

《原 著》

肺血流シンチグラフィによる肺換気運動イメージの作成

藤井 忠重* 金井 久容** 平山 二郎* 半田健次郎*
 草間 昌三* 矢野今朝人*** 平野 浩志***

要旨 肺・胸郭系の換気による動きを解析する目的で、シンチカメラ-ミニコンピュータシステムを用い、 ^{99m}Tc -MAA の肺血流シンチグラフィを応用した肺換気運動イメージを考案した。最大吸気位 (I) および最大呼気位 (E) の肺血流シンチグラムから、 ^{99m}Tc -MAA 粒子を肺局所の指標とし、換気に伴う MAA 粒子の分布密度の変化を放射能の変化率 $(E-I)/I$ として算出し、その機能像を作成した。 $(E-I)/I$ の (+) 成分の画像は肺内の動きを示し、局所換気量とほぼ対応する分布パターンを示し、その両肺の総和は肺活量と $r=0.83$ の相関を認めた。 $(E-I)/I$ の (-) 成分の画像は肺辺縁、横隔膜の動きを描出し、これらの異常が検出できた。本法は換気による肺・胸郭系の動きを多方向から評価でき、局所肺とともに 1 側肺ないし両側肺当たりの動きを定量でき有用である。

I. はじめに

局所肺機能検査法は各種呼吸器疾患において病態生理の解明、治療方針の決定などに重要な情報を提供する。この主要な検査手段として核医学的方法があり、肺血流シンチグラフィ、ガンマデンストメトリー^{1,2)}、動態トランスミッションシンチグラフィ³⁾、放射性ガスによる換気シンチグラフィおよびエロソール吸入肺シンチグラフィなどにより、換気・血流の検討がなされている。肺血流シンチグラフィは肺動脈血流分布を描画する方法であり、多くの疾患で補助診断法として、また、肺塞栓症や肺血管病変では直接的な診断法として利用され、有用な情報を提供する。最近では ^{99m}Tc -MAA などにより、短時間に多方向の良質な画像が得られ、さらに体位変換^{4,5)}や運動負荷⁶⁾を応用し肺循環動態を推定する方法も試みられている。

著者らは ^{99m}Tc -MAA の肺血流シンチグラフィを利用して換気に伴う肺・胸郭系の動きを解析する独自の方法を考案した。すなわち、 ^{99m}Tc -MAA 粒子を肺局所の指標とすることにより、換気に伴う MAA 粒子の分布密度の変化を放射能の変化として捉え、これを機能像として作成するとともに定量化し、その意義を検討した。

II. 方 法

低エネルギー用、高感度の平行コリメータを装着したシンチカメラ (東芝製, GCA-401) - ミニコンピュータシステムを用いた。

仰臥位で ^{99m}Tc -大凝集アルブミン (MAA) 6~10 mCi を静注し、前後・左右など通常の画像を収録する。次いで前面像を主体に各種撮像方向で被験者と検出器の位置関係を同一に保持したまま、息ごらえ可能な同一収録時間 (通常 7~20 秒) で最大吸気位および最大呼気位の画像を収録する。最大吸気位像 (I) と最大呼気位像 (E) は 64×64 のマトリックスサイズで収録し、9 点スムージングを行うとともに 4 画素当たりの平均値として表示する。両画像から各画素ごとに換気に伴うカウントの変化率を $(E-I)/I$ の式で算出する。ただし、両画像とも最高カウントの 20% 以下の値を示す画素はバックグラウンドとして計算の対象外とし

* 信州大学医学部第一内科

** 丸の内病院内科

*** 信州大学医学部附属病院中央放射線部

受付: 62 年 11 月 13 日

最終稿受付: 63 年 2 月 17 日

別刷請求先: 松本市旭 3-1-1 (☎ 390)

信州大学医学部第一内科

藤井 忠重

た. Fig. 1 の模式図に示すごとく, $(E-I)/I$ は (+) 成分と (-) 成分から構成されているため, 両成分を分離し, おのおのを別個に表示した画像を作成する.

以上の画像から1側肺ごとに $(E-I)/I$ の (+) 成分の総和および (-) 成分の総和を求め, 換気に伴う肺・胸郭系の動きの指標とする. その他, 1側肺ごとに (+) 成分の総和を画像 I の画素数 A_I で除し, 肺の大きさ(面積)で補正した値として $(E-I)/I \cdot A_I$ も算出する. 画像 I と E から同一レベルの等高線(通常 30% レベル)を肺輪郭として選択し, $(E-I)/I$ の像に重ね合わせる. これにより, 画像上での位置関係の把握および横隔膜・肺辺縁の動きの観察に利用するとともに, 画像 I と E の肺輪郭内の画素数 A_I と A_E を求め, 換気に伴う肺輪郭の大きさの変化 $A_I - A_E$ とその変化率 $(A_I - A_E)/A_I$ も算出した.

III. 成 績

Figures 2, 3 に実例(サルコイドーシス)を示す. 胸部写真 (Fig. 2a) で両側の肺門・縦隔リンパ節腫脹を認める. 肺機能では VC 3.21 l, %VC 104.0%, FEV_{1.0}% 88.2%, %TLC 83.4% で, その他の諸量にも異常を認めない. Fig. 2b・c は画像 I と E であり, 肺血流分布はほぼ正常で換気に伴う両画像の変化が明らかである. 画像 I と E の最高

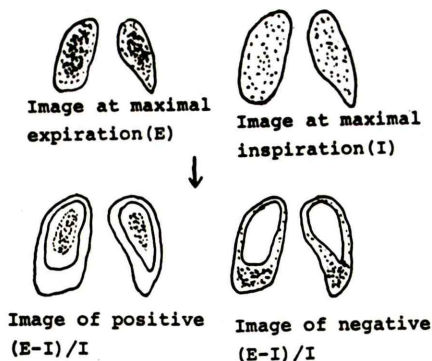


Fig. 1 Schema of imaging of $(E-I)/I$ from perfusion scintigrams at maximal expiration and inspiration.

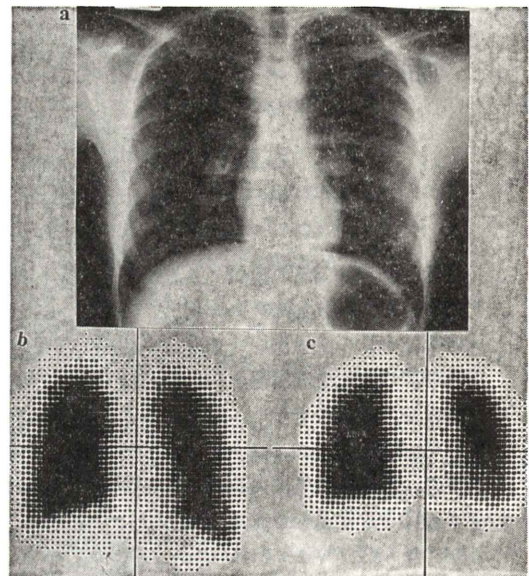


Fig. 2 A case of sarcoidosis.

a: Chest X-ray film showing bilateral hilar and mediastinal lymphadenopathy, b, c: Perfusion lung scintigrams at maximal inspiration and expiration. Perfusion is almost normal and changes of the lung edge in size is apparent.

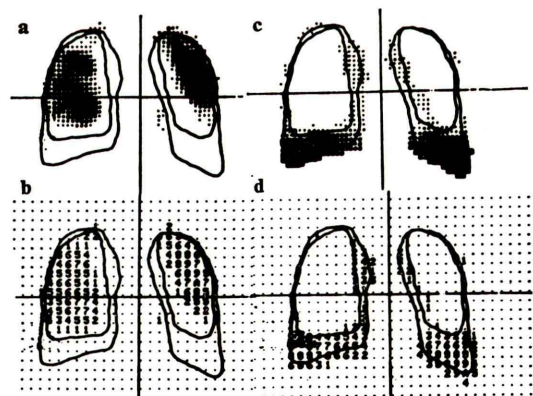


Fig. 3 Images of $(E-I)/I$ of same case in Fig. 2.

a, b: The images of positive component of $(E-I)/I$ showing the ventilatory motion of regional pulmonary areas, c, d: The images of the negative component of $(E-I)/I$ showing the ventilatory motion of the lung edges. These images are almost normal.

カウントは189と240, また, 総カウントは143,147と128,154である. Fig. 3aは $(E-I)/I$ の(+)成分の像に画像IとEにおける最高カウントの30%レベルの等高線を重ね合わせた像である. Fig. 3cは(-)成分の像である. Fig. 3bと3dはFig. 3aと3cの像を4画素当たりの平均値を用いて10段階の数値表示で示した像である. (+)成分は画像Eの肺輪郭内にほぼ分布し, 中心部が高値で周辺部が低値を示し画像Eに近似するパターンを示すが, それと異なり最高値は左肺に存在する. (-)成分は画像EとIの肺輪郭の間に肺辺縁を形成するごとく分布し, 特に下部(横隔膜部)での分布量が多い. 以上より, (+)成分の1側肺当たりの総和, 1画素当たりの平均値および最高値を算出すると, 右肺は43.51, 0.12, 0.31, 左肺は37.24, 0.11, 0.45となり, 右肺は左肺に比し肺全体の動きは大きいが単位面積当たりの動きは同程度である. 同様に(-)成分の値は右肺が79.20, 0.19, 0.67, 左肺が74.72, 0.22, 0.84となる. 画素数は右肺が412から268, 左肺が333から201に変化し, その変化率 $(A_I - A_E)/A_I$ は右肺0.34, 左肺は0.39となる.

30例において画像Iの総カウントを算出すると, 50,180~261,880に分布し, 平均 $113,300 \pm 46,000$ である. また, 画像IとEの総カウントから, その変化率 $(E-I)/I$ を算出すると $-10.5 \sim +5.5\%$ に分布し, 22例が負の値, 3例はほぼ等しく, 5例は正の値を示し, 平均 $-1.6 \pm 2.9\%$ となり, 両画像の総カウントはほぼ等しいと見なせる. また, 1画素当たりの最高カウントは画像Iで58~409に分布し平均 191 ± 88 カウントであり, 画像Eで69~454に分布し平均 228.0 ± 93.4 である.

Figure 4は肺血流シンチグラム上複雑な血流障害がなく, 肺血流と換気が均等分布していると考えられる30例において, $(E-I)/I$ の(+)成分の両肺の総和と肺活量との関係を示したものである. 対象は原発性肺癌7例, 気管支喘息4例, びまん性間質性肺炎, びまん性汎細気管支炎, サルコイドーシス, および転移性肺腫瘍の各2例など

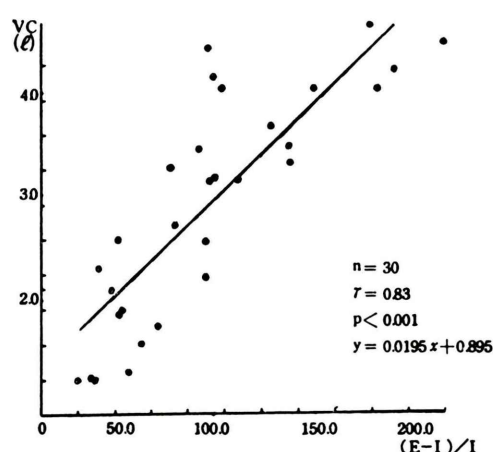


Fig. 4 Relationship between sum of positive $(E-I)/I$ of the both lungs and vital capacity (VC).

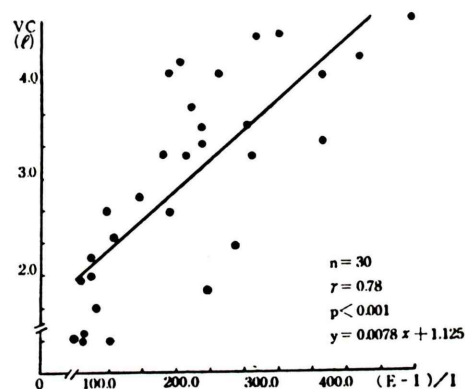


Fig. 5 Relationship between sum of both components of $(E-I)/I$ of the both lungs and vital capacity (VC).

を含む. 肺活量は $1.10 \sim 4.60$ lに分布し平均 2.83 ± 1.12 lであり, (+)成分は $35.3 \sim 213.8$ に分布し平均 99.2 ± 47.9 である. 相関係数0.83と有意の相関を認め, 回帰式は肺活量 $(l) = 0.0195 \times (E-I)/I + 0.895$ となる.

$(E-I)/I$ の(+)成分の両肺の総和と(-)成分のその和と肺活量との関係(Fig. 5)をみると, 前者は $79.5 \sim 497.8$ に分布し平均 218.7 ± 111.7 であり, 肺活量 $(l) = 0.0078 \times (E-I)/I + 1.125$ で, 相関係数0.78の相関を認めるが, Fig. 4に比しパラツキがやや大きい.

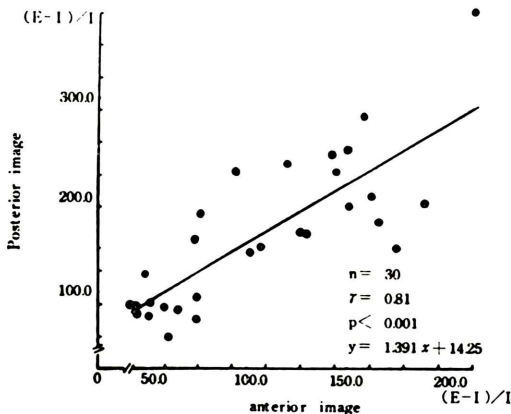


Fig. 6 Relationship of sum of positive $(E-I)/I$ of the both lungs between in the anterior image and posterior image.

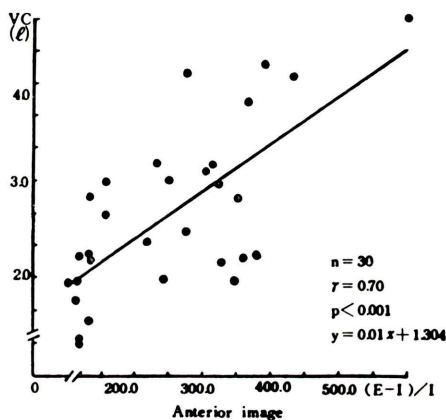


Fig. 7 Relationship between vital capacity (VC) and sum of positive $(E-I)/I$ of the both lungs in the anterior image and posterior image.

$(E-I)/I \cdot A_I$ の両肺の和と %肺活量の関係を見ると、前者は 0.09~0.39 に分布し平均 0.23 ± 0.07 、後者は 30.7~124.0% に分布し平均 $82.0 \pm 26.6\%$ であり、%肺活量 $= 171.5 \times (E-I)/I \cdot A_I + 42.3$ の関係が得られるが、相関係数 0.47 と有意であるもののバラツキが大きい。

両肺当たりの肺輪郭 (画素数) の変化 $A_I - A_R$ と肺活量の関係では前者は 32~670 に分布し平均 237 ± 150 であり、肺活量 $(l) = 0.0046 \times (A_I - A_R) + 1.743$ の関係が得られ、相関係数 0.61 の有意の

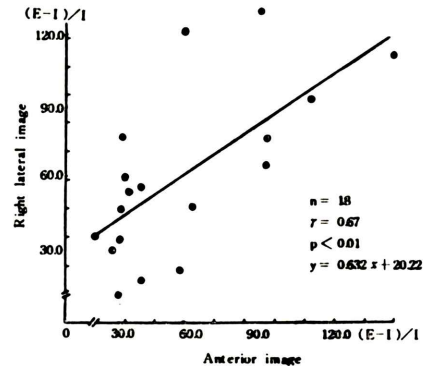


Fig. 8 Relationship of sum of positive $(E-I)/I$ of the right lung between in the anterior image and right lateral image.

相関 ($p < 0.001$) を認める。しかし、その変化率 $(A_I - A_R)/A_I$ の両肺の和と %肺活量の関係を見ると、前者は 0.12~0.99 に分布し平均 0.55 ± 0.22 で相関係数 0.40 と相関を認めない。

$(E-I)/I$ の (+) 成分の両肺の総和を前面像と後面像から算出し、両者の関係を見ると Fig. 6 に示すごとく、前面像のそれは 48.4~203.6 に分布し平均 105 ± 46.0 、後面像のそれは 56.1~400.3 に分布し平均 161.2 ± 79.0 であり、相関係数 0.81 と良好な相関が認められ、後面像の値がより高値を示す。肺活量との関係を見ると、前面像および後面像の値とも相関係数 0.66 と有意の相関を認める。一方、前面像と後面像の値の和と肺活量の関係 (Fig. 7) をみると、前者が 122.3~603.9 に分布し平均 266.7 ± 119.4 、後者が 1.33~4.90 l に分布し平均 $2.74 \pm 0.92 l$ であり、肺活量 $(l) = 0.01 \times (E-I)/I + 1.304$ の関係が得られ、相関係数 0.70 である。なお、前面像と後面像より求めた $(E-I)/I \cdot A_I$ の両肺の和の間にも相関係数 0.81 と有意の相関 ($p < 0.001$) を認める。

1 側肺当たりの $(E-I)/I$ の (+) 成分の値を前面像と側面像より求め、両者の関係を検討すると、右肺 (Fig. 8) では前面像の値が 21.1~148.6 に分布し平均 58.5 ± 35.7 、右側面像の値が 9.8~131.9 に分布し平均 60.2 ± 36.4 で、相関係数 0.67 と有意の相関を認める。左肺では相関係数 0.39 で両

Table 1 Relationship between perfusion lung image, image of (E-I)/I and inhalation image of ^{81m}Kr

Name	Disease	Radioactivity ratio of right to left lung		
		Perfusion image	Inhalation image	Image of (E-I)/I
1. IS	Bronchial asthma	1.5	1.1	1.3
2. NM	Pulmonary emphysema	1.0	1.1	2.2
3. FY	Chronic bronchitis	1.1	1.5	1.0
4. MM	Pleurisy	1.4	1.1	1.2
5. OT	Mediastinal tumor	1.1	0.7	0.3
6. SH	Sarcoidosis	1.3	0.9	2.1
7. MM	Primary lung cancer	0.3	1.0	1.5
8. MS	Primary lung cancer	6.0	2.0	2.1
9. AJ	Primary lung cancer	0.7	1.5	1.3
10. HC	Primary lung cancer	0.7	0.7	0.8
11. MY	Primary lung cancer	1.0	1.8	1.3
12. KT	Pulmonary emphysema	2.0	1.4	1.4

者の間に相関を認めない。

^{81m}Kr 吸入シンチグラム, 肺血流シンチグラムおよび (E-I)/I の各画像から左肺に対する右肺の分布量 (カウント) 比 (R/L) を算出し Table 1 に示す。肺血流像 (A) と (E-I)/I 像 (B) の R/L を対比すると, 7 例は両者の差 $(A-B)/B$ が $\pm 50\%$ 以内の近似した値を示すが, 5 例は $\pm 50\%$ を超えるか R/L が逆転した値を示す。一方, ^{81m}Kr 吸入像 (C) と (E-I)/I 像 (B) を対比すると, 両者の差 $(C-B)/B$ は 2 例のみが $\pm 50\%$ を超え, 10 例は近似した値を示す。また, 両画像は撮像条件 (検出エネルギーや肺の大きさ) や意味づけが異なり適切な対比とは言えないが, 両画像の局所分布パターンも比較的良好な対応を示した。さらに (E-I)/I の局所分布と X 線テレビ像のビデオデンスシグラム (局所換気) を対比すると, 後者は吸・呼気位間の肺組織密度の変化を X 線透過度の変化として表示し方法論的に前者と類似しており, 両者の成績は比較的良好な対応を示した。

IV. 症例呈示

1. O.T., 20 歳, 男性

前縦隔の yolk sac tumor で, 胸部写真 (Fig. 9) では右肺門部に腫瘤影を認める。肺機能では VC 4.68 l, %VC 106.6%, FEV_{1.0} 3.88 l, FEV_{1.0}% 82.9% である。肺血流シンチグラム (Fig. 10a) で

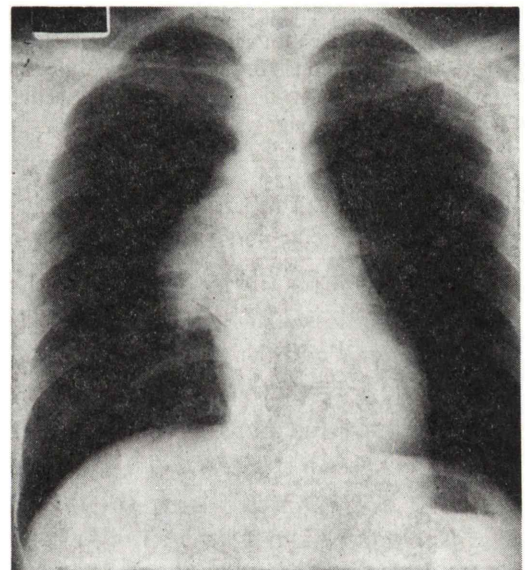


Fig. 9 A case of yolk sac tumor in the anterior mediastinum. Chest X-ray film showing a mass in the right hilum.

右肺門部に圧排像を認め, ^{81m}Kr 吸入像 (Fig. 10b) では右肺で明らかな減少を示し, 左肺に対する右肺の分布比は前者が 1.1, 後者が 0.7 である。Fig. 10c は (E-I)/I の (+) 成分と (-) 成分を同時に表示した像であり, 後者の成分により右肺における横隔膜の動きの減少と外側部の動きの増加が認められる。(+) 成分も右肺で減少し, 1 側肺の総

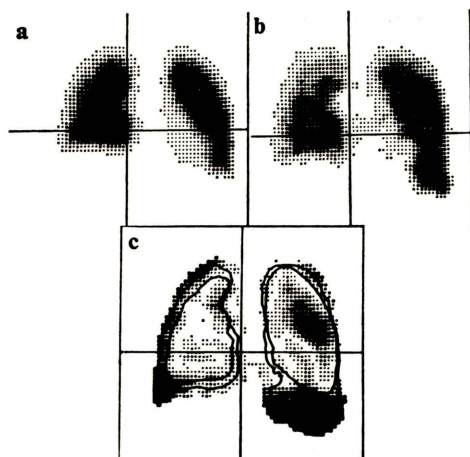


Fig. 10 Scintigrams in the anterior view of same case in Fig. 9.

a: Perfusion lung scintigram, b: Inhalation image of Kr-81m showing decreased activity in the right lung, c: Image of the positive and negative (E-I)/I showing decreased activity in the right lung.

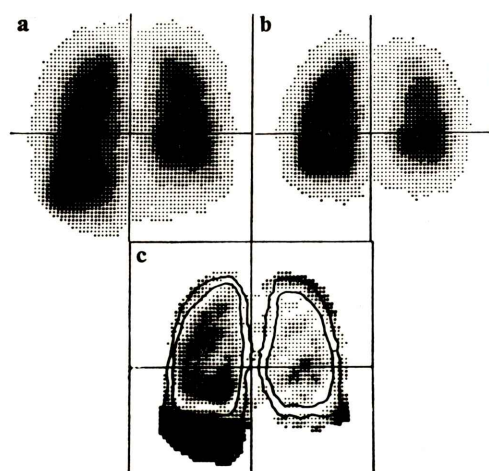


Fig. 11 Scintigrams in the posterior view of same case in Fig. 9.

a, b: Perfusion images at maximal inspiration and expiration showing perfusion decrease in the right lung, c: Image of the positive and negative (E-I)/I showing decreased activity in the right lung.

和, 1 画素当たりの平均値および最高値は右肺で 24.20, 0.04, 0.21, 左肺で 78.58, 0.11, 0.53 となり, これらの左肺に対する右肺の比は 0.3, 0.4, 0.4 となる. すなわち, 本例では (E-I)/I の分布は肺血流分布とは異なるが ^{81m}Kr 吸入分布と類似し, また, 本法により右側の横隔膜運動の異常が胸部写真より早期に検出できた (後に横隔膜高位が出現した). Fig. 11a・b は後面像での画像 I・E であり, 右肺の血流減少が認められ, (E-I)/I の像 (Fig. 11c) でも右肺での減少を示し, (+) 成分の 1 側肺の総和は右肺 72.15, 左肺 163.35 となる.

2. A.M., 59 歳, 男性

右上葉の無気肺を伴う右上幹原発の腺癌で $T_2N_1M_1$ である (Fig. 12). 肺機能では VC 3.41 l, %VC 100%, FEV_{1.0} 2.51 l, FEV_{1.0}% 72.6%, TLC 5.65 l, % TLC 87.4% であり, その他の諸値に異常を認めない. 肺血流シンチグラム (Fig. 13a) で右上肺野に血流欠損を認め, ^{81m}Kr 吸入像 (Fig. 13b) で右上肺野は欠損を示すが中・下肺野は良好な分布を示し, 左肺に対する右肺の分布比は前者は 0.7 であるが後者は 1.5 と逆転した値を示す.

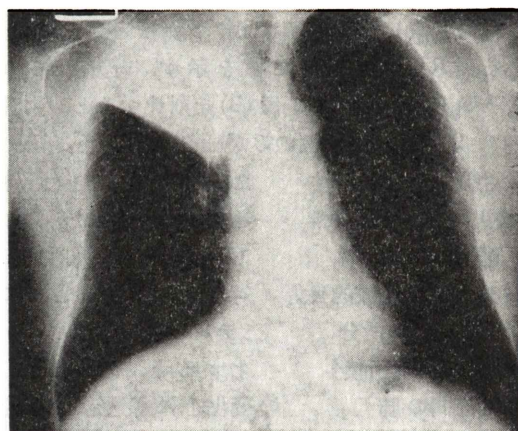


Fig. 12 A case of primary lung cancer. Chest X-ray film showing atelectasis of the right upper lobe.

(E-I)/I の (+) 成分の画像 (Fig. 13c) では 1 側肺の総和, 1 画素当たりの平均値および最高値が右肺で 78.43, 0.24, 0.56, 左肺で 59.27, 0.15, 0.44 であり, 1 側肺の総和の左肺に対する右肺の比は 1.3 となり, ^{81m}Kr 吸入像と類似した分布比とパ

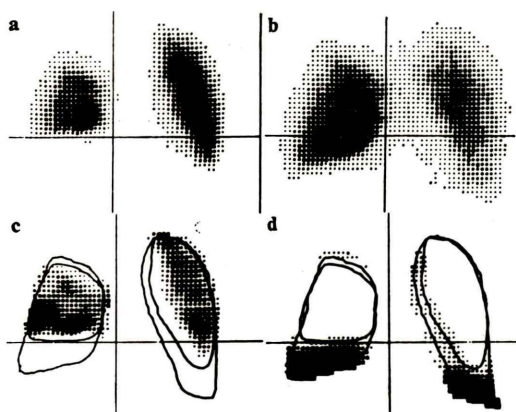


Fig. 13 Scintigrams of same case in Fig. 12.

a: Perfusion image showing perfusion decrease in the right upper lung field, b: Inhalation image of Kr-81m showing decreased activity in the right upper lung field and more increased activity in the right middle and lower lung fields than the left lung, c: Image of the positive (E-I)/I showing the similar pattern to the inhalation image of Kr-81m, d: Image of the negative (E-I)/I showing well maintained motion of the right diaphragm.

ターンを示す。(一)成分の画像 (Fig. 13d) では横隔膜の動きが両側でほぼ同程度に描出されている。X線テレビ像のビデオデンシグラム (Fig. 14) で局所換気量をみると、右上肺野で著明に減少しているが中・下肺野は左肺と同程度である。すなわち、本例は右肺で肺血流が減少しているが (E-I)/I はより高値で右中・下肺野の動きは良好であり、このことは ^{81m}Kr 吸入像とビデオデンシグラムでも良好な換気が示され裏づけられた。

V. 考 案

核医学的な局所肺機能検査法として、ガンマデシトメトリーによる換気・血流の検索^{1,2)}、動態トランスミッションシンチグラフィ³⁾ (振幅・位相イメージの作成) による呼吸パターンおよび局所換気量の検索、 ^{133}Xe による換気、血流などの機能像や洗い出し曲線の作成、 ^{81m}Kr による換気・血流の評価⁸⁾と肺辺縁の動きの解析⁹⁾など、多く

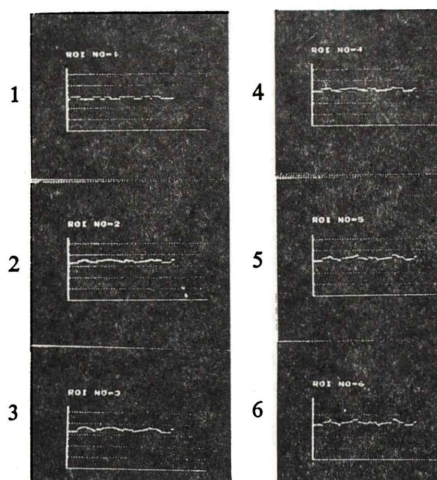


Fig. 14 Videodensigram of same case in Fig. 12. Ventilatory amplitude is decreased in the right upper lung field, but those in the right middle and lower lung fields are as high as those in the left middle and lower lung fields. 1, 2, 3: Right upper, middle and lower lung fields, 4, 5, 6: Left upper, middle and lower lung fields.

の方法が検討されている。

著者らの方法は肺辺縁を含む肺・胸郭系の換気に伴う動きを描画・定量し、間接的に局所換気量を推定する独特な方法である。本法の特徴は肺血流シンチグラフィを利用し、 $^{99m}\text{Tc-MAA}$ 粒子を肺内の指標とすることにより、換気運動に伴う MAA 粒子の分布密度の変化を放射能変化として捉え、その局所分布を描画するとともに 1 側肺ないし両側肺当たりの値として定量できる点にある。

最大呼気位の肺血流シンチグラム (E) は肺が縮小し MAA 分布密度が増すため、最大吸気位像 (I) に比し最高カウントと 1 画素当たりの平均カウントが高値を示す。したがって、画像 E から I を減算すると $E-I=0$ の部分 (等カウント部) を境にして内方の $E-I>0$ の部と外方で肺辺縁を形成するごとく分布する $E-I<0$ の部が認められる。両画像の総カウントはほぼ等しいと見なしうるため $E-I$ の (+) 成分の総和と (-) 成分の総和はほぼ等しく、両者とも動きの指標として利用できる。しかし、 $E-I$ は単に単位体積当たり

のカウントにより大きな影響を受けるため、画像 I のカウントで除して $(E-I)/I$ を動きの指標とした。また、 $(E-I)/I$ の (-) 成分は主として肺辺縁部の動きを描出するが、この部はカウントが少なく統計的変動を受けやすいため最高カウントの 20% 以下の部は計算から除外した。したがって 1 側肺ないし両側肺当たりの動きはカウントの多い領域から算出される (+) 成分を利用して求めた。

$(E-I)/I$ の (+) 成分の両肺の総和は肺活量 (肺全体の動き) と良好な相関を示し、また、局所的にも $(E-I)/I$ の分布はビデオデンスグラムの局所換気や ^{81m}Kr 吸入像の吸入気分布と比較的良好な対応を示した。このことは本法が 1 側肺ないし肺全体および局所肺の動き (換気) などを評価するうえに役立つことを示唆する。なお、 ^{81m}Kr 吸入像と $(E-I)/I$ の像の対比には前者が 1 回の吸入気分布を示し、後者とは意味づけ (吸・呼気位間の変化率で表示) が多少異なることや、 ^{99m}Tc と ^{81m}Kr の検出エネルギーの差異などの影響を考慮すべきである。

前面像から求めた $(E-I)/I$ (両肺の総和) は後面像のそれと良好な相関を示すが、肺活量との相関でみると前面像または後面像の値に比し両者の和の方が若干良好な相関を示した。一方、側面像から求めた 1 側肺当たりの $(E-I)/I$ は対側肺からの影響を受けるために前面像から求めた値との間に良好な相関を認めなかった。以上より、1 側肺当たりの肺の動きは前面像の値で概略的に把握できるが、より精度を向上させるためには前面像と後面像の値の和を用いるのが良いと考えられる。また、局所分布を詳細に評価するためには前後、左右の画像も利用すべきであり、殊に前後方向の動きを知るためには側面像が必須である。

換気に伴う放射能変化 $(E-I)/I$ には MAA 粒子の分布密度の変化以外に、肺組織の γ 線透過率の変化や γ 線透過距離の変化など、いくつかの要因が複雑に関与する。主要因は MAA 粒子の分布密度の変化であり、前面像の場合は特に上下、左右の二次元の動きに起因する変化が主体と考えられる。しかし、吸気時に γ 線透過率は増加 (カウ

ント増加) し MAA 粒子の分布密度は減少 (カウント減少) するなど、両者は互いに相殺する方向の変化であることを考慮する必要がある。著者らは ^{99m}Tc の体外線源を用い、7 例で最大吸気位 (I) と最大呼気位 (E) の放射能変化率 $(E-I)/I$ を右中肺野で測定したところ、平均 $-19.6 \pm 6.0\%$ の値を得た。本法の場合は MAA 粒子の肺内分布を考慮すれば体外線源の場合よりも影響は少ないと考えられるが、 $(E-I)/I$ を過少評価している点に留意すべきである。

前 (後) 画像の $(E-I)/I$ には純粋に胸郭の前後方向のみに動く成分は MAA の分布密度の変化として加算されていない。しかしながらこの値が肺活量と良好な相関を示したことは、肺活量に寄与する横隔膜運動の割合が約 70% を占める¹⁰⁾ ことより、MAA 粒子の動きの大部分は横隔膜運動と関連する上下および左右方向の動きで占められ、純粋な前後方向の動きは少ないことを示唆するものと考えられる。

$(E-I)/I$ を肺の大きさで補正した $(E-I)/I \cdot A_I$ は % 肺活量との間に低い相関を示したが、これは後者が体格 (肺の大きさ) 以外に年齢などの因子にも規定されているためと考えられる。また、画素数 (肺輪郭) の変化率 $(A_I - A_E)/A_I$ は % 肺活量との相関を認めなかったが、この理由には前述したもの以外に、本指標が二次元のみの動きを評価していること、肺辺縁の決定法に問題を有することなども関係すると考えられる。これに対し、 $(E-I)/I$ は概略的ながら三次元情報を含み、かつ、肺辺縁の決定を必要としない点でより好ましい指標である。

$(E-I)/I$ の (-) 成分の画像では主として肺辺縁部の動きが表示され、前・後面像では左右と上下方向が、側面像では上下と前後方向の動きが描出され、両画像とも上下方向、殊に横隔膜の動きが明瞭に描出される。なお、画像 I と E から一定レベルの等高線を選択・重ね合わせることで、概略的に肺辺縁の動きを観察し得たが肺辺縁の決定に問題を有する。これに対し、 $(E-I)/I$ の (-) 成分は肺辺縁を指定する必要がなく、しかも肺辺縁を含む

幅広い領域の動きを連続的に描画している点で有用である。

(E-I)/I は当然のことながら肺血流分布の描出されている領域のみで算出・描画され、肺塞栓症のごとく換気障害を伴わずに血流欠損を有する部位の動き(死腔換気)は除外される。しかし、肺疾患では換気障害から二次的に招来される血流障害や換気と血流の両者が一次的に障害される場合など、血流障害と換気障害の併存している場合が多いと考えられる。したがって、(E-I)/I は多くの症例で肺の動きを比較的良好に反映し、両側肺の総和が肺活量と良好な相関を示したと考えられる。しかし、個々の症例を評価する際には本法が血流欠損(死腔換気)部の動きを描出できず、肺の動き(換気)を過少評価している可能性を念頭に置く必要がある。

本法では $^{99m}\text{Tc-MAA}$ の投与量が比較的多いが、その必要量は呼吸停止の可能な時間に応じて調整できる。少量投与の場合には画像IとEをおのおの2~数回収録し、加算することで十分なカウントを有する画像が得られ、これらから平均値的な(E-I)/Iを得ることができる。本法の応用として、今後は種々の呼吸状態における動きの解析や呼吸同期法を利用する振幅・位相の解析、肺辺縁の動画表示などの検討が興味深い。

VI. 結 論

肺血流シンチグラフィを利用して換気による肺の動き(E-I)/Iを算出・定量し、その機能像を作成した。

1) (E-I)/Iの(+)成分の画像は肺内の動きを描出し、 ^{81m}Kr 吸入像やビデオデンスグラムによる局所換気とほぼ対応する分布を示した。

2) 前面像における(E-I)/Iの(+)成分の両肺の総和は肺活量と $r=0.83$ の相関を認め、肺活量(I) $=0.0195 \times (E-I)/I + 0.895$ の関係が得られた。

3) 前面像と後面像の(E-I)/I(両肺の総和)は $r=0.81$ の相関を示し、両者の和はおのおのの値に比し肺活量との相関がより良好であった。

4) (E-I)/Iの(-)成分の画像は肺辺縁、横隔膜の動きを描出し、肺辺縁の動きを障害する種々の異常が動きの減少として描出された。

5) 本法は換気による肺・胸郭系の動きを描出し、局所肺および1側肺ないし両側肺当たりの動きを定量でき、同時に肺血流分布も把握できるなど、局所肺機能検査法として役立つ。

本論文の要旨は第22回日本核医学会総会に発表した。

文 献

- 1) Zelefsky MM, Schlz RJ: Evaluation of regional pulmonary ventilation by gamma ray densigraphy. *Radiology* **91**: 1208-1213, 1968
- 2) Cattrell VG, Franklin DH, Kirkpatrick AE: Gamma densitometry in the study of ventilation and the pulmonary circulation. *Clin Radiol* **21**: 396-402, 1970
- 3) 町田喜久雄, 西川潤一, 大嶽 達, 他: 動態肺トランスミッションシンチグラムのTemporal Fourier Transform. *Radioisotopes* **31**: 195-196, 1982
- 4) 古館正従, 宮本 篤, 南 幸論, 他: 肺血流シンチグラフィによる肺高血圧の定量的評価。厚生省特定疾患原発性肺高血圧症調査研究班, 昭和52年度研究業績, pp. 115-120, 1978
- 5) 国枝武義: 肺血流シンチグラム解析よりえられる情報。日胸疾患誌 **20**: 29-37, 1982
- 6) 田中 健, 広沢弘七郎, 牧 正子, 他: 二回注入法とストレスデジタル肺血流像。核医学 **18**: 379-384, 1981
- 7) 石井 靖, 久野健志: IV肺シンチグラフィ。A機能的意味。金上晴夫編「新しい検査法からみた呼吸器疾患の診断」, 克誠堂, 東京, 1974, p. 166
- 8) 鈴木輝康, 石井 靖, 米倉義晴, 他: ^{81m}Kr による肺換気・血流分布の検討。Radioisotopes **27**: 24-29, 1978
- 9) Kaplan E, Gergans GA, Milo T: Dynamic imaging of the respiratory cycle with ^{81m}Kr . *Chest* **81**: 312-317, 1982
- 10) 本田良行: 臨床呼吸生理学(I)。真興交易医書出版部, 東京, 1977, p. 52

Summary

Imaging of Ventilatory Lung Motion Using Perfusion Lung Scintigrams

Tadashige FUJII*, Hisakata KANAI*, Jiro HIRAYAMA*, Kenjiro HANDA*,
Shozo KUSAMA*, Kesato YANO** and Hiroshi HIRANO**

**The First Department of Internal Medicine, **Division of Radiology,
Shinshu University School of Medicine*

Applying perfusion lung scintigrams, functional images representing the motion of the regional pulmonary areas and lung edges during ventilation were obtained in patients with various respiratory diseases.

Perfusion lung images at maximal inspiration (I) and expiration (E) were recorded for 7–20 seconds and stored after the intravenous injection of ^{99m}Tc -macroaggregated albumin (6–10 mCi), using a scintillation camera with a small digital computer. Changes of the radioactivity during ventilation in each pixel were calculated using an expression as $(E-I)/I$, and the functional image of $(E-I)/I$ was obtained. The image of $(E-I)/I$ consisted of positive and negative components. The positive component of $(E-I)/I$ visualized the motion of the regional pulmonary areas during ventilation, that nearly corresponded with regional ventilation on

videodensigram and inhalation image of ^{81m}Kr . The negative component of $(E-I)/I$ visualized the motion of the lung edges including the diaphragm during ventilation. The sum total of positive $(E-I)/I$ in the both lungs of the anterior image was correlated with that of the posterior image ($n=30$, $r=0.81$) and vital capacity ($n=30$, $r=0.83$). The sum total of positive $(E-I)/I$ in the right lung of the anterior image was correlated with that of the right lateral image, but there was no correlation between the sum total of positive $(E-I)/I$ in the left lung of the anterior image and left lateral image. This technique seems to be useful for the estimation of the regional pulmonary ventilation and motion of the lung edges.

Key words: Perfusion lung scintigram, Lung motion, Functional image, Regional ventilation, Regional pulmonary function.