

## 胸部 X 線動画像におけるピクセル値変化量計測の有用性： 放射性同位元素 (RI) 計数値との比較

田中 利恵<sup>†</sup>, 真田 茂<sup>†</sup>, 藤村 政樹<sup>††</sup>, 安井 正英<sup>††</sup>,  
林 則夫<sup>†††</sup>, 岡本 博之<sup>†</sup>, 辻 志郎<sup>†</sup>, 南部 祐子<sup>††††</sup>, 松井 修<sup>†††††</sup>

<sup>†</sup>金沢大学医薬保健研究域保健学系 〒920-0942 石川県金沢市小立野 5-11-80

<sup>††</sup>金沢大学大学院医学系研究科細胞移植学・呼吸器内科 〒920-8640 石川県金沢市宝町 13-1

<sup>†††</sup>金沢大学附属病院放射線部 〒920-8641 石川県金沢市宝町 13-1

<sup>††††</sup>金沢大学附属病院検査部 〒920-8641 石川県金沢市宝町 13-1

<sup>†††††</sup>金沢大学大学院医学系研究科経血管診療学・放射線科 〒920-8640 石川県金沢市宝町 13-1

(2009年1月6日受付, 2009年1月28日最終受付)

## Usefulness of measuring changes in pixel value on breathing chest radiographs : Comparison with count of radioactive isotope

Rie TANAKA<sup>†</sup>, Shigeru SANADA<sup>†</sup>, Masaki FUJIMURA<sup>††</sup>, Masahide YASUI<sup>††</sup>,  
Norio HAYASHI<sup>†††</sup>, Hiroyuki OKAMOTO<sup>†</sup>, Shiro TSUJI<sup>†</sup>, Yuko NANBU<sup>††††</sup>, Osamu MATSUI<sup>†††††</sup>

<sup>†</sup>Division of Health Sciences, Radiology, Graduate School of Medical Science, Kanazawa University ; 5-11-80 Kodatsuno,  
Kanazawa, 920-0942, Japan

<sup>††</sup>Department of Cellular Transplantation Biology, Respiratory Tract Medicine, Graduate School of Medical Science,  
Kanazawa University ; 13-1 Takaramachi, kanazawa, 920-8640, Japan

<sup>†††</sup>Department of Radiology, Kanazawa University Hospital ; 13-1 Takaramachi, Kanazawa, 920-8641, Japan

<sup>††††</sup>Department of Clinical Laboratory, Kanazawa University Hospital ; 13-1 Takaramachi, Kanazawa, 920-8641, Japan

<sup>†††††</sup>Department of Radiology, Graduate School of Medical Science, Kanazawa University ; 13-1 Takaramachi,  
Kanazawa, 920-8640, Japan

(Received on January 6, 2009, In final form on January 28, 2009)

**Abstract :** X-ray translucency of the lungs changes depending on inspired volume. In this study, the usefulness of measuring changes in pixel value on dynamic chest radiographs was assessed in comparison with count of radioactive isotope. In 12 abnormal subjects, there was a good correlation between them ( $r=0.77$ ). In eight normal controls, the changes in average pixel value measured in lung unit were almost equal in the right and left lungs, which was consistent with normal respiratory physiology. The results indicated that ventilation performance could be evaluated based on the changes in pixel value on dynamic chest radiographs.

**Key words :** Ventilation, Lung, Functional imaging, Image analysis, Flat-panel detector (FPD)

### 1. 緒言

呼吸器の診断および治療戦略の決定において、生活の質 (QOL) に大きく影響する肺機能情報は、形態情報に並ぶ重要な所見である。スパイロメーターを用いた肺機能検査では、肺活量、残気量、拡散能などを取得し、左右肺の総合的な機能が評価されている。一方、画像から機能情報を評価する手法として、肺換気シンチグラフィ、呼吸器 Computed tomography (CT)、Magnetic resonance imaging (MRI) がある[1-6]。これらの画像検査では、病態を形態と機能の両面から評価し、確定診断へと導く。しかしながら、コストや手技の点で、日常的に繰り返し行えるものではない。そこで注目したいのが、胸部 X 線撮影による肺機能評価である。

肺はその吸気レベルによって、X 線透過性が変化する。Fig. 1 に、胸膜収縮性変化により右肺の換気が著しく低下した症例を示す。肺換気が保たれている左肺は、含気量の変化にともない肺野内の X 線透過性は変化しているが、右肺ではその変化が小さいことが分かる。これは、肺胞内

含気量の増減による、単位容積あたりの肺血管および気管支密度の変化に起因する[7, 8]。この変化の程度から肺機能を評価するため、胸部単純 X 線撮影時に呼気撮影が追加されることもある。しかし、画像からの機能評価は、呼吸生理に関する深い知識が必要である。

近年広く普及したデジタル X 線撮像装置と画像処理によれば、微細な変化をも機能情報として提供可能になる。我々はこれまでに、動画対応フラットパネルディテクタ (FPD) を用いた胸部 X 線動態撮影法の開発を行ってきた[9]。デジタル X 線撮像装置とコンピュータ画像解析によれば、定量評価が可能になる。開発手法の初期臨床評価では、ピクセル値の変化量が、肺換気シンチグラフィ所見と類似した分布をとることを確認した[10]。しかし、その類似性を客観的に明示するには至らなかった。そこで本稿では、計測単位を肺とした単純なモデルで、ピクセル値の呼吸性変化量と放射性同位元素 (RI) 計数値との相関分析を行った。胸部 X 線動画像におけるピクセル値計測の有用性と、同一被写体における左右肺の機能評価ツールとして可能性を検証したので報告する。

## 2. 方法

### 2-1 対象

肺換気シンチグラフィ検査の受診歴のある呼吸器疾患症例 (12 症例, 39-82 歳, 中央値 67, M:F=9:3), および正常例 (8 症例, 21-51 歳, 中央値 26, M:F=7:1) を対象とした。なお本研究は, 金沢大学医学部の倫理委員会の承認を得て行なわれ, 被検者には撮影に関する十分な説明を行い, 同意を得た。

### 2-2 画像の取得

最大努力呼吸過程を, 動画対応 FPD 搭載 X 線透視システム (SONIAL VISION Safire 2; Shimadzu, Kyoto, Japan) を用いて撮影した (110 kV, 80 mA, 6.3 ms, SID 1.5 m, 7.5 fps)。8 秒間の撮影時間内に, 吸気および呼気の両位相を取得するために, オートボイスシステムを用いた。また, 最大努力呼吸となるように, 撮影前には呼吸法の練習を行った。取得画像のマトリックスサイズは, 1440×1440 pixels, ピクセルサイズは 260×260 μm, 撮像視野は 38×38 cm である。画像は 16 bits グレースケールで, ピクセル値は検出器入射線量の対数と比例関係にある。

### 2-3 ピクセル値の計測

胸部 X 線動態画像診断では, 呼吸過程のフレームからも様々な機能情報が得られる。しかし, 本研究では, ピクセル値の最大吸気-呼気間変化量の計測を目的とするため, 最大吸気フレームおよび最大呼気フレームのみを解析対象とした。

ピクセル値の計測は, パーソナルコンピュータ (operating system, Windows XP, Microsoft, Redmond, WA, USA; CPU, Pentium 4, 2.6 GHz; Memory, 2 GB) にて, 自作ソフトウェアにより行った (開発環境, Borland C++ Builder Professional 6.0, Borland 社)。まず, 肺尖部-横隔膜間距離を自動計測し, その距離が最大または最小となるフレームを, それぞれ最大吸気フレーム, 最大呼気フレームとした[11]。今回, 肺血流の影響を大きく受ける肺門部および左室辺縁を計測対象外とするため, 肺野認識は手動で行った (Fig.1)。片肺ごとに平均ピクセル値を計測し, 最大吸気-呼気間変化量を算出した。平均ピクセル値変化量について, 左右肺の合計に対する各肺の変化量の割合  $P_V$  (%)

を, (1)式から算出した。

$$P_V (\%) = \frac{\Delta P_{V\_r} \text{ (or } \Delta P_{V\_l})}{\Delta P_{V\_r} + \Delta P_{V\_l}} \times 100 \quad (1)$$

$$\Delta P_{V\_r} = P_{V_{exp\_r}} - P_{V_{ins\_r}}$$

$$\Delta P_{V\_l} = P_{V_{exp\_l}} - P_{V_{ins\_l}}$$

$\Delta P_{V\_r}$  および  $\Delta P_{V\_l}$  は, 右肺の平均ピクセル値変化量および左肺の平均ピクセル値変化量をそれぞれ表す。 $\Delta P_{V_{exp\_r}}$  および  $\Delta P_{V_{ins\_r}}$  は, 右肺で計測した最大呼気および最大吸気時の平均ピクセル値を表し,  $\Delta P_{V_{exp\_l}}$  および  $\Delta P_{V_{ins\_l}}$  は, 左肺で計測した最大呼気および最大吸気時の平均ピクセル値を表す。

### 2-4 RI カウントの算出

RI 計数値は, ガンマカメラ (ECAM duet, Tokyo, Japan) を用いて撮影した肺換気シンチグラフィ (使用薬剤:  $^{99m}\text{Tc}$  ガス 370 MBq, 撮像方向: 0 度, 45 度, 90 度, 135 度, 180 度, 225 度, 270 度, 315 度, 収集時間: 1 方向 5 分, マトリックスサイズ: 256×256 pixels) から算出した。 $^{99m}\text{Tc}$  はガンマ線放出核種で, 経口吸入された  $^{99m}\text{Tc}$  ガスは気流によって肺に分布する。肺換気シンチグラフィは,  $^{99m}\text{Tc}$  から放出されるガンマ線を体外から計数する画像検査で, ガンマ線のカウント分布から肺換気分布を評価することができる。体外のディテクタに到達するまでのガンマ線減弱が大きいので, 前面像 (0 度方向) は肺前面の, 後面 (180 度方向) は肺後面の肺換気分布を強く反映した画像となる。そこで, 2 次元投影像である X 線画像と比較するにあたり, 前面 (0 度方向) と後面 (180 度方向) の加算平均画像を作成した。得られた加算平均画像を対象に, 肺野を手動トレースして関心領域 (ROI) を設定した (ImageJ ver. 1.41, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>)。ROI 内の平均ピクセル値左右肺の合計カウントに対する各肺のカウントの割合  $RI_{cnt}$  (%) を, (2)式から算出した。

$$RI_{cnt} (\%) = \frac{RI_{cnt\_r} \text{ (or } RI_{cnt\_l})}{RI_{cnt\_r} + RI_{cnt\_l}} \times 100 \quad (2)$$

$RI_{cnt\_r}$  および  $RI_{cnt\_l}$  は, 右肺および左肺の計数値をそれぞれ表す。

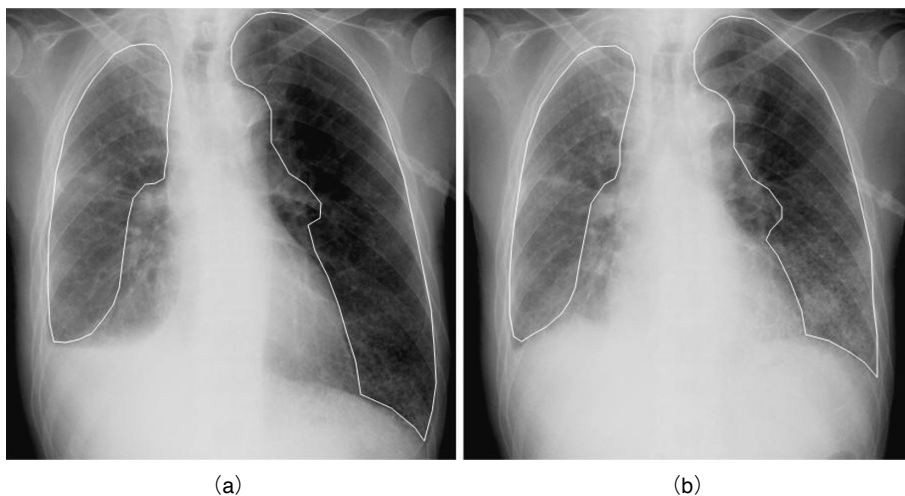


Fig.1 Dynamic chest radiographs in (a) the maximum inspiratory and (b) expiratory phase (Case No. 12, Obstructive pulmonary disease, 74-year-old Man). X-ray translucency in the lung areas change resulting from the changes in air volume in the alveoli. Average pixel values were measured in each lung traced by the white lines.

## 2-5 統計解析

呼吸器疾患症例 12 名について、「2 変数  $Pv$ - $Rlcnt$  の回帰直線の傾きが 0 である」という帰無仮説を検定した（傾きの検定）[12]。さらに、2 変数  $Pv$ - $Rlcnt$  の相関係数を算出した。一方、肺換気シンチグラフィ所見のない正常例 8 例については、 $Pv$  が正常肺の呼吸生理を反映した値であるかどうかを、「左右肺で  $Pv$  に差がない」という帰無仮説を立て t 検定により検証した。

## 3. 結果

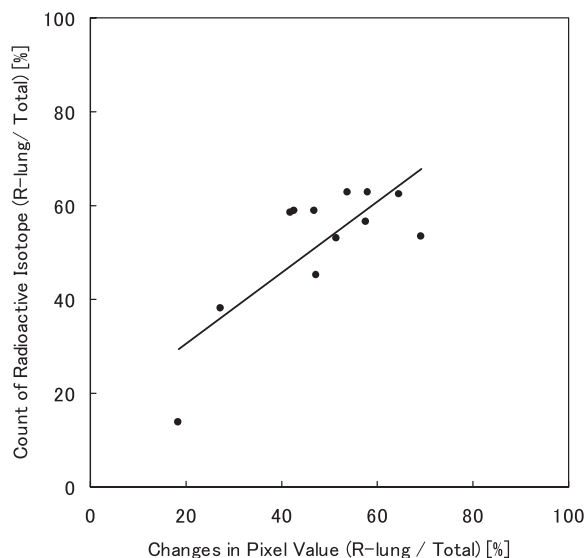
呼吸器疾患症例の  $Pv$ ,  $Rlcnt$  を Fig. 2 および Table に示す。「2 変数  $Pv$ - $Rlcnt$  の回帰直線の傾きが 0 である」という帰無仮説は棄却され ( $p=0.01$ )、2 変数の関連性が示された。相関係数は 0.77 であった。一方、正常例 8 例の平均  $Pv$  ± 標準偏差は、右肺および左肺でそれぞれ  $52 \pm 2.9\%$ ,  $48 \pm 2.9\%$  となり、左右で有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。

## 4. 考察

肺単位で計測した  $Pv$ ,  $Rlcnt$  に関連がみられたことから、ピクセル値の最大吸気-呼気間変化量から、肺単位の換気能を評価できることが示された。正常例の  $Pv$  は左右肺でほぼ等しく、これは、正常肺の肺活量比（右肺：左肺 = 55 : 45）[13] とほぼ一致した。したがって、ピクセル値の最大吸気-呼気間変化量の左右比が正常比から外れた場合、一方の機能異常を検出できると考える。例えば、Fig. 1 に示した右肺の換気が著しく低下した症例（Case No. 12）の  $Pv$  は 18.5% であった。本法は間接的かつ相対的な肺機能評価法であるものの、同一被写体における経時変化評価ツールとして期待できる。

しかしながら、12 症例中 3 症例で、左右肺の比が  $Pv$  と

$Rlcnt$  で逆転した（症例番号 4, 5, 11）。また、12 症例中 1 症例（症例番号 10）で、 $Pv$  と  $Rlcnt$  に大きな違いがみられた。この原因として、肺シンチグラフィ撮像時と X 線動態撮影時の吸気量の違いが第一に考えられる。また、吸入ガス分布と、肺血管・気管支密度変化という、計測対象の違いも一因として考えられる。今後の臨床評価をとおして、ピクセル値の変化量があらわす臨床的意味を明らかにしていく必要がある。さらに、今回計測したピクセル値の最大吸気-呼気間変化量には、肺野内の肋骨面積変化も



**Fig.2**  $Pv$  and  $Rlcnt$  of the right lung in the abnormal cases  
 $Pv$ : The rate of changes in average pixel value measured in each lung between the maximum inspiratory and expiratory phase to the total changes of both lungs.  
 $Rlcnt$ : The rate of count of radioactive isotope measured in each lung to the total changes in both lungs.

**Table**  $Pv$  and  $Rlcnt$  in the subjects with pulmonary diseases (N=12)

Case No.	Disease	Age	Sex	$Pv$ (%)		$Rlcnt$ (%)	
				Right lung	Left lung	Right lung	Left lung
1	Pulmonary fibrosis	62	M	53.8	46.2	62.7	37.3
2	Bronchiolitis obliterans (BO)	74	F	58.1	41.9	62.7	37.3
3	Bronchiolitis obliterans (BO)	39	F	64.6	35.4	62.5	37.5
4	Chronic obstructive pulmonary disease (DOPD)	77	M	47.0	53.0	58.8	41.2
5	Pulmonary fibrosis	56	F	42.5	57.5	58.7	41.3
6	Emphysema	58	M	47.4	52.6	45.0	55.0
7	Asthma	67	M	51.5	48.5	52.8	47.2
8	Pulmonary fibrosis	82	M	57.6	42.4	56.5	43.5
9	Pulmonary fibrosis	81	M	27.5	72.5	38.0	62.0
10	Chronic obstructive pulmonary disease (DOPD)	76	M	69.1	30.9	53.2	46.8
11	Asthma, Emphysema	77	M	41.8	58.2	58.4	41.6
12	Pleural contractility disease	74	M	18.5	81.5	13.7	86.3

$Pv$ : The rate of changes in average pixel value measured in each lung between the maximum inspiratory and expiratory phase to the total changes of both lungs.

$Rlcnt$ : The rate of count of radioactive isotope measured in each lung to the total changes in both lungs.

含まれている。この影響を低減する補正法を開発することで、本法の計測精度をさらに高められる可能性がある。また、局在診断法としての可能性を明らかにするために、細分化された計測単位での検証が急務である。そして、様々な症例での評価を通して、診断基準や適応疾患を見極めていく必要がある。今回は肺単位での評価であったため省略したが、局所評価の際には、体厚や女性乳房を補正する必要もあるだろう。

## 5. 結語

肺単位で計測したピクセル値の呼吸性変化量と RI 計数値には関連があり、胸部 X 線動画像におけるピクセル値計測の有用性が示された。局在診断法としての可能性を明らかにするために、細分化された計測単位での検証が急務である。

## 謝辞

本研究は、文部科学省科学技術研究費、(財)コニカミノルタ画像科学振興財団、科学技術振興機構 (JST)、(財)医科学応用技術財団の助成を得て行われた。画像データの取得にあたりご協力いた丸文通商 (株) の菊地直樹氏、亀岡寛史氏、金沢大学附属病院放射線部の松井武司氏、河村昌明氏、山本友行氏、本稿の査読を担当いただいた先生方に心から感謝申し上げます。

## 引用文献

- [1] David M, Athol U, Michael B, et al. Bronchiectasis : Functional Significance of Areas of Decreased Attenuation at Expiratory CT. *Radiology*, 193, 369-374, 1994.
- [2] Johnson JL, Kramer SS, Mahboubi S. Air trapping in children : evaluation with dynamic lung densitometry with spiral CT. *Radiology*, 206, 95-101, 1998.
- [3] Suga S, Tsukuda T, Awaya H, et al. Impaired Respiratory Mechanics in Pulmonary Emphysema. Evaluation with Dynamic Breathing MRI. *J. Magn. Reson. Imaging*, 10, 510-520, 1999.
- [4] Suga K, Tsukuda T, Awaya H, et al. Interactions of regional respiratory mechanics and pulmonary ventilatory impairment in pulmonary emphysema : assessment with dynamic MRI and xenon-133 single-photon emission CT. *Chest*, 117,1646-1655, 2000.
- [5] Salerno M, Altes TA, Mugler JP 3<sup>rd</sup>, et al. Hyperpolarized noble gas MR imaging of the lung : potential clinical applications. *Eur J Radiol*, 40.33-44, 2001.
- [6] Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D, et al. Dynamic oxygen-enhanced MRI reflects diffusing capacity of the lung. *Magn Reson Med*, 47, 139-1144, 2002.
- [7] West JB. Ventilation – how gas gets to the alveoli. In : *Respiratory Physiology – the Essentials* 6th ed. Philadelphia, PA : Lippincott Williams & Wilkins ; 2000 ; 11-19.
- [8] Squire LF, Novelline RA. *Fundamentals of Radiology*, 4th ed. Cambridge, Massachusetts, and London : Harvard University Press ; 1988.
- [9] Tanaka R, Sanada S, Okazaki N, et al. : Evaluation of pulmonary function using breathing chest radiography with a dynamic flat panel detector : primary results in pulmonary diseases. *Invest Radiol*, 41, 735-745, 2006.
- [10] 田中利恵, 真田 茂, 藤村政樹, 他 : 動画対応フラットパネルディテクタによる肺機能イメージング. *日放技学誌*, 2009 (Submitted).
- [11] Tanaka R, Sanada S, Kobayashi T, et al. : Computerized methods for determining respiratory phase on dynamic chest radiographs obtained by a dynamic flat-panel detector (FPD) system, *J Digit Imaging*, 19, 41-51, 2006.
- [12] 井上克己, 岡本博之, 城戸照彦 : 第 8 章 相関と回帰, *医療統計学の基礎*. 医学出版, 125-152, 東京, 2003.
- [13] 有田秀穂 : 呼吸の辞典, 朝倉書店, 東京, 2006 年.