

Multidetector-row CTによる肺血栓塞栓症の画像診断

林 宏光 吉原 尚志 栗林 茂彦 日高 史貴 舘野 展之
貝津 俊英 高浜 克也 高木 亮 田島 廣之 隈崎 達夫

要 旨：肺血栓塞栓症の診断においてmultidetector-row CTは短時間での施行が可能な低侵襲的診断法であり、高い感度と特異度を有することから近年その施行頻度は増加傾向にある。肺血栓塞栓症の診断に引き続き、塞栓源として重要な下肢深部静脈血栓症の評価も同時に行うことが可能であり、本疾患に対する包括的治療戦略を決定するうえで重要な情報を提供する診断法と考えられる。(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 754-760)

Key words: pulmonary thromboembolism, deep vein thrombosis, CT, helical CT, multidetector-row CT

はじめに

静脈系で形成された血栓や空気、脂肪、羊水、腫瘍細胞塊、異物などの塞栓子が血流に乗って肺の機能血管である肺動脈系を閉塞し、急性または慢性の肺循環障害を招く病態を肺塞栓症という。肺動脈閉塞の結果、末梢の肺組織が出血壊死となったものを肺梗塞というが、頻度は高くない。塞栓子の由来としては50～80%が下肢および骨盤部の深部静脈血栓症からの血栓の遊離によるものと考えられ^{1,2)}、一方、深部静脈血栓症の50～60%に肺血栓塞栓症が検出されるといわれる^{3,4)}。したがって、肺血栓塞栓症は深部静脈血栓症の合併症ともいえる。

欧米において肺血栓塞栓症は発生頻度の高い疾患であり、米国では年間20万件以上が診断され、うち5万人が死亡しているとされる⁵⁻⁷⁾。これに対し本邦における年間診断数は3,492人と試算され、この結果は欧米に比較して著しく低いものである⁸⁾。しかし連続剖検例の結果からは、欧米では肺血栓塞栓症が30～64%に認められるのに対し⁹⁻¹¹⁾、本邦においても11～24%で認められると報告されており¹²⁻¹⁵⁾、その格差には先の臨床診断頻度ほどの乖離がない。したがって本邦においても肺血栓塞栓症は決してまれな疾患ではなく、疾病に対する認識不足により臨床診断率が低いものと推測

される。

本症の診断率を向上させるためには、まず臨床評価が重要である¹⁶⁾。臨床評価としては最近の外科手術や悪性腫瘍、長期臥床、肥満の有無などの危険因子を知ることや、呼吸困難、胸痛などの発症時の症状に加え、酸素吸入開始前の動脈血ガス分析や血漿D-dimerの測定などが参考となる。しかし本症に特異的な臨床症状はなく、しかも塞栓量によりその病態はさまざまなためにこれらの臨床評価のみからでの診断は困難であり、画像診断による診断確定が必須である。肺血栓塞栓症の画像診断法としては胸部単純X線写真、心臓超音波検査、核医学検査、CT、MRI、肺動脈造影法がある¹⁶⁻¹⁸⁾。これらの検査法の中で現在最も注目され、また施行頻度も増加傾向にあるものはCTである。

CTによる肺血栓塞栓症の診断：下肢静脈血栓症の診断も含めて

従来のコンベンショナル(ケーブルさばき型)CTの時代においては、肺血栓塞栓症の診断にCTが用いられることは少なく、またこの装置で診断し得る範囲は主肺動脈から中間肺動脈幹までの中枢側に限られたものであった¹⁷⁾。この理由としては、得られる画像スライス幅が厚く連続性も不良であり、さらに検査時間が長いこと肺動脈の造影効果が低下して血栓の分離が不良で

あったためと考えられる。

ヘリカル(高速らせん)CTの登場により体軸方向への連続性に優れた容積情報が短時間で得られるようになり、肺血栓塞栓症に対する診断能も向上した。これは連続撮影が可能となったことで、短時間で高コントラストの肺動脈の薄層横断像が得られるようになったことによる。区域肺動脈までの中枢側肺血栓塞栓の検出能は感度、特異度ともに90%程度に向上した^{19, 20)}。

ヘリカルCTに続き、近年multidetector-row CT(マルチスライスCT, MDCT)が開発された。MDCTは体軸方向に複数の検出器列を配置し、X線管球が1回転する間に複数の画像情報を取得することができるCT装置である²¹⁾。4列の検出器列を装備したMDCTの衝撃的な登場から5年も経過していないものの、その開発速度は目覚ましく、現在では16列MDCTが主流となり2004年末には64列型MDCTも登場する予定である。ヘリカルCTに比較したMDCTの臨床的利点は、さらなる時間分解能ならびに空間分解能の向上に集約され、より広範囲をさらに短時間で、かつ体軸方向の空間分解能を

劣化することなく検査できるようになった。現行の16列MDCT装置では全肺の1mm程度の薄層横断像を5～10秒程度の検査時間で得ることが可能である。MDCTによる肺血栓塞栓症の診断能は感度96%、特異度88%と報告され、臨床的に満足し得るものと考えられる^{22, 23)}。また、MDCTの画像データは体軸方向に良好な連続性を有することから、multiplanar reformation(MPR)により冠状断や矢状断で肺動脈内の血栓を評価したり、いわゆる三次元CT血管造影像として病変部を立体的に評価することも可能である(Fig. 1, 2)。

肺血栓塞栓症の診断においてCTを用いることで肺動脈内の血栓を造影欠損像として直接描出し得るのみならず、肺梗塞や無気肺の有無、肺野の濃度変化、胸水の有無、ならびに心拡大や心 液の貯留の程度を評価することも可能である。また肺動脈血栓塞栓症と類似する臨床症状を生じることのある肺炎や心大血管病変、慢性閉塞性肺疾患、胸膜病変などを否定できることも大切な役割である。

さらにMDCTの導入により、胸部造影CTによる肺血

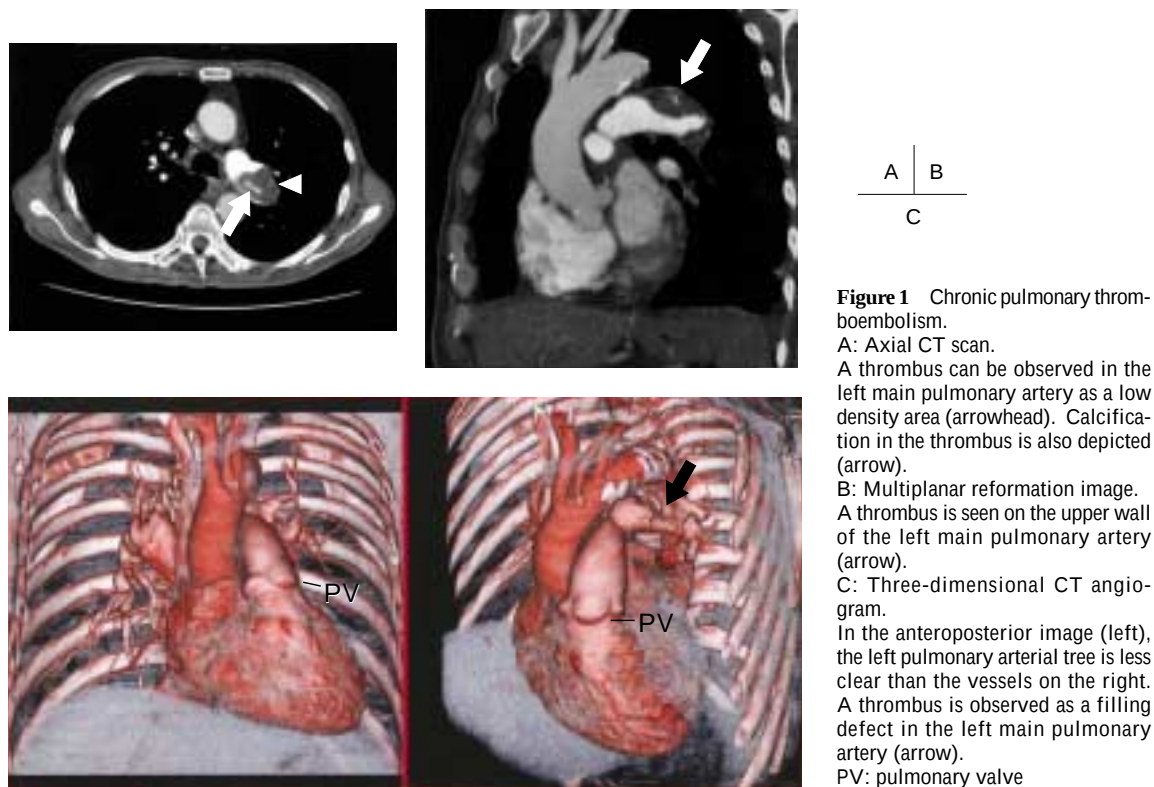


Figure 1 Chronic pulmonary thromboembolism.

A: Axial CT scan.

A thrombus can be observed in the left main pulmonary artery as a low density area (arrowhead). Calcification in the thrombus is also depicted (arrow).

B: Multiplanar reformation image.

A thrombus is seen on the upper wall of the left main pulmonary artery (arrow).

C: Three-dimensional CT angiogram.

In the anteroposterior image (left), the left pulmonary arterial tree is less clear than the vessels on the right. A thrombus is observed as a filling defect in the left main pulmonary artery (arrow).

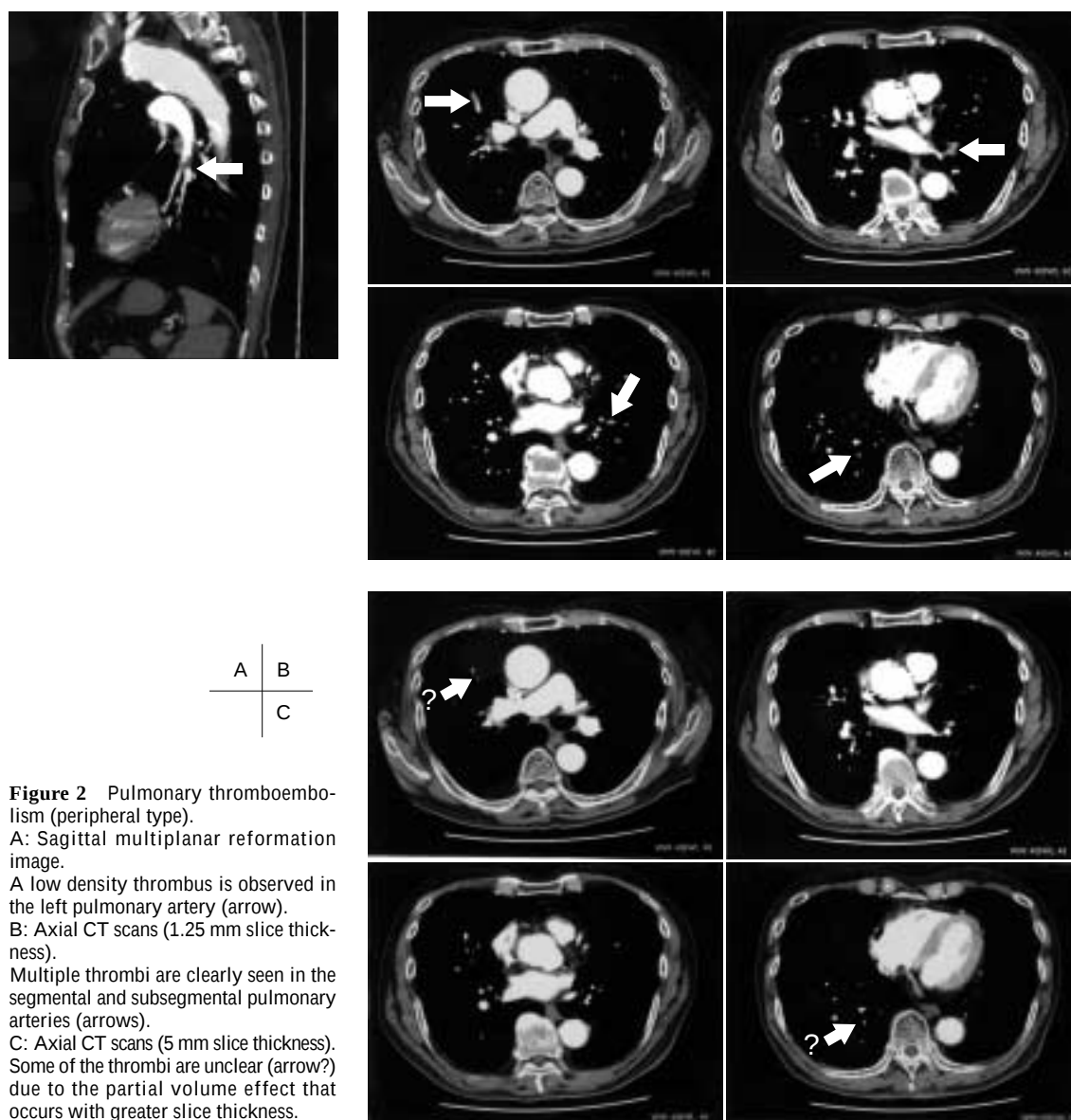
PV: pulmonary valve

栓塞症の検査に引き続き、塞栓源として重要な骨盤部から下腿に及ぶ深部静脈血栓の有無を一連の検査として一度に施行することが可能になった (Fig. 3, 4)^{24, 25)}。これは決して複雑な検査ではなく、胸部CTの検査のための造影剤注入後3分～3分半後より、骨盤部から下腿にかけ連続的に撮影を行い、得られた薄層横断像を動画像表示させて静脈内の陰影欠損である血栓を検索するものである。必要に応じ腹部から撮影を行い、下

大静脈内の血栓の評価も併せて行うこともできる。肺血栓塞栓症の診断に引き続いてMDCTで行う深部静脈血栓症の診断能は、感度97%、特異度100%と報告されている²⁵⁾。

肺血栓塞栓症の画像診断の実施率の変化

肺塞栓症研究会の報告によると1994年1月から1997年10月までの第1回登録と、1997年11月から1999年10



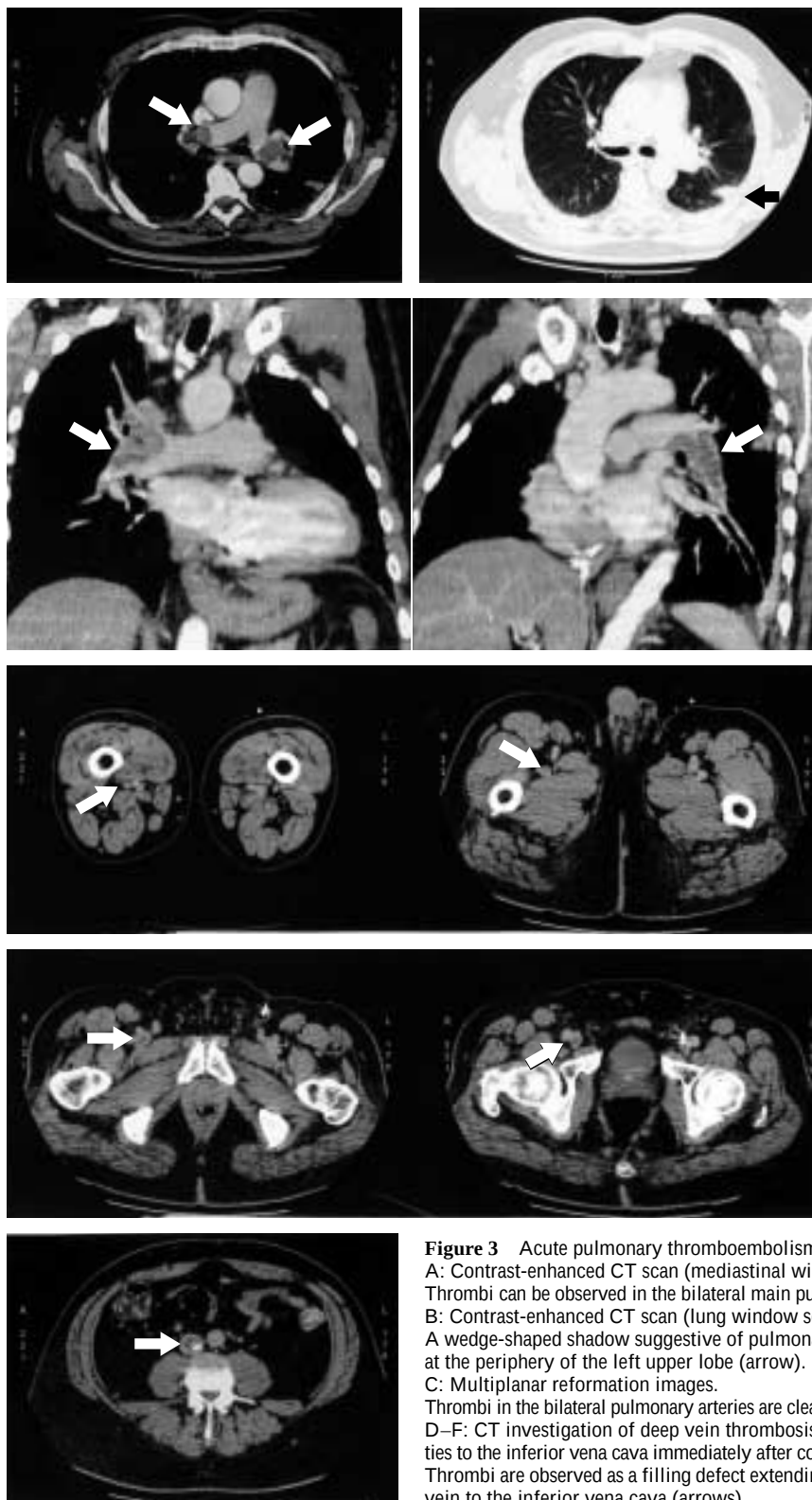


Figure 3 Acute pulmonary thromboembolism.
 A: Contrast-enhanced CT scan (mediastinal window setting).
 Thrombi can be observed in the bilateral main pulmonary arteries (arrows).
 B: Contrast-enhanced CT scan (lung window setting).
 A wedge-shaped shadow suggestive of pulmonary infarction is observed at the periphery of the left upper lobe (arrow).
 C: Multiplanar reformation images.
 Thrombi in the bilateral pulmonary arteries are clearly demonstrated (arrows).
 D–F: CT investigation of deep vein thrombosis from the lower extremities to the inferior vena cava immediately after contrast-enhanced chest CT. Thrombi are observed as a filling defect extending from the right popliteal vein to the inferior vena cava (arrows).

A	B
C	
D	
E	
F	



Figure 4 Curved-planar reformation image in a patient with deep vein thrombosis. A thrombus is seen as a filling defect extending from the left popliteal vein to the common iliac vein (arrows). The left lower extremity is swollen, and subcutaneous edema is also demonstrated (arrowhead).

月までの第2回登録における各種画像診断の実施率を比較してみると、肺血流シンチグラフィ実施率は第1回登録74.1%；第2回登録76.7%($p=0.50$)，以下、換気シンチグラフィ 28.2%；23.0%($p=0.64$)，肺動脈造影 45.3%；56.8%，CT 13.9%；57.6%($p<0.0001$)，MRI 2.3%；6.2%($p=0.019$)，経食道心エコー 0.6%；3.9%($p=0.015$)であった²⁶⁾。この結果から、肺血栓塞栓症の診断にCTが急速に用いられるようになってきていることが分かる。この理由としてはヘリカルCTならびにMDCTの普及により、短時間で低侵襲的に区域あるいは亜区域肺動脈までの血栓の指摘が可能になったためと考えられる。その後の2003年8月までの第3回登録の結果を第2回登録と比較すると、肺血栓塞栓症の画像診断におけるCTの施行頻度に変化がなかったが(57.6%→62.2%， $p=0.23$)，肺動脈造影 56.8%→36.7%， $p<0.0001$)，肺血流シンチグラフィ(76.7%→62.2%， $p<0.0001$)，MRA(6.2%→1.6%， $p=0.0014$)の施行は減少している²⁷⁾。

他の画像診断法と比較したMDCTの利点と限界

現在最も広く用いられている肺血流シンチグラフィと比較したCTの利点としては、検査が容易に施行で

き、かつ短時間で終了できること、読影は比較的容易であり、区域肺動脈までに限定すればその感度、特異度は90%を超え、PIOPED研究²⁸⁾の結果明らかとなった76%にも及ぶ追加検査が必要なnon-diagnostic scanを含む核医学検査より優れた診断能を有する可能性があること²²⁾，多くの鑑別すべき除外診断が可能であること，などが挙げられる。また現在、肺血栓塞栓症の診断のgold standardと考えられる肺動脈造影に比較すると、低侵襲的であり治療効果の判定など繰り返しの検査も可能である。

一方、CTの限界としては、亜区域肺動脈以下の評価は困難なことがあり、この範囲の診断能は肺血流シンチグラフィや肺動脈造影に劣ると考えられる。診断にはヨード造影剤を使用する必要があり、アレルギー患者や腎機能不良例での検査は困難な場合があり、また肺動脈圧測定など血行動態の評価は不可能である。

おわりに

肺血栓塞栓症は本邦においても決してまれな疾患ではなく、臨床症状から本症を否定し得ない場合には積極的な画像診断による確認が必要である。MDCTによる肺動脈の評価は、短時間での施行が可能な低侵襲的診断法であり、かつ肺血流シンチグラフィや肺動脈造影に劣らない診断能を有することから、積極的に施行すべき検査法と考えられる。また肺血栓塞栓症は下肢深部静脈血栓症の合併症とも考えられるため、MDCTによる下肢から下腿に及ぶ深部静脈血栓の同時評価は、本症の包括的な治療戦略を決定するうえで有用な情報を提供するものと思われる。

文 献

- 1) Hull R, D Hirsh J, Carter CJ et al: Pulmonary angiography, ventilation lung scanning, and venography for clinically suspected pulmonary embolism with abnormal perfusion lung scan. *Ann Intern Med*, 1983, **98**: 891-899.
- 2) Sandler DA, Martin JF: Autopsy proven pulmonary embolism in hospital patients: Are we detecting enough deep vein thrombosis? *J R Soc Med*, 1989, **82**: 203-205.
- 3) Huisman MV, Buller HR, ten Cate JW et al: Unexpected high prevalence of silent pulmonary embolism in patients with deep venous thrombosis. *Chest*, 1989, **95**: 498-502.
- 4) Moser KM, Fedullo PF, Litlejohn JK et al: Frequent asymptomatic pulmonary embolism in patients with deep

- venous thrombosis. JAMA, 1994, **271**: 223–225.
- 5) Dalen JE, Alpert JS: Natural history of pulmonary embolism. Prog Cardiovasc Dis, 1975, **17**: 259–270.
 - 6) Coon WW, Willis PW 3rd, Keller JB: Venous thromboembolism and other venous disease in the Tecumseh community health study. Circulation, 1973, **48**: 839–846.
 - 7) Prevention of venous thrombosis and pulmonary embolism. NIH Consensus Development. JAMA, 1986, **256**: 744–749.
 - 8) Kumasaka N, Sakuma M, Shirato K: Incidence of pulmonary thromboembolism in Japan. Jpn Circ J, 1999, **63**: 439–441.
 - 9) Freiman DG, Suyemoto J, Wessler S: Frequency of pulmonary thromboembolism in man. N Engl J Med, 1965, **272**: 1278–1280.
 - 10) Diebold J, Lohrs U: Venous thrombosis and pulmonary embolism. A study of 5039 autopsies. Pathol Res Pract, 1991, **187**: 260–266.
 - 11) Lindblad B, Eriksson A, Bergqvist D: Autopsy-verified pulmonary embolism in a surgical department: Analysis of the period from 1951 to 1988. Br J Surg, 1991, **78**: 849–852.
 - 12) 井上陽真, 村井容子, 福島保喜他: 高齢者連続剖検200例にみられた肺塞栓症. 呼と循, 1976, **24**: 979–984.
 - 13) 中野 昶, 伊藤早苗, 竹沢英郎: 肺塞栓症の疫学. 日本医事新報, 1980, **2949**: 43–47.
 - 14) 伊藤雅文: 肺動脈塞栓症の病理. 呼と循, 1991, **39**: 567–572.
 - 15) 中村陽一, 由谷親夫, 今北正美他: 肺梗塞発症に至る静脈血栓症および肺血栓塞栓症の病理組織学的研究. 静脈学, 1996, **7**: 17–22.
 - 16) 村嶋秀市, 中川俊男, 佐久間肇他: 急性肺血栓塞栓症の画像診断. 臨床画像, 2003, **19**: 1182–1191.
 - 17) 星 俊子, 叶内 哲, 清水裕次他: 肺血管疾患. 画像診断, 2001, **21**: 1085–1095.
 - 18) 大瀧 誠, 遠藤じゅん, 小泉 淳他: 肺動脈血栓塞栓症の画像診断 - 肺動脈血栓塞栓症診断のCT時代 -. 臨床, 2003, **48**: 20–32.
 - 19) Remy-Jardin M, Remy J, Deschildre F et al: Diagnosis of pulmonary embolism with spiral CT: Comparison with pulmonary angiography and scintigraphy. Radiology, 1996, **200**: 699–706.
 - 20) Drucker EA, Rivitz SM, Shepard JA et al: Acute pulmonary embolism: Assessment of helical CT for diagnosis. Radiology, 1998, **209**: 235–241.
 - 21) 林 宏光, 高木 亮, 市川太郎他: らせん走査型CTの新しい技術: Multidetector-row(多列検出器型)CTを理解するために. 日獨医報, 1999, **44**: 330–341.
 - 22) Coche E, Verschuren F, Keyeux A et al: Diagnosis of acute pulmonary embolism in outpatients: Comparison of thin-collimation multi-detector row spiral CT and planar ventilation-perfusion scintigraphy. Radiology, 2003, **229**: 757–765.
 - 23) Patel S, Kazerooni EA, Cascade PN: Pulmonary embolism: Optimization of small pulmonary artery visualization at multi-detector row CT. Radiology, 2003, **227**: 455–460.
 - 24) Loud PA, Katz DS, Klippenstein DL et al: Combined CT venography and pulmonary angiography in suspected thromboembolic disease: Diagnostic accuracy for deep venous evaluation. AJR Am J Roentgenol, 2000, **174**: 61–65.
 - 25) Loud PA, Katz DS, Bruce DA et al: Deep venous thrombosis with suspected pulmonary embolism: Detection with combined CT venography and pulmonary angiography. Radiology, 2001, **219**: 498–502.
 - 26) 佐久間聖仁, 岡田 修, 中村真潮他: 肺塞栓研究会(JaSPER)の症例登録研究を通して見た診断, 治療の課題: 新しい医療戦略をめざして. 脈管学, 2003, **43**: 207–209.
 - 27) 佐久間聖仁, 中村真潮, 中西宣文他: 第3回肺血栓塞栓症調査個人表登録の成績: 肺塞栓症研究会共同作業部会報告. Ther Res, 2004, **25**: 1134–1135.
 - 28) The PIOPED Investigators: Value of ventilation/perfusion scan in acute pulmonary embolism. Results of the prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis (PIOPED). JAMA, 1990, **263**: 2753–2759.

Multidetector-row CT Diagnosis of Pulmonary Thromboembolism

Hiromitsu Hayashi, Hisashi Yoshihara, Shigehiko Kuribayashi, Fumitaka Hidaka, Nobuyuki Tatenno, Toshihide Kaizu, Katsuya Takahama, Ryo Takagi, Hiroyuki Tajima, and Tatsuo Kumazaki

Department of Radiology and Center for Advanced Medical Technology, Nippon Medical School, Tokyo, Japan

Key words: pulmonary thromboembolism, deep vein thrombosis, CT, helical CT, multidetector-row CT

Pulmonary embolism refers to a pathological condition in which emboli, including venous thrombi, air, fat, amniotic fluid, tumor cell clusters, and foreign bodies pass through the bloodstream to the lungs, lodge in the pulmonary arterial tree, and obstruct pulmonary circulation. It is estimated that 50-80% of all pulmonary emboli are thrombi arising from deep vein thrombosis in the lower extremities and pelvis. Conversely, pulmonary thromboembolism (PTE) is detected in 50-60% of patients with deep vein thrombosis, indicating that PTE is a highly common complication of deep vein thrombosis.

To improve the accuracy of diagnosing PTE, it is important to clinically evaluate risk factors such as a history of recent surgery, the presence of malignancy, prolonged bed rest, and obesity, as well as symptoms at onset such as dyspnea and chest pain. Arterial blood gas analysis and measurement of the plasma D-dimer level also provide useful information. However, there are no specific symptoms of PTE known and the pathologic states vary according to the size of the emboli, so diagnosis relies on imaging tests.

Diagnostic imaging techniques for PTE include plain chest radiography, echocardiography, ventilation-perfusion scintigraphy, CT, MRI, and pulmonary angiography. The introduction of helical (spiral) CT angiography techniques has been quickly followed by its applications to the diagnosis of PTE. Development of helical CT has made it possible to image the central and segmental pulmonary arteries within 40 seconds. This technique allows the direct visualization of pulmonary thrombi in the central and segmental pulmonary vessels. The sensitivity and specificity of helical CT angiography for detection of central PTE is currently about 90%.

Following the advent of helical CT, multidetector-row CT (MDCT) has been developed. This method employs a CT scanner with multiple rows of detectors arranged along the body axis to obtain multiple axial CT scans simultaneously during one rotation of the X-ray tube. The main clinical advantage of MDCT over helical CT is its improved temporal and spatial resolution, allowing scanning of a larger field in a shorter period without loss of spatial resolution in the Z-axis direction. A 16-row MDCT apparatus can obtain cross-sectional 1-mm thick slices of the whole lung in a scanning time of 5-10 seconds. The diagnostic ability of MDCT for PTE is reported to be a sensitivity of 96% and a specificity of 88%, which are clinically satisfactory results. Since MDCT provides excellent continuous images in the direction of the body axis, it is also possible to evaluate thrombi in the pulmonary arteries on multiplanar reformation images, or to stereotaxically assess the lesion by reconstruction of three-dimensional CT angiograms. Furthermore, MDCT allows the combined examination of two anatomical regions, i.e., the performance of contrast-enhanced chest CT angiography for PTE, and scanning from the pelvis to the ankle to detect deep vein thrombosis. It has also been reported that the sensitivity and specificity of MDCT venography for the diagnosis of deep vein thrombosis following chest CT angiography is 97% and 100%, respectively.

PTE is not a rare condition in Japan, and evaluation by diagnostic imaging is needed, if clinical findings cannot exclude it. MDCT evaluation of the pulmonary arteries is a minimally invasive diagnostic technique that can be performed rapidly and has a high diagnostic value. Since PTE seems to be a complication of deep vein thrombosis of the lower extremities, the combined MDCT evaluation of deep vein thrombosis from the pelvis to the ankle also provides useful information for the comprehensive treatment of this life-threatening condition.

(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 754-760)