 像および肺野 CT 値について検討した.

1) 健常例の仰臥位における肺野 CT 値は, 肺間腔別, 左右別による差はみられなかったが, 背側は腹側に比較し肺野 CT 値が高く, 肺組織単位体積あたりの血液量が, より大と推定された.

2) うっ血性心不全例の CT 像は, 肺門部を中心に放射状に出現する濃い陰影が特徴的であり, 末梢部の肺野 CT 値は背側が腹側より大で, 両側ともに健常群にオーバーラップすることなく増加していた.

3) うっ血性心不全例の肺野 CT 値は, 臨床所見, 胸部 X 線所見, 静脈圧, 循環時間, 右心カテーテル所見など各種血行動態とよく相関し, また治療経過中でのこれらパラメーターの改善に伴い, CT 値の減少がみられた.

4) 成犬による肺水腫作成実験でも, 肺水腫の進行に伴い肺野 CT 値の明らかに増加することをみた.

以上の成績より, 腹側および背側における肺野 CT 値の差は, 静水圧による血管径の変化が, 肺組織単位体積あたりの血液量の部位的分布を変えるためと考えられた. また, 肺うっ血における肺野 CT 値の増加は, 単位容積あたりの肺血液量の増加や肺血管周囲の浮腫などが原因と考えられ, CT を肺に利用すれば非観血的に簡単に肺うっ血の程度を知ることが可能となり, きわめて有用であると思われた.

### 要 約

うっ血性心不全 31 例と健常 19 例について, 仰

臥位で胸部 CT を行い, 肺うっ血および肺内水分分布について検討した. 健常例において, 肺野 CT 値は肋間別, 左右別による差はみられなかったが, 腹側肺野より背側肺野のほうが大であった. うっ血性心不全の CT 像は, 肺門部を中心に放射状に出現する濃い陰影が特徴的であり, 肺野 CT 値は健常群より腹側背側肺野とも明らかに増加していた. うっ血性心不全例の肺野 CT 値は, 胸部 X 線所見, NYHA 心機能分類, 静脈圧, 右心カテーテル圧, 循環時間など各種血行動態とよく相関し, また治療経過中でのこれらパラメーターの改善に伴い肺野 CT 値の減少がみられた.

以上の成績より, 肺うっ血における肺野 CT 値の増加は, 単位容積あたりの肺血液量の増加や肺血管周囲組織の浮腫などが原因と考えられた. CT を肺に利用すれば, 非観血的に簡単に肺うっ血の程度を知ることが可能となり, きわめて有用であると思われた.

### 文 献

- 1) 田坂 皓, 町田喜久雄, 赤沼篤夫, 板井悠二, 八代直文, 古井 滋, 町田 徹, 吉川宏起: コンピューター断層撮影の胸部疾患への応用. 日本胸部臨床 37: 757-769, 1978
- 2) 稲垣義明, 増田 善昭, 内山 暁: 心疾患診断への CT の応用. 総合臨床 27: 1853-1859, 1978
- 3) Rosenblum LJ, Mauceri RA, Wellenstein DE, Bassano DA, Cohen WN, Heitzman ER: Computed tomography of the lung. Radiology 129: 521-524, 1978
- 4) Morooka N, Yumura Y, Yoshida H, Watanabe S, Nakamura M, Shukuya M, Masuda Y, Inagaki Y, Kinoshita Y, Uchiyama G: Evaluation of cardiac function by computed tomography (CT) with particular reference to pulmonary water volume. Jpn Circulat J 43: 718, 1979
- 5) 諸岡信裕, 湯村保夫, 吉田秀夫, 渡辺 滋, 中村 衛, 増田善昭, 稲垣義明, 木下安弘, 大野 博, 内山 暁, 桂井 浩, 有水 昇: 肺 CT 像よりみた肺内血流分布について. J Jpn Coll Angiol 18: (Suppl): 784, 1978
- 6) Tateno Y, Tanaka H: Low dosage X-ray imaging system, employing flying spot X-ray micro beam (dynamic scanner). Radiology 121: 189-195, 1976

- 7) 増田善昭, 村木 登, 山崎 茂, 渡辺 滋, 稲垣義明, 内山 暁, 大野 博, 有水 昇, 渡辺英二: 低線量 X 線撮影像システムによる心の高速 CT 像について. *J Cardiography* **7**: 589-598, 1977
- 8) 増田善昭, 渡辺 滋, 稲垣義明, 内山 暁, 有水 昇, 館野之男, 渡辺英二: JEOL Dynamic Scanner による心・血管 CT 像について. *呼吸と循環* **26**: 439-445, 1978
- 9) 渡辺 滋, 湯村保夫, 諸岡信裕, 吉田秀夫, 宿谷正毅, 増田善昭, 稲垣義明: CT による心断面積曲線の作成とその臨床応用についての試み. *J Cardiography*. **9**: 233-240, 1979
- 10) Criteria Committee of the New York Heart Association: *Disease of the Heart and Blood Vessels, Nomenclature and Criteria for Diagnosis*. 6th ED., Little, Brown and Company, Boston, 1964, p 110
- 11) Kostuk W, Barr JW, Simon AL, Ross J: Correlations between the chest film and hemodynamics in acute myocardial infarction. *Circulation* **48**: 624-632, 1973
- 12) 中村 衛, 中山 章, 杉山吉克, 村山 紘, 徳政義和, 木下安弘, 大久保春男: 胸部 X 線像よりみた実験的急性肺水腫の発生パターン. *臨床呼吸生理* **6**: 5-10, 1973
- 13) Kreef L: Computerized tomography using the EMI general purpose scanner. *Brit J Radiol* **50**: 2-14, 1977
- 14) 春見建一, 山本陸夫: 虚血性心疾患による心不全の診断と治療・管理. *治療* **59**: 2251-2257, 1977
- 15) McCreddie M: Measurement of pulmonary edema in valvular heart disease. *Circulation* **36**: 381-386, 1967