

---

**ミニ・レビュー**

---

## 気道閉塞性肺疾患の換気異常：Spiral computed tomography (spiral CT) による肺dynamic densitometry (PDD) とゼノンガス肺 dynamic SPECTによる検出

菅 一 能

山口大学医学部放射線医学講座 宇部市南小串1-1-1 (〒755-8505)

**Key words：** Spiral computed tomography (spiral CT)、肺換気、ゼノンガス肺 dynamic SPECT、気道閉塞性肺疾患

### はじめに

従来、肺の気道閉塞性変化や air trapping の局在は、X線透視、呼気吸気X線像の比較、デクビタス体位X線像を用い検出されてきた。しかし、これらの方法では肺葉性や区域性の気道閉塞性変化の検出は困難である。最近、鋭敏に肺局所の野気道閉塞性変化を検出する方法として、超高速 computed tomography (CT) により呼吸中の肺野濃度変化を捉える pulmonary dynamic densitometry (PDD) が提唱されている。しかし、本法は特殊で高額な装置を必要とし広く普及するに至っていない。本研究では、汎用 spiral CT装置で簡便に施行可能なPDDを考案し、肺の気道閉塞性変化を検出する上での有用性を、ゼノンガスを使用した肺 dynamic SPECT検査と対比して検討した<sup>1)6)</sup>。

### 対象と方法

対象は、末梢気道または中枢気道に閉塞性変化が存在する19例（肺気腫9例、慢性気管支炎3例、中心型肺癌3例、大陰影を伴う珪肺症2例、気管支喘息1例、汎細気管支炎1例）および拘束性肺疾患6

例の肺疾患群と、コントロールとして健常ボランティア6例である。

患者は、仰臥位で定常状態の安静呼吸を行い、2回から3回の安静呼吸周期の8秒間に、上中下肺野の各同一肺野レベルにおいてspiral CTを施行した。Spiral CT で得られた連続データをオーバーラップさせることにより、0.2秒間隔の1フレーム/1秒にて同一肺野の断層像の36画像を再構成して作成した。得られた肺イメージ上で、末梢肺野に血管影をさけて関心領域を設定し、時間経過による肺野CT値の変動を示す time-density curve (PDD 曲線)を得た。

肺dynamic SPECTは、連続反復回転収集モードを備えた3検出器型SPECT装置（東芝社製9300 A/HG）を用いて行った<sup>1)6)</sup>。10mCi(370 MBq)のゼノンガスを閉鎖回路内で5-6分吸入後、平衡相および洗い出し相を30秒毎に5-6分にわたり撮像した。各検出器は連続的に120度の角度を回転してデータ収集し、30秒間の肺ゼノンガス放射能の変化を平均化した画像を得た。Spiral CTで設定した関心領域と同一肺部位にSPECT像上に関心領域を設定して、各肺領域におけるゼノンガス洗い出し半減時間(T1/2)を求めて評価した<sup>1)6)</sup>。

表1：健常肺における腹側肺と背側肺の呼吸による肺CT値変動の最大値(MALAC)とゼノンガス洗い出し半減時間(T1/2)の比較

	MALAC	T1/2
上肺野	腹側肺 43.7 HU±9.3	52.0 秒 ±2.8
	背側肺 63.7 HU±20.5*	46.2 秒 ±3.8**
中肺野	腹側肺 45.8 HU±11.3	51.4 秒 ±3.0
	背側肺 71.3 HU±28.3*	42.5 秒 ±3.4**
下肺野	腹側肺 48.2 HU±6.6	50.0 秒 ±3.5
	背側肺 91.6 HU±31.4*	41.0 秒 ±3.0**

\* MALAC はいずれの肺レベルでも背側肺の方が腹側肺よりも大きい (P < 0.001).  
\*\*ゼノンガス洗い出し半減時間(T1/2)はいずれの肺レベルでも背側肺の方が腹側肺よりも速い (P < 0.001).

正常肺野では、振幅の大きな規則正しい平滑な正弦波状のPDD曲線を呈した。また、PDD曲線の位相は各肺野で同期していた(図1)。表1に示すように各肺レベルで腹側と背側肺を比較すると、背側肺の方が有意に、肺CT値変動の最大値(MALAC: maximal amplitude in lung attenuation change)は大きく(P < 0.0001)、下肺レベルの背側肺で最も大きなMALACが認められた。左右肺では差異は認められなかった。肺全体でのMALACの平均は54.9 H.U. ± 24.5であった。吸気呼気を通じて肺野CT値は背側肺の方が有意に大きく(-809.9 HU ± 41.6 vs -723 HU.0 ± 72.1, P = 0.003)、PDD曲線は常に背側肺のものが腹側肺の曲線よりも上部に位置した。肺野CT値の差は呼気の方が吸気に比較して有意に大きかった(103.8 HU ± 71.2 vs 83.5 HU.0 ± 57.5; P = 0.001)。

Dynamic SPECT 検査では、いずれの肺レベルでも背側肺の方が腹側肺に比較して有意に洗い出し半減時間は短かった(P < 0.001)。また、洗い出し半減時間は下肺野の背側肺で最も短かった。すなわち、PDD曲線でMALACが大きな肺領域で洗い出しは早かった。全肺レベルの洗い出し半減時間(T1/2)の平均は、46.9 ± 5.3秒であった。

### 気道閉塞性病変

これに対し、dynamic SPECT 検査でゼノンガス洗い出し時間の遅延を示す気道閉塞性肺疾患群の19例では、振幅が小さく、かつ不規則で非同期性のPDD曲線が得られ、合計168肺領域で測定したMALACは31.6 H.U. ± 20.1と正常群に比較して有

表2：健常肺と疾患肺における呼吸による肺CT値変動の最大値(MALAC)とゼノンガス洗い出し半減時間(T1/2)の比較

	MALAC	T1/2
正常肺 (N = 6)	54.9 HU ± 24.5	46.9 秒 ± 5.3
疾患肺 (N = 25)		
気道閉塞性病変 (N = 19)	31.6 HU ± 20.1*	90.2 秒 ± 20.3*
拘束性肺疾患 (N = 6)	73.5 HU ± 47.7 <sup>N.S.</sup>	54.6 秒 ± 7.5 <sup>N.S.</sup>

\* P < 0.0001 (正常肺と比較)

意に低下していた(P < .0001)(図2, 表2)。さらに、正常肺で認められた、MALACおよび肺野CT値の生理的な腹背方向におけるグラディエントも消失していた。また、正常肺と異なり、腹側肺の方が背側肺よりも大きな呼吸によるCT値変動が認められる例や、背側肺のPDD曲線が腹側肺の曲線よりも下部に位置する例も存在した。肺野CT値の差も呼気の方が吸気に比較して小さい例も存在した。3例ではCT上、低吸収域は認められなかったが、PDD曲線は平坦化し不整であった。また、5例の肺気腫、1例の気管支喘息患者、1例の珪肺症では、呼気時に肺野濃度が低下する現象も認められた。

Dynamic SPECT 検査では、19例全例で3分以降でもゼノンガス貯留部が認められた。168肺領域のゼノンガス洗い出し時間は、正常肺に比較して有意に遅延していた(P < .0001)(表2)。また、MALACが正常肺の1SD以下の変動しか示さない肺領域の洗い出し時間は、正常肺の平均値以上のMALACを有する肺領域に比較して有意に延長していた(103.8 秒 ± 12.2 vs 57.5 秒 ± 12.2; P < 0.0001)。

### 拘束性肺疾患

拘束性肺疾患では、ゼノンガスの洗い出しには遅延を認めず、PDD曲線も正常肺に近いパターンを呈した。例外的に放射線肺炎およびUIPの各1症例で、非同期性のPDD曲線が認められたが、これらの症例においてもMALACは減少していなかった。統計学的に肺CT値変動の最大値は正常群と比較して有意な減少は認められなかった(表2)。

肺疾患群および正常群で関心領域を設定した251

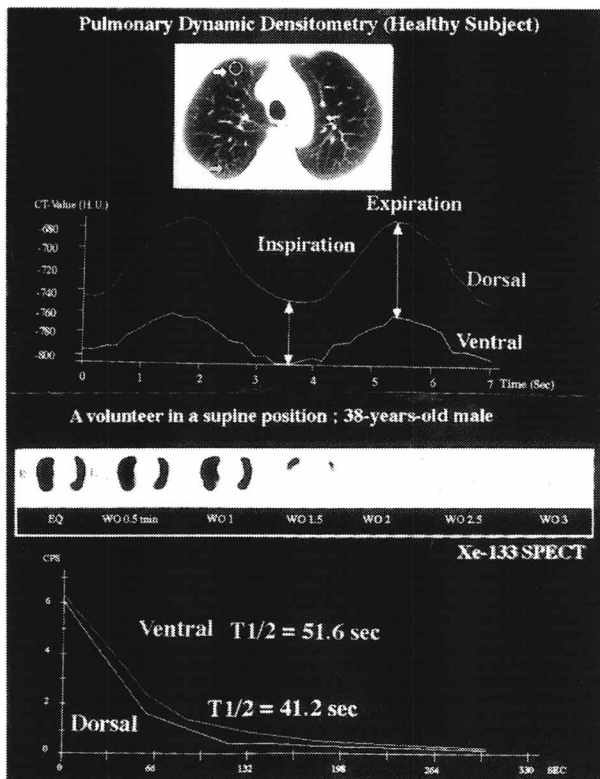


図 1：正常肺。CT dynamic densitometry (PDD) 曲線は規則的で平滑な振幅の大きいシノソイド状を呈する(上図)。腹側肺と背側肺では同調性が認められる。呼吸中の肺 CT 値変動の最大値 (MALAC) は背側肺の方が腹側肺に比較して大きい。これに対応して、dynamic SPECT 検査では、ゼノンガス洗い出し半減時間 (T1/2) は背側肺の方が腹側肺に比較して速い (下図)。

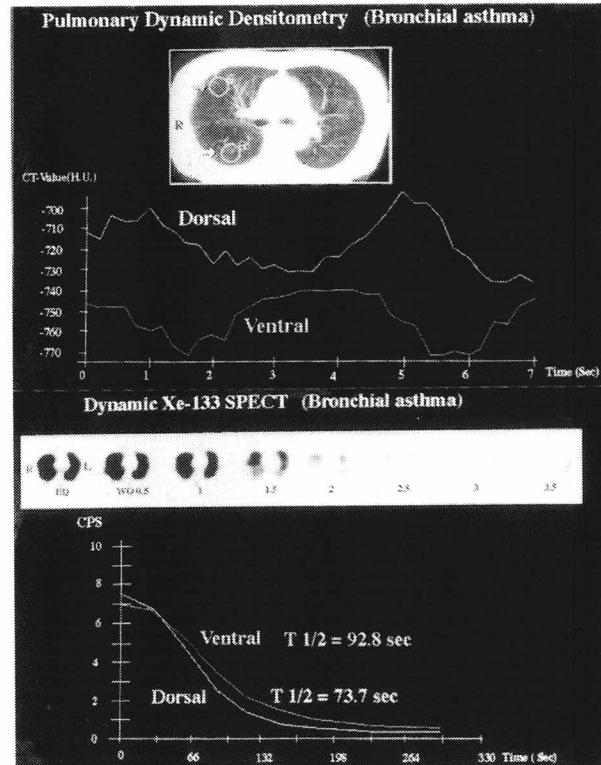


図 2：気管支喘息患者。PDD曲線は不規則で、MALACは減少し、さらに腹側肺と背側肺では非同調性的変化が認められる(上図)。dynamic SPECT 検査の肺野のゼノンガス洗い出し曲線では、いずれの肺領域でもゼノンガス洗い出し半減時間は正常肺に比較して遅延している (下図)。

末梢肺野において、MALACは、ゼノンガス洗い出し時間との間に有意な相関が認められた ( $r = -.842$ ) (図 3)。また、19例の気道閉塞性病変と 6 例の拘束性肺疾患の合計 25 例の予測 1 秒率は、MALACと逆相関が認められた。

### 考 察

CT 上の呼吸中の肺濃度変化は、空気量のみならず肺組織量や血流量の影響を受けると考えられるが、今回の検討では spiral CT を使用し安静呼吸中に得た PDD 曲線は、呼吸中の速い肺野 CT 値の変化を定量するのに有用であった。Dynamic SPECT と対比すると、PDD は呼吸障害を検出するのに有用な方法であることが示唆された。

気道閉塞性病変では、呼吸による肺 CT 値変動の

最大値 (MALAC) の減少、不規則あるいは非同調性の PDD 曲線により示唆されることが判明した。さらに、正常肺で認められた生理的な腹背方向の肺吸収値のグラディエントも消失していた。MALAC の減少は、換気障害による肺空気量の変化の減少によると考えられる。不規則な PDD 曲線は、肺における不規則な空気の流入流出によると考えられる。非同調性の曲線は、関心領域を設定した肺領域が過膨張を示す肺により圧迫されたり、Pendeluft 現象によることが考えられる。また、生理的な腹背方向の肺吸収値のグラディエントの消失は、換気の低下した肺領域の不均等な分布によると考えられる。

拘束性肺疾患では、ゼノンガス洗い出しには遅延を認めず、PDD 曲線も正常肺に近いパターンを呈した。これは、拘束性肺疾患では気道は開存していることが多く、空気量の変化が正常に近い状態で認め

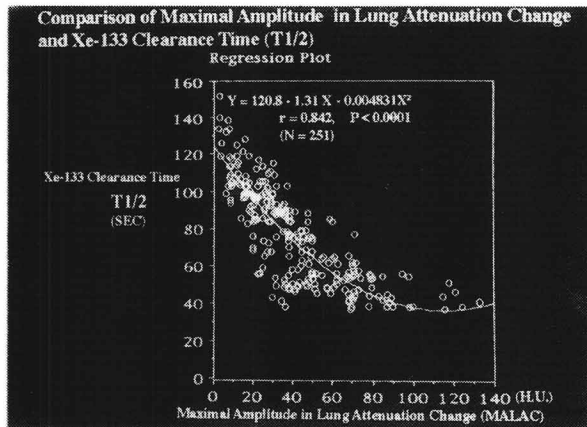


図3：31症例の合計251肺領域における呼吸中の肺CT値変動の最大値(MALAC)とゼノンガス洗い出し半減時間(T1/2)の比較。両者の間には逆相関が認められる。

られることによると考えられる<sup>1,2)</sup>。

疾患群および正常群の関心領域を設定した251末梢肺野において、MALACは、ゼノンガスの洗い出し時間との間には非直線的な相関が認められた。これは肺野のCT値変動が空気量の変化のみならず血液量などの変化をうけることによると考えられる。しかしながら、今回のMALACとゼノンガスの洗い出し時間の相関は、PDD曲線により換気の状態を反映し得ることが示唆された。また、PDD曲線は通常のCTで明らかな低吸収域が指摘されない場合でも換気異常を検出し得ており、dynamic SPECT検査と同様に比較的鋭敏な方法と考えられた<sup>1,2)</sup>。

以上、spiral CTを使用し安静呼吸中に得たPDDは、気道閉塞性肺疾患における肺局所換気障害を検出するのに容認できる検査法であると結論づけられる。本法は簡便で短時間に施行可能な方法であり、通常のCTによる肺の形態的評価の補助として肺局所換気能を評価に有用な検査法と考えられる。

## 引用文献

- 1) Suga K, Nishigauchi K, Kume N, Takano K, Mtsunaga N. Regional ventilatory evaluation using dynamic imaging of Xenon-133 washout in obstructive lung disease: an initial study. *Eur J Nucl Med* 1995; **22**: 220-226
- 2) Suga K, Nishigauchi K, Kume N, Koike S, Takano K, Tokuda O, Matsumoto T, Matsunaga N. Dynamic pulmonary SPECT of xenon-133 gas washout. *J Nucl Med* 1996; **37**: 807-814
- 3) Suga K, Nishigauchi K, Matsunaga N, Kawakami Y, Kume N, Sugi K, Esato K. Radionuclide imaging in emphysema after lung volume reduction surgery. *Clin Nucl Med* 1997; **22**: 683-686
- 4) Suga K, Nishigauchi K, Kume N, Kawakami Y, Kawamura T, Matsumoto T, Matsunaga N. Three-dimensional surface display of dynamic pulmonary Xenon-133 SPECT in patients with obstructive lung disease. *J Nucl Med* 1998; **39**: 889-893
- 5) Suga K, Shimizu K, Kume N, Nishigauchi K, Matsumoto T. Evaluation of abnormal regional ventilation in patients with lung cancer using three-dimensional display of dynamic xenon-133 SPECT. *Nucl Med Commun* 1998; **19**: 593-598
- 6) Suga K, Nishigauchi K, Matsunaga N, Shimizu K, Kume N, Sugi K, Esato K. Preliminary application of three dimensional displays of dynamic pulmonary Xenon-133 SPECT in the evaluation of patients with pulmonary emphysema for thoroscopic lung volume reduction surgery. *Eur J Nucl Med* 1998; **25**: 410-416

## Ventilation Abnormalities in Obstructive Airways Disorder: Detection with Pulmonary Dynamic Densitometry by Means of Spiral CT Versus Dynamic Xe-133 SPECT

Kazuyoshi SUGA, Kazuya NISHIGAUCHI, Norihiko KUME, Katsuyuki TAKANA, Shinji KOIKE, Kensaku SHIMIZU, Naofumi MATSUNAGA.

*Department of Radiology, Yamaguchi University School of Medicine,  
1-1-1 Minami Kogushi, Ube, Yamaguchi 755-8505, Japan*

### SUMMARY

**PURPOSE:** The usefulness of pulmonary dynamic densitometry (PDD) acquired by spiral computed tomography (CT) to detect ventilation abnormalities in obstructive airway disorders was evaluated in comparison with dynamic xenon-133 (Xe-133) SPECT.

**MATERIALS AND METHODS :** Eight-second, continuous spiral CT scan was performed over 2-3 respiratory cycles in six healthy volunteers, 19 patients with airways disorder, and six patients with restrictive lung disease. The data set were reconstructed as 36 one-second temporarily overlapping images at 0.2-second intervals, and regional PDD curves were displayed. Regional ventilation was assessed by Xe-133 clearance-time on Xe-133 SPECT.

**RESULTS:** Normal lungs showed smooth, sinusoidal PDD curves with maximal amplitude in lung attenuation change (MALAC) of  $54.9 \pm 24.5$  HU; whereas, obstructive airways disorders with prolonged Xe-133 clearance showed significantly diminished MALAC ( $31.6 \pm 20.1$  HU,  $P < 0.0001$ ), accompanied by irregularity, asynchronous phase, and deterioration of normal ventral-to-dorsal gradients in MALAC and lung attenuation. Restrictive diseases without prolonged Xe-133 clearance did not show statistically significant reduction in MALAC. In total 251 lung regions, regional MALAC correlated inversely with Xe-133 clearance-time ( $r = -0.842$ ).

**CONCLUSION:** PDD acquired by spiral CT is acceptable for detecting ventilation abnormalities in obstructive airways disorder.

(Radiology, 202; 855-862, 1997.)