



Title	X線CTおよびポジトロンCTによる肺密度の定量化に関する研究 (1)正常肺について
Author(s)	伊藤, 健吾; 伊藤, 正敏; 窪田, 和雄 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1984, 44(7), p. 979-984
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19865
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

X線CT及びポジトロンCTによる肺密度の定量化に関する研究

(1) 正常肺について

東北大学抗酸菌病研究所放射線医学部門

伊藤 健吾 伊藤 正敏 窪田 和雄 阿部 由直
 福田 寛 畑沢 順 渡辺 弘美 佐藤多智雄
 山浦 玄嗣 松沢 大樹

東北大学サイクロトロンRIセンター

井戸 達雄

(昭和59年2月22日受付特別掲載)

(昭和59年5月24日最終原稿受付)

Quantitative Measurement of Lung Density with X-ray CT and Positron CT

(1) Normal Subjects

Kengo Ito, Masatoshi Ito, Kazuo Kubota, Yoshinao Abe, Hiroshi Fukuda,
 Jun Hatazawa, Hiromi Watanabe, Tachio Sato, Mototsugu Yamaura
 and Taiju Matsuzawa

Department of Radiology and Nuclear Medicine, Research Institute for Tuberculosis
 and Cancer, Tohoku University

Tatsuo Ido

Cyclotron RI Center, Tohoku University

 Research Code No. : 722.9

 Key Words : Lung density, X-ray CT, Positron CT

Quantitative measurement of lung density was performed with X-ray CT (XCT) and Positron CT (PCT).

Using XCT, total lung density could be measured quantitatively. The mean value was $0.25 \pm 0.05 \text{ gcm}^{-3}$. And profile analysis of CT numbers along the chest wall was useful to evaluate the distribution of lung blood volume.

Using PCT, total lung density, lung blood volume, and extravascular lung density could be measured quantitatively. The mean values were $0.35 \pm 0.03 \text{ gcm}^{-3}$, $0.19 \pm 0.01 \text{ mlcm}^{-3}$ and $0.15 \pm 0.02 \text{ gcm}^{-3}$. We could evaluate lung density in detail.

We believe that these methods provide many diagnostic informations to understand diffuse pulmonary diseases.

はじめに

肺は含気に富んだ臓器であるため、X線写真上大きなコントラストを生ずる。又、肺疾患の多くは原因を問わず肺組織の密度の変化を伴うのが常

である。従ってX線診断ではこの密度の変化をフィルム上での濃淡で読影する。しかし、び漫性に変化を来す肺水腫、間質性肺炎、放射線肺臓炎などの診断は客観性と定量性に欠け、又撮影条

件にも左右されるので早期発見，病状の正確な把握は困難である。従って肺密度を定量化することが出来れば，び漫性肺疾患の診断に有力な情報となると考えられる。実際肺密度の定量化に関しては現在迄に多くの試みがなされており，色素希釈法¹⁾²⁾，コンプトン散乱法³⁾⁴⁾，X線CT^{5)~7)}を使用した報告がある。しかし，いずれの方法も正確さ，再現性，手技上の繁雑さなどの問題点が多かった。

最近 Rhodes⁸⁾らはポジトロンCTにより肺密度を定量化し，肺密度を血液量と肺血管外密度に分離して定量化できると報告している。しかし，サイクロトロンを必要とする点で汎用性に欠ける。

今回我々は従来より報告されているX線CT^{5)~7)}(以下XCT)による肺密度の定量化に加えてPositron computed tomography (以下PCT)による肺密度の定量化を試み，両者を比較しその有用性を検討したので報告する。なお，疾患例については次回報告する予定である。

方法および対象

① XCT

使用したXCTはGE社製CT/T-8800である。スキャンは電圧120kVp，電流200mA，スライス幅10mmで行われ，解析のため肺野に関心領域を設定する際はWindow level -600H.U.，Window width 2000H.U.の条件で設定した。なおスキャン時は通常浅吸気で呼吸停止を行なった。

肺密度を定量化する際の具体的指標としてXCTのCT値(以下CT値)に注目したが，肺密度とCT値の関係をj知るためにファントム実験を行なった。市販の8×12×4cmの大きさのスポンジ(密度0.027g/cm³)に水道水を均等に含ませビニールでおおったファントムを作製した。含水量の異なる5つのファントム(密度0.12, 0.28, 0.32, 0.35, 0.48g/cm³)および空気，水道水を満たした容器をXCTでスキャンし，それぞれのCT値を測定して密度とCT値との関係を求めた。

実際の肺の場合はFig. 1に示すように左右肺にそれぞれ13個の関心領域(1.5×1.5cm)を設定し，各関心領域内の平均CT値を求め，別に肺野全体を一つの関心領域と設定して左右肺それぞれ

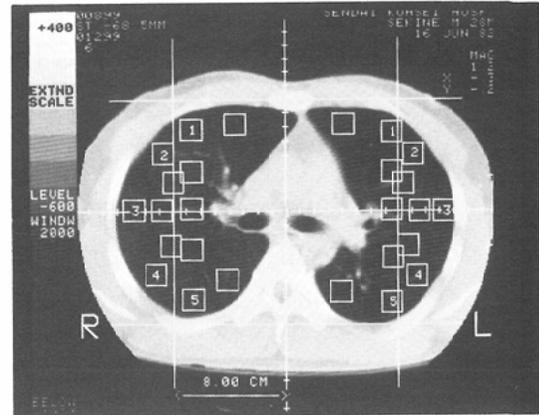


Fig. 1 Regions of interest along the chest wall on XCT.

の平均CT値を求めた。このような測定を上中下肺野に相当する計3スライスについて行なった。

対象は正常人ボランティア及び仙台厚生病院で胸部CT検査を受けた患者のうち胸部X線写真上所見なく肺疾患を除外できかつ肺機能(%VC, FEV 1%)上も問題ないと考えられた計13名である。

② PCT

使用したPCTは，Ortec社製ECAT IIである。検出器配列は六角形配列型で11×6=66個のNaI検出器をもち，分解能は半値幅で約13mmである。

本研究では肺密度のうち血液成分を分離定量化するために¹¹CO 1回吸入法とPCTによる測定を組み合わせた。

¹¹CO吸入法において¹¹COガスは東北大学サイクロトロンRIセンターのRI製造部門で合成されるとon-lineでPCT室へ移送されマスクより被験者へ投与される。COは速やかに肺泡より毛細管内へ拡散し赤血球内のHbと結合してCO-Hbを形成する。投与される¹¹COはおよそ10~15mCiである。このあと約5分の平衡時間においてPCTによる撮影を開始する。スキャン時間は5~15分でスキャン中は安静呼吸を続ける。¹¹COにより赤血球が標識されるので撮像により得られるイメージはその断層面での血液量分布に相当する。この過程でのPCTによる撮像がエミッショ

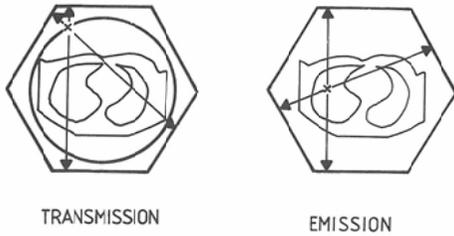


Fig. 2 Transmission and Emission scan.
x: Ring source of ^{68}Ga (Transmission) and ^{11}C -carboxyhaemoglobin in blood (Emission)

ンスキャンである (Fig. 2).

エミッションスキャンで撮像してイメージを再構成する際には γ 線減弱補正用のデータが必要である。PCTではRI投与前に補正用に ^{68}Ge - ^{68}Ga のリング状線源によるスキャン即ちトランスミッションスキャンを行なう。スキャン時間は胸部の場合5~15分である。Fig. 2に示すようにこれはXCTと同様の透過型スキャンであるため、組織密度を像として表わしたものである。実際のスキャンに先立ってXCTの場合と同様のファントム実験を行なって密度とイメージ上のピクセルあたりのカウントとの関係を求めた。

次にRI分布としての血液量分布の情報とトランスミッションスキャンで得られる密度の情報を比較するため次のような操作を行なった。即ちイメージ上で心腔内と思われる領域には血液が充満している管であるからその中には 1cm^3 あたり1mlの血液が詰まっていることになる。従って密度の単位として血液1mlの重さを基準とすれば心腔内では密度も1血液単位/ cm^3 となり、血液量と密度が直接比較可能となる。具体的には心腔内でのピクセルあたりのカウントをエミッションスキャン、トランスミッションスキャンともに1,000として標準化した。

次にトランスミッションスキャンのイメージからエミッションスキャンのイメージを引き算し肺血管外密度が求められる。

各イメージ上での関心領域の設定、平均値の測定についてはXCTの方法に準拠した。

対象としたのは5名の正常人ボランティアである。

結果

① XCT

ファントム実験の結果をFig. 3に示す。CT値は原子番号、電子密度、物質の密度に依存して決まるがX線のエネルギーが120-140kVpのとき

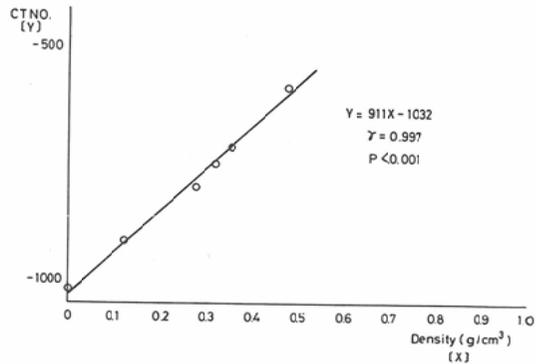


Fig. 3 Correlation between density and CT number (XCT).

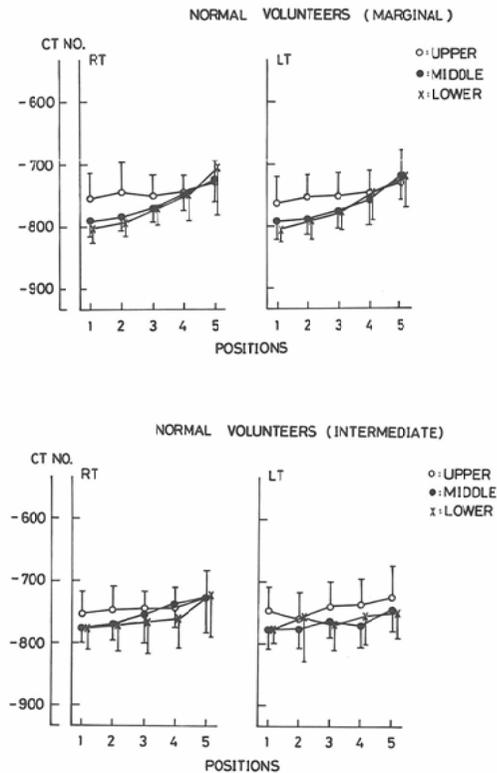


Fig. 4 Profiles of CT numbers from anterior to posterior (1 to 5) in marginal and intermediate sites.

は肺の実効原子番号は約7.5で、電子密度も一定と考えられる⁶⁾。従ってCT値と密度は直線関係にあると考えられるが、ファントム実験の結果もこれを裏づけている。

実際の肺での測定結果をFig. 4に示す。背臥位での胸壁に沿ったCT値のプロフィールである。横軸の1から5はFig. 1の関心領域の中の数字であり、胸壁に沿った腹側から背側への部位を示す。Fig. 4上段の肺末梢についてみると腹側から背側へのCT値の上昇がみられる。スライス別では中下肺野に比して上肺野の方がCT値が高い傾向にあったが、有意差はなかった。左右差はとくに認めない。又、このときの各肺野の平均CT値も同様に肺野による有意差はなかった。なお左下肺野は心陰影が大きく全関心領域の設定は困難であった。胸壁よりさらに内側の関心領域についても測定を試みたが、Fig. 4下段に示すように肺血管の径が大きいいため関心領域内に含まれるか否かでばらつきが大きくなるので解析の対象からはず

した。

肺野の平均CT値のうち最も肺野の面積が大きく関心領域も設定しやすい右下肺野のCT値をとれば -804 ± 46 H.U.であり、Fig. 3より密度に変換すれば、 0.25 ± 0.05 g/cm³であった。

次に腹側から背側へとCT値の上昇する原因が体位によるものであるかどうか知るため、腹臥位約10分の後スキャンを行なった(Fig. 5上段)。グラフのように腹側から背側へのCT値の上昇は背側から腹側へのCT値の上昇に変わった。

Fig. 5下段は背臥位で呼吸レベルの違いによるCT値のプロフィールの変化を示す。深呼吸か

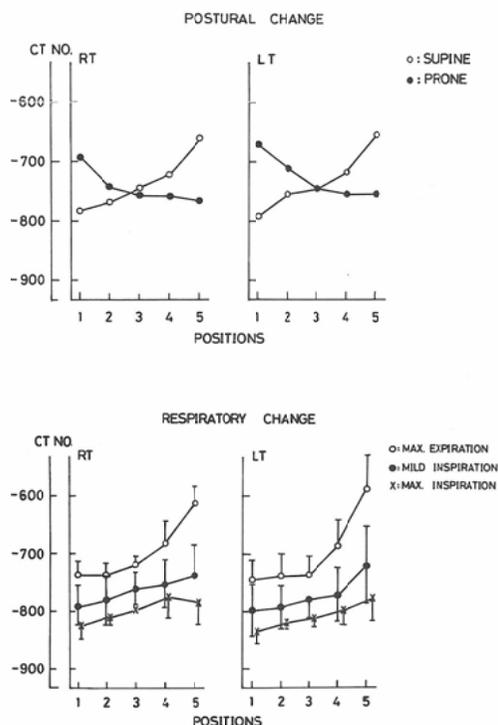


Fig. 5 Profiles of CT numbers with postural and respiratory changes.

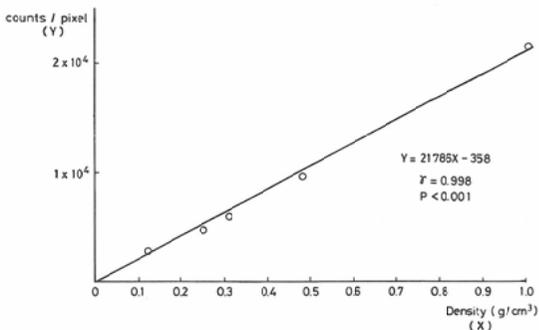


Fig. 6 Correlation between density and pixel count (PCT).

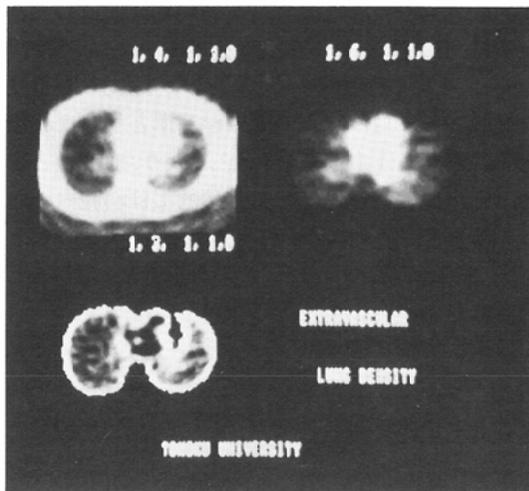


Fig. 7 PCT images of lung density (left upper), blood volume (right upper) and extravascular lung density (left lower) on one normal subject.

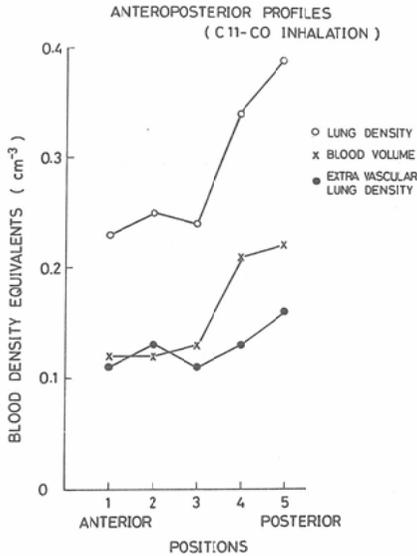


Fig. 8 Profiles of lung density, blood volume, and extravascular lung density along the chest wall (same subject in Fig. 7).

ら吸気側に移行するに従い CT 値は全般的に低下し、とくに背側での低下が著しいためプロフィールの勾配が減少していた。

② PCT

Fig. 6 はファントム実験の結果である。XCT の場合と同様にトランスミッションスキャンでも密度とピクセルあたりのカウントが直線関係にあることがわかる。

正常人ボランティアをスキャンした一例を Fig. 7 に示す。方法で述べた如く肺密度、血液量、および引き算により得られた肺血管外密度をあらわしている。イメージ上で XCT と同様の関心領域を設定し、各平均カウントを密度に換算して示

したのが Fig. 8 である。肺密度は背臥位では腹側から背側へ上昇し XCT と同様の傾向を示すが、それに対応して上昇しているのは血液量であり、血管外密度はわずかに上昇するにすぎない。これにより肺密度が部位により変化するのは血液量分布が重力勾配をもつためであることがわかる。XCT の測定結果もこれを裏づけている。

又、肺野全体の平均密度は XCT と同様右下肺野全体を一つの関心領域として計算した。Table 1 に PCT の結果を XCT その他の方法による結果とともに示すが、肺密度 $0.35 \pm 0.03 \text{g/cm}^3$ 、血液量 $0.19 \pm 0.01 \text{ml/cm}^3$ 、肺血管外密度 $0.15 \pm 0.02 \text{g/cm}^3$ で個体間のばらつきは他の方法と比較して小さかった。

考 察

肺野の CT 値の測定については既にいくつかの報告があり、部位及び呼吸位相により CT 値が変化することについても言及されている^{5)~7)}。背臥位では背側に比し腹側で CT 値が明らかに低いことも報告されているが、我々の研究では胸壁に沿った5つの関心領域についてそのプロフィールを検討したところに特徴がある。なお、胸壁に沿った部位を選んだ理由はより縦隔面では血管の影響を強く受け再現性に欠けることがわかったからである。

肺野の平均 CT 値についてもいくつか報告があるが、Rosenblum⁶⁾らの結果を例にとれば安静呼吸時で $-734 \pm 58 \text{H.U.}$ 、吸気時で $-802 \pm 34 \text{H.U.}$ でありそれぞれ換算して $0.27 \pm 0.06 \text{g/cm}^3$ 、 $0.20 \pm 0.03 \text{g/cm}^3$ としている。今回の我々の結果が浅吸気時での値であることを考慮すれば諸家の報

Table 1 The mean values of lung density with PCT (ECAT), XCT and compton scatter techniques

	Lung density (g cm ⁻³)	Blood volume (ml cm ⁻³)	Extravascular lung density (g cm ⁻³)
PCT	0.35 ± 0.02	0.19 ± 0.01	0.15 ± 0.02
XCT	0.25 ± 0.05		
Compton scatter techniques	$0.26 (0.21 \sim 0.31)^{1)}$ $0.32 (0.25 \sim 0.37)^{2)}$		

1) Gamsu et al.
2) Garnett et al.

告^{5)~7)}とよく一致している。び慢性肺疾患における平均CT値の変化は定量的診断の指標になり得ると考えられ、肺うっ血の経過をCT値によりX線写真よりも鋭敏に評価できたとする報告もある⁷⁾。しかし呼吸レベルの差異によるCT値の変動、総和としての密度が変わらずとも血液量と血管外密度の比が変化する場合はXCTでは評価できないという点などが、問題点として残る。

一方、PCTによる肺密度の測定では従来の方法では不可能であった血液量と血管外密度の分離が出来るのでその情報は肺疾患の病態を知る上でより有益であり、診断にも役立つと考えられる。多くの肺疾患では血流の変化と間質の変化が密接に関連していることが知られており、総和としての肺密度の測定では充分ではない。

測定結果はTable 1に示されているが、我々と同じくPCTで肺密度を測定しているRhodes⁸⁾らの値、肺密度 $0.29 \pm 0.08 \text{g/cm}^3$ 、血液量 0.14ml/cm^3 、肺血管外密度 0.14g/cm^3 よりは血液量が高値でそのため肺密度も高値であった。これは関心領域の設定位置が筆者らとは若干異なるためではないかと考えられる。又、コンプトン散乱法ではGarnett³⁾らの値とより一致していた。XCTではPCTによる値よりかなり低い値を示したが、呼吸位相が浅い吸気相であること、空間分解能が良いので平均CT値を求める際に大血管を除いて測定できることなどが寄与していると思われる。

以上我々はXCT及びPCTを使用して肺密度を定量化したが、このように両者を比較し検討した報告はない。XCTでは肺野全体の平均CT値に加えて肺末梢でのCT値のプロフィールを解析することにより部位による血液量分布の差を知ることができた。従ってXCTでもこれらの情報を組み合わせればび慢性肺疾患の定量的診断により役立つと考えられる。一方PCTでは肺密度についてより詳細な評価が可能である。肺密度、血液量、肺血管外密度が測定できるのでび慢性肺疾患におけるそれぞれの密度の増減を知ることにより病態の正確な把握が可能となる。

これらの結果を踏まえればび慢性肺疾患の定量的診断のためにはXCTでスクリーニング的に検

査を行ない、より詳細な病態の把握にはPCTによる肺密度測定が有意義であると考えられた。

まとめ

XCT及びPCTで肺密度の定量化を試みた。両者の特性を活かせればび慢性肺疾患の定量的診断に役立つと考えられた。

本論文の一部は、第42回日本医学放射線学会総会(大阪)、第13回日本核医学会北日本地方会(仙台)、第23回日本核医学会総会(大阪)において発表した。

稿を終えるにあたり、終始協力をいただいた東北大学サイクロトロンRIセンター四月朔日聖一氏に感謝致します。

文 献

- 1) Pistolesi, M. and Giuntini, C.: Assessment of extravascular lung water. *Radiol. Clinics North Amer.*, XVI: 551—574, 1978
- 2) 佐藤公彦, 山田久和, 石部裕一, 佐川弥之助: 肺水腫. *医学のあゆみ*, 117: 713—720, 1981
- 3) Garnett, E.S., Webber, C.E., Coates, G., Cockshott, W.P., Nahmias, C. and Lassen, N.: Lung density: Clinical method for quantitation of pulmonary congestion and edema. *C.M.A. J.*, 116: 153—154, 1977
- 4) Gamsu, G.K., Kaufman, L., Swan, S.J. and Brito, A.C.: Absolute lung density in experimental canine pulmonary edema. *Invest Radiol.*, 14: 261—269, 1979
- 5) Robinson, P.J. and Kreel, L.: Pulmonary tissue attenuation with computed tomography: Comparison of inspiration and expiration scans. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 3: 740—748, 1979
- 6) Rosenblum, L.J., Mauerl, R.A., Wellenstein, D. E., Thomas, F.D., Bassano, D.A., Raasch, B.N., Chamberlain, C.C. and Heitzman, E.R.: Density patterns in the normal lung as determined by computed tomography. *Radiology*, 137: 409—416, 1980
- 7) Morooka, N., Watanabe S., Masuda, Y. and Inagaki, Y.: Estimation of pulmonary water distribution and pulmonary congestion by computed tomography. *Jpn. Heart J.*, 23: 697—709, 1982
- 8) Rhodess, C.G., Wollmer, P., Fazio, F. and Jones, T.: Quantitative measurement of regional extravascular lung density using positron emission and transmission tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 5: 783—791, 1981