

Title	ダイナミックヘリカル造影CTによる肺野小型腫瘍病変のコンピューター支援診断の検討
Author(s)	森, 清志; 仁木, 登; 森山, 紀之
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2001, 61(1), p. 17-24
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19239
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

ダイナミックヘリカル造影CTによる肺野小型腫瘍病変の コンピューター支援診断の検討

森 清志¹⁾ 仁木 登²⁾ 森山 紀之³⁾

1) 栃木県立がんセンター呼吸器科 2) 徳島大学工学部光応用工学科 3) 国立がんセンター中央病院放射線科

Evaluation of Computer-Assisted Diagnosis of Small Pulmonary Nodules Using Contrast-Enhanced Dynamic Helical CT

Kiyoshi Mori¹⁾, Noboru Niki²⁾,
and Noriyuki Moriyama³⁾

Dynamic helical computed tomography (DH-CT) was performed to examine 45 lesions (23 lung cancers, 2 pulmonary metastasis, and 20 benign nodules) as an application of computer-assisted qualitative analysis of small pulmonary nodules. Based on the three-dimensional (3D) CT image data, the internal structure of the nodule was assessed quantitatively and temporal changes were evaluated. The entire lesion was examined by helical scanning with a beam width of 2 mm (pitch of 1) before contrast enhancement and 2 and 4 minutes after contrast enhancement. Using the digital CT data, the pixels inside the nodules were quantified based on a combination of CT values and 3D curvature in order to differentiate between benign (BN) and malignant nodules (MN). (The numeral score abovementioned was calculated.) The average scores for BN 2 and 4 minutes were -5.72 and -12.8, respectively, and those for MN were 5.51 and 12.0, respectively ($p < 0.01$). Assuming that a score of 0 or higher indicates a MN based on the CT data 4 minutes. In conclusion, 3D computer-assisted analysis of the internal structure of small pulmonary nodules using contrast-enhanced DH-CT was found to be effective for differentiating between benign and malignant nodules.

Research Code No.: 506.1

Key words: Solitary pulmonary nodule, Dynamic CT,
Computer-assisted diagnosis

Received Apr. 19, 2000; revision accepted Dec. 4, 2000

1) Department of Thoracic Diseases, Tochigi Cancer Center
2) Department of Optical Science, University of Tokushima
3) Department of Radiology, National Cancer Center

別刷請求先
〒320-0834 栃木県宇都宮市陽南 4-9-13
栃木県立がんセンター 呼吸器科
森 清志

はじめに

肺野小型腫瘍病変の形態学的画像診断はCTを中心に、腫瘍の辺縁の性状、内部構造、周囲既存構造との関係について、診断医の目で見た定性的な所見で解析されてきた¹⁾⁻⁴⁾。しかし、所見の取り方、所見の意味付けは各々診断医により異なることが多く、決め手となる良悪性の診断基準が得られていないのが現状である。病変の定量的診断の試みとして、腫瘍内のCT値測定がある。CT値は腫瘍の内部構造を客観的に評価し、良悪性の鑑別診断に用いられている⁵⁾。さらに、造影剤を用いて腫瘍のCT値の経時変化を検討し良悪性診断を試みる報告がある⁶⁾⁻⁹⁾。しかし、これらの報告は数枚のスライス面における腫瘍のCT値のみの評価である。また、病変のROI(region of interest)の設定も手動であり、スライス面での違いによりCT値は大きく左右される。

一方、ヘリカルスキャン法により容易に病変全体のボリュームデータを得ることができ、これらの画像データをコンピューターに取り込み、解析が可能となった¹⁰⁾⁻¹³⁾。本研究はダイナミックヘリカル造影CTを用いて腫瘍全体を撮影し、病変の経時的な濃度変化をコンピューターにより計算し、三次元的な定量化を行い、病変の良悪性鑑別診断を試みた。

対 象

対象は1998年2月から1999年8月までに当科を受診した、肺野小結節病変を有し精査目的で胸部CT検査を施行された45例である(Table 1, 2)。平均腫瘍径は14mm(5~25mm)であり、悪性群17mm(8~25mm)、良性群11mm(5~22mm)であった。病変の内訳は良性疾患20例(肉芽腫14例、過誤腫2例、器質化肺炎2例、結核腫1例、肺梗塞1例)(Table 1)、悪性疾患25例(Table 2)で原発性肺癌23例(腺癌20例、扁平上皮癌2例、小細胞癌1例)、転移性肺腫瘍2例(乳癌、大腸癌)である。原発性肺癌は腺癌3例を除き切除された。切除された肺癌は病理学的病期分類はI期16例、II期1例、III期3例で、腺癌17例の分化度は高分化型9例、中分化型7例、低分化型1例であった。転移性肺腫

Table 1 Characteristics and quantitative characterization of benign nodules

Patient No./ Age (y) /Sex	Diameter (mm)	Lobe**	Linear discriminant function			Diagnosis
			Non- enhanced	2* min	4* min	
1/58/F	19	RLL	0.66	-4.73	-5.29	Granuloma ⁺⁺
2/54/M	22	RLL	-0.97	-12.1	-20.4	Hamartoma ⁺⁺
3/51/F	9	RUL	-3.16	-12.1	-11.5	Granuloma ⁺⁺⁺
4/57/F	10	LUL	-3.53	-8.10	-10.4	Hamartoma ⁺⁺
5/56/F	15	LUL	-0.33	-7.59	-2.85	Granuloma ⁺⁺⁺
6/65/F	8	RML	-6.77	-2.24	-19.1	Granuloma ⁺⁺⁺
7/52/F	10	LUL	-5.19	-7.23	-19.2	Granuloma ⁺⁺⁺
8/70/M	9	RUL	0.21	2.10	-35.2	Organizing pneumonia ⁺
9/72/F	10	LLL	4.08	8.36	-1.00	Granuloma ⁺⁺
10/61/M	7	RLL	-5.16	-10.2	-20.0	Organizing pneumonia ⁺⁺⁺
11/68/F	17	LUL	-1.51	-12.3	-13.7	Pulmonary infarction ⁺
12/47/F	5	RUL	-4.12	-8.95	-14.8	Granuloma ⁺
13/56/F	12	RUL	-8.54	-5.28	-5.53	Tuberculoma ⁺
14/59/F	9	LLL	-7.49	-9.23	-11.2	Granuloma ⁺⁺⁺
15/62/F	12	RML	-2.81	-0.04	-3.76	Granuloma ⁺⁺⁺
16/61/F	6	RML	-4.09	-4.19	-16.2	Granuloma ⁺⁺⁺
17/60/F	8	RUL	-10.1	-3.90	-10.1	Granuloma ⁺⁺⁺
18/64/M	19	RLL	-5.12	-2.24	-8.76	Granuloma ⁺⁺
19/68/F	12	RUL	0.56	-1.25	-13.2	Granuloma ⁺⁺⁺
20/67/M	6	RUL	-11.2	-13.0	-12.4	Granuloma ⁺⁺⁺

**RUL = right upper lobe, RML = right middle lobe, RLL = right lower lobe, LUL = left upper lobe, LLL = left lower lobe

*Time after administration of contrast agent

+Surgical resection

++The diagnosis of biopsy using the CT fluoroscopy procedure

+++The clinical diagnosis of granuloma was based on no nodule growth for 2 years or more

Table 2 Characteristics and quantitative characterization of malignant nodules

Patient No./ Age (y) /Sex	Diameter (mm)	Lobe**	Linear discriminant function			Diagnosis
			Non- enhanced	2* min	4* min	
21/54/F	18	RUL	2.50	6.19	12.4	W/d AD
22/48/F	18	LUL	1.40	-1.04	17.7	W/d AD
23/70/F	20	RML	1.12	8.13	7.11	M/d AD
24/63/F	20	RLL	5.00	8.21	21.9	W/d AD
25/64/M	17	RUL	0.30	6.27	4.43	SM
26/77/M	12	LUL	4.57	11.7	4.90	AD ⁺⁺
27/68/F	22	RLL	1.82	11.1	8.71	M/d AD
28/68/M	11	LUL	4.14	6.55	19.0	M/d AD
29/54/F	22	LLL	0.31	5.03	30.2	Breast metastasis ⁺⁺
30/63/M	12	RUL	5.15	4.03	12.8	W/d AD
31/63/M	17	RLL	-1.37	-9.66	-5.31	M/d AD
32/55/F	18	LUL	5.4	7.92	15.5	M/d AD
33/44/M	15	RUL	5.15	-1.19	18.0	M/d AD
34/61/F	20	RLL	-0.92	-2.61	18.2	W/d AD
35/84M	19	LUL	7.37	6.04	18.3	AD ⁺⁺
36/57/M	15	RUL	3.32	8.39	9.49	M/d SQ
37/71/M	20	LUL	-0.66	3.16	8.99	AD ⁺⁺
38/61/M	13	RML	8.14	6.66	1.81	Colon metastasis ⁺⁺
39/51/F	8	LUL	1.42	3.17	10.6	W/d AD
40/51/M	18	LUL	3.71	10.7	4.50	P/d AD
41/67/M	15	RUL	2.52	8.72	24.7	M/d SQ
42/62/F	11	RUL	8.25	10.1	12.2	W/d AD
43/61/F	25	RML	4.67	4.55	11.9	W/d AD
44/49/F	19	RML	6.50	8.84	8.95	M/d AD
45/63/F	14	LUL	4.61	6.43	2.87	W/d AD

**RUL = right upper lobe, RML = right middle lobe, RLL = right lower lobe, LUL = left upper lobe, LLL = left lower lobe,

AD = adenocarcinoma, SM = small cell carcinoma, W/d = well differentiated, M/d = moderate differentiated, P/d = poor differentiated

*Time after administration of contrast agent

++The diagnosis of biopsy using the CT fluoroscopy procedure

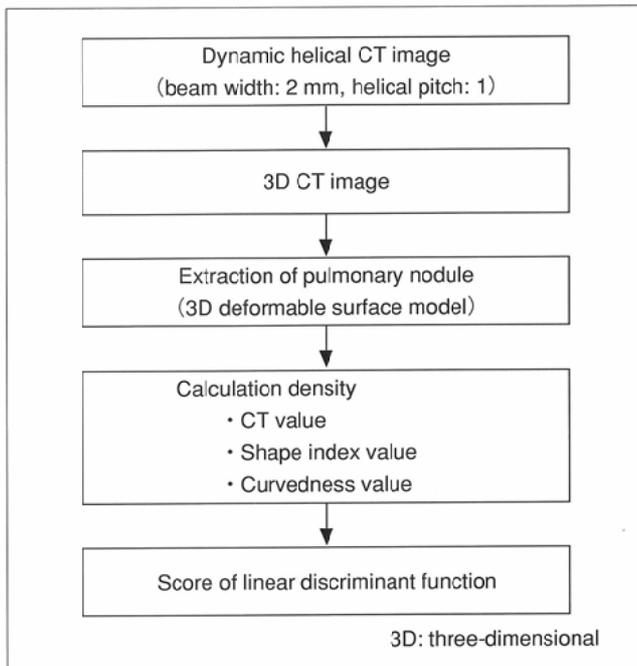


Fig. 1 CT image processing procedures.

瘍は 2 例とも CT 透視下生検にて診断された。良性疾患は切除 4 例(肉芽腫, 器質化肺炎, 結核腫, 肺梗塞), CT 透視下生検で 5 例(過誤腫 2 例, 肉芽腫 3 例)診断され, 残りの 11 例は 2 年以上の経過観察にて病変の性状, サイズが不変で CT 画像所見で診断された¹⁴⁾。

CT 撮影条件

CT 装置は東芝 X vigo を用いた。CT の撮影パラメーターは, テーブルスピード 2mm/秒, ビーム幅 2mm, 120kv, 200mA, 1 秒スキャン, 関心領域 200mm で撮影を行った。造影剤は非イオン性造影剤のイオパミロン 300 シリンジ(日本シェーリング社)を用い, 前腕の末梢静脈にサーフロ針を留置し, オートインジェクターにて 2ml/秒で計 100ml 使用した。撮影は経鼻カテーテルにて 2l/分の酸素吸入を行いながら背臥位で病変全体がスキャンされる範囲(40~50mm)で, 造影前, 造影開始後 2 分, 4 分の計 3 回, 深吸気下でヘリカルスキャンを行った。再構成画像は 180 度アルゴリズムで 1mm ピッチの画像を作成した。

CT 画像評価

1. CT 画像処理手順 (Fig. 1)

Thin-section CT 画像から三次元 CT 像を作成し, 三次元 CT 像から腫瘍病変の抽出を行う。次に抽出した病変の腫瘍内部の特徴量を算出し, 濃度計算 (CT 値, shape index 値, curvedness 値)を行う。造影開始前, 開始後 2 分, 4 分の各々の腫瘍内部の濃度計算値をもとに各々の時間における線形判別関数得点を算出した。

2. 病変の抽出 (Fig. 2)

原画像から三次元 CT 像を作成し, 腫瘍病変を含む関心領域の抽出を行い, この関心領域から deformable surface model を用いて腫瘍領域を抽出する。腫瘍はその位置によって胸壁と接する場合があるので, 前処理として肺野領域を抽出して胸壁から腫瘍を分離する^{13),15)}。関心領域は, 対象とする腫瘍のサイズを 1~2cm 程度にしていることから関心領域の画像サイズ 128 × 128 × 128 画素とし, 抽出する。種々の濃度分布をもつ腫瘍領域を抽出するために, ここでは Caselles らの提案した deformable surface model¹⁶⁾に基づいた手法を用いて腫瘍領域を抽出する¹³⁾。これは, 初期曲面を腫瘍内に設定し, 曲面の運動方程式¹⁶⁾に従って初期曲面を腫瘍の境界付近まで変形させて抽出するものであり, 曲面変形の終了条件を調節して血管や気管支領域に曲面が過度にあふれるのを防ぐようになっている¹³⁾。

3. 病変内部の特徴量の表示と評価 (Fig. 3~5) (濃度計算, 線形判別関数得点)

腫瘍を含む関心領域の画素を, CT 値, shape index と curvedness の 3 つのパラメーターの組み合わせによって局所的に表現する^{17),18)}。

shape index と curvedness は曲面の三次元曲率から定義される量である。

shape index は Fig. 3 に示すように平面を除く曲面形状を 0 から 1 までの値で表す。shape index 値が 0 に近いほど上に凸な面 (peak surface) を表し, 1 に近いほど下に凸な面 (pit surface) を表し, 微妙な曲面形状の数値化が可能となる。curvedness は曲率の大きさを表し, 0 から 1 までの値で表す。curvedness 値が 0 に近いほど曲率のない平坦な局面を表す。shape index と curvedness の概念はこれら 2 つのパラメーターを結節の辺縁形状 (結節の辺縁と周囲肺との境界の形態) の曲面に用いた場合に容易に理解できるであろう。三次元曲率から求められるこれらのパラメーター shape index と curvedness は, それぞれ, 注目画素とその隣接する画素との関係から定まる曲面の凹凸形状と曲面の曲がりの度合いを表すもので, 腫瘍内部の CT 値の不均一分布の一つの指標と考えることができる。腫瘍内部の shape index 値, curvedness 値, CT 値のヒストグラムを求め, 各ヒストグラムにおける階級の度数をヒストグラム特徴量とする¹⁸⁾。この特徴量から線形判別関数¹⁹⁾を用いて判別得点を計算する。

造影開始前, 開始後 2 分, 4 分での各々の時間での線形判別関数得点を算出し, これらの数値をもとに肺野小型腫瘍病変の良悪性診断をレトロスペクティブに行った。

なお, 統計学的有意差検定には, Student's t-test を用いた。

結 果

腫瘍の線形判別関数得点の経時的変化を Fig. 6 に示す。造影前において, 良性疾患では平均得点は -3.73 ± 3.90 (-11.2

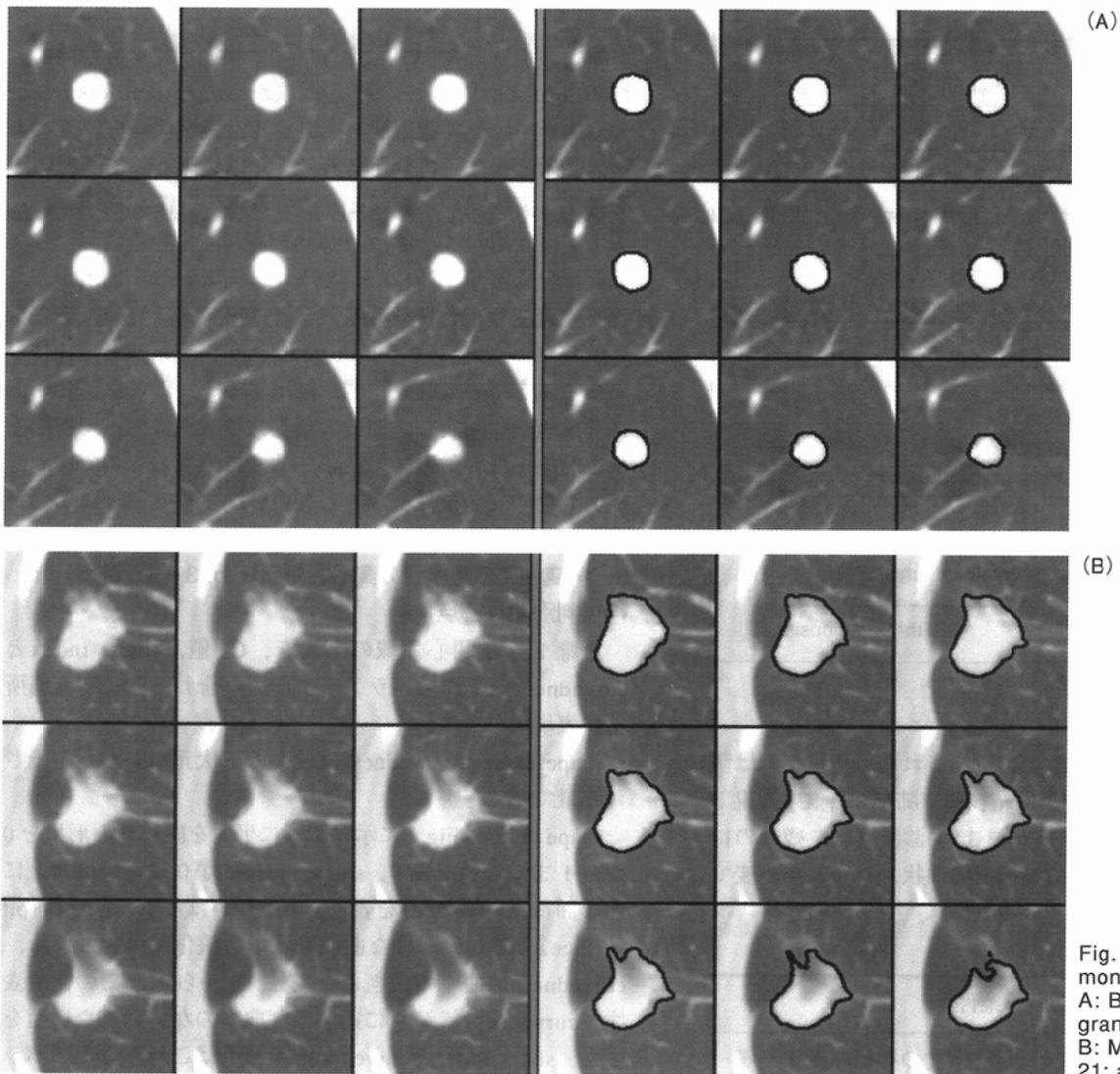


Fig. 2 Extraction of pulmonary nodule.
A: Benign tumor (case 4: granuloma).
B: Malignant tumor (case 21: adenocarcinoma).

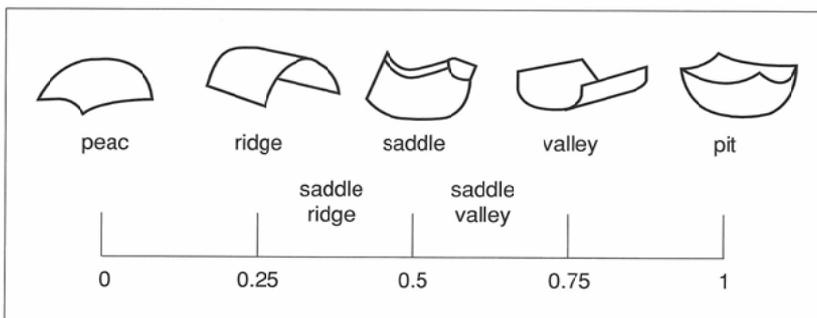


Fig. 3 Distribution of surface types on the shape index belonging to the interval between 0 and 1.

～4.08)で、悪性疾患では、 3.38 ± 2.76 ($-0.92 \sim 8.25$)であった。造影後2分、4分において、良性疾患での平均得点 (Table 1)は -5.72 ± 5.51 ($-12.3 \sim 8.36$)、 -12.8 ± 7.87 ($-35.2 \sim -1.00$)で、悪性疾患では各々 5.51 ± 4.89 ($-9.66 \sim 11.7$)、 12.0 ± 7.96 ($-5.31 \sim 30.2$)であった (Table 2)。造影前、造影後2分、4分の悪性疾患の線形判別関数得点は良性に比べいずれも有意に高かった ($p < 0.001$)。

線形判別得点で0以上を悪性とするとき造影前ではfalse

negative (FN) 3例 (症例31, 34, 37), false positive (FP) 4例 (症例1, 8, 9, 19), 造影後2分ではFN 4例 (症例22, 31, 33, 34) (Fig. 7), FP 2例 (症例8, 9) (Fig. 8), 造影後4分ではFN 1例 (症例31), FP 0例であった。Sensitivityは各々88%, 83%, 96%, specificityは81%, 90%, 100%, accuracyは84%, 87%, 98%, positive predictive value (PPV)は84%, 91%, 100%, negative predictive value (NPV)は85%, 83%, 96%であった (Table 3)。

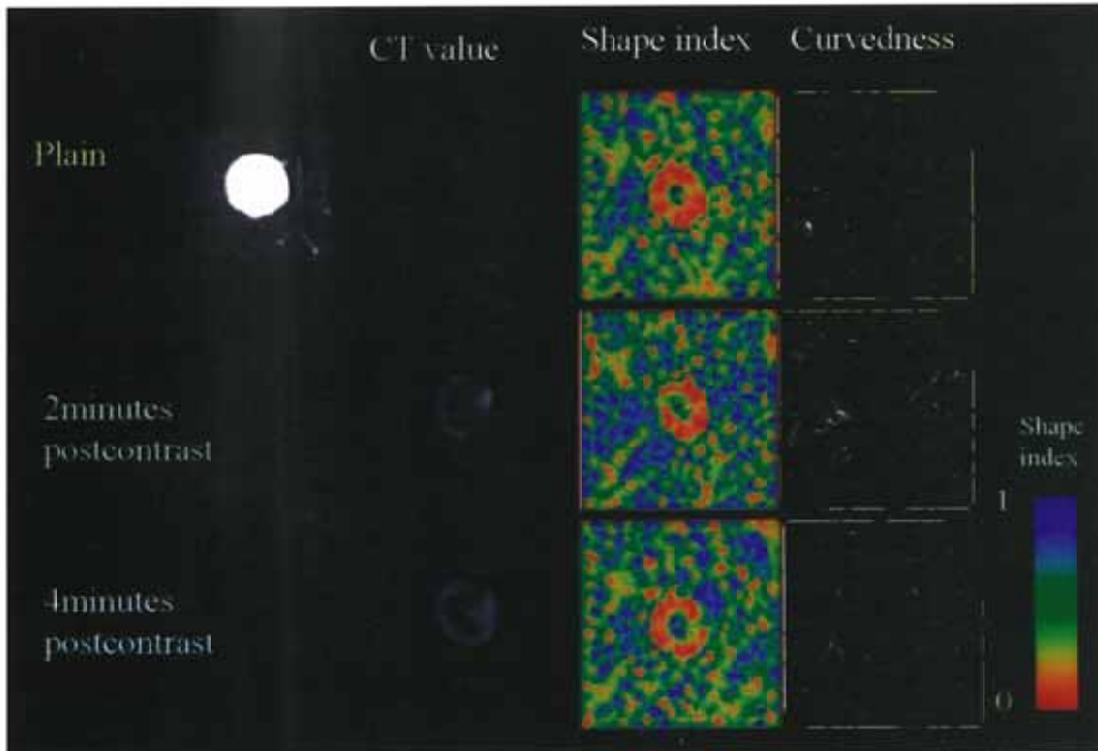


Fig. 4 Indication of degree of characteristic in the benign nodule (case 4).

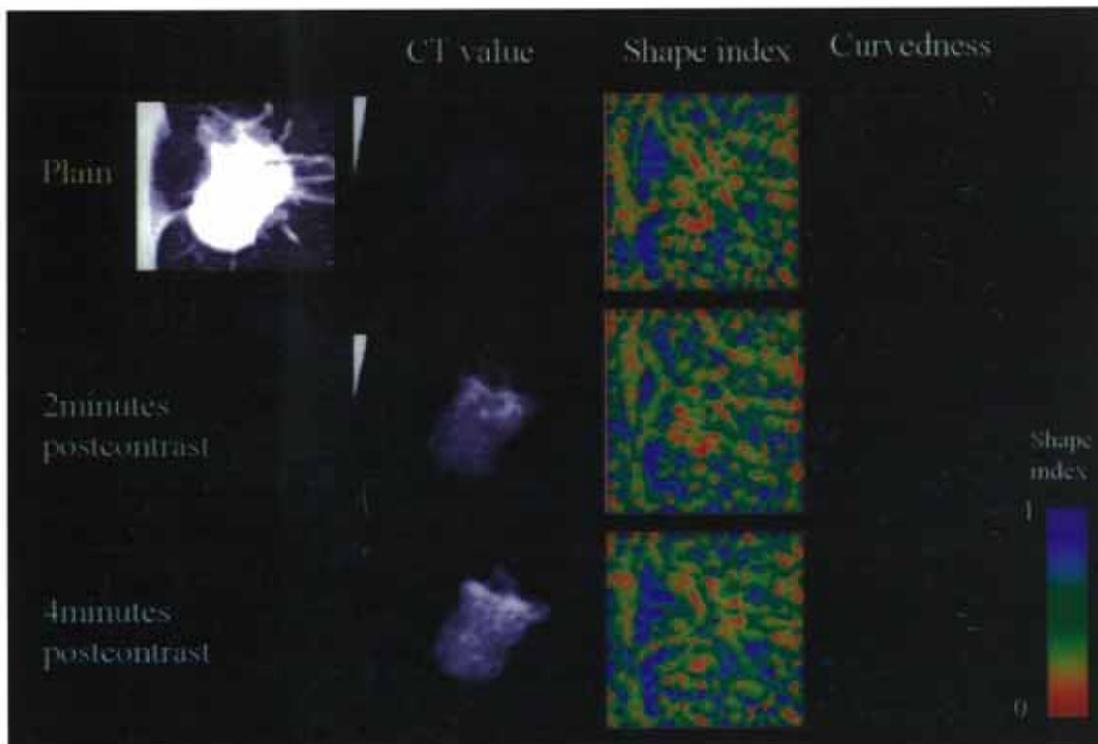


Fig. 5 Indication of degree of characteristic in the malignant nodule (case 21).

考 察

肺野小型病変の画像診断はCT画像を中心に多くの施設で、その有用性について報告されている¹⁾⁻⁵⁾。また、いくつかの施設では、造影剤を用いて病変内のCT値を経時的に評価し、良悪性の診断を試みている⁶⁾⁻⁹⁾。しかし、これらの報告は腫瘍が撮影された数枚のスライス面で描出された腫瘍のCT値、造影パターンのみでの評価である。そこでわれわ

れは今回ダイナミックヘリカル造影CTを用いて腫瘍全体を撮影し、腫瘍内の経時的な濃度変化(CT値, shape index, curvedness)をコンピューターにより計算し、三次元的な定量化を行い、病変の良悪性診断を試みた。その結果、線形判別関数得点が0以下を良性とすると造影後4分値では全例良性の診断が可能であった。ダイナミックヘリカル造影CTは肺野小型腫瘍病変の良悪性の鑑別診断に有用であった。

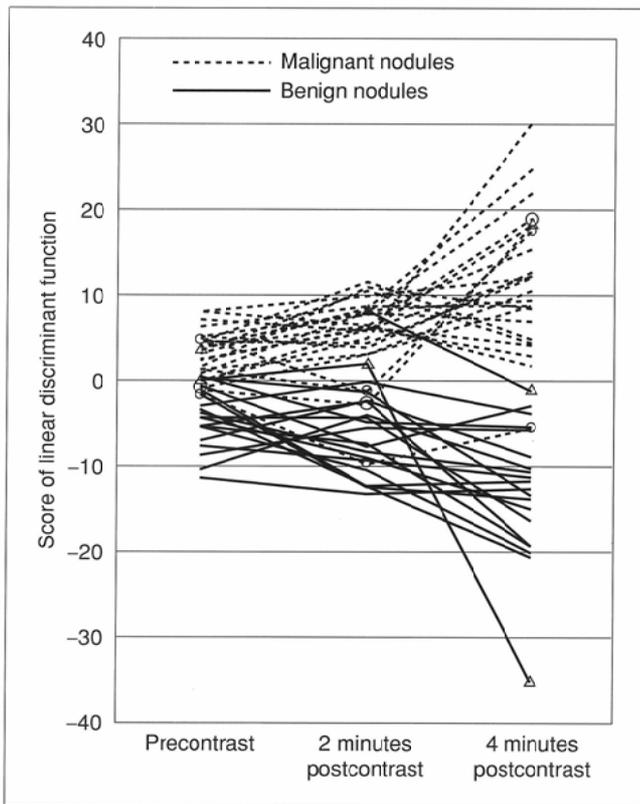


Fig. 6 Temporal changes in the linear discriminant function score of the nodules.

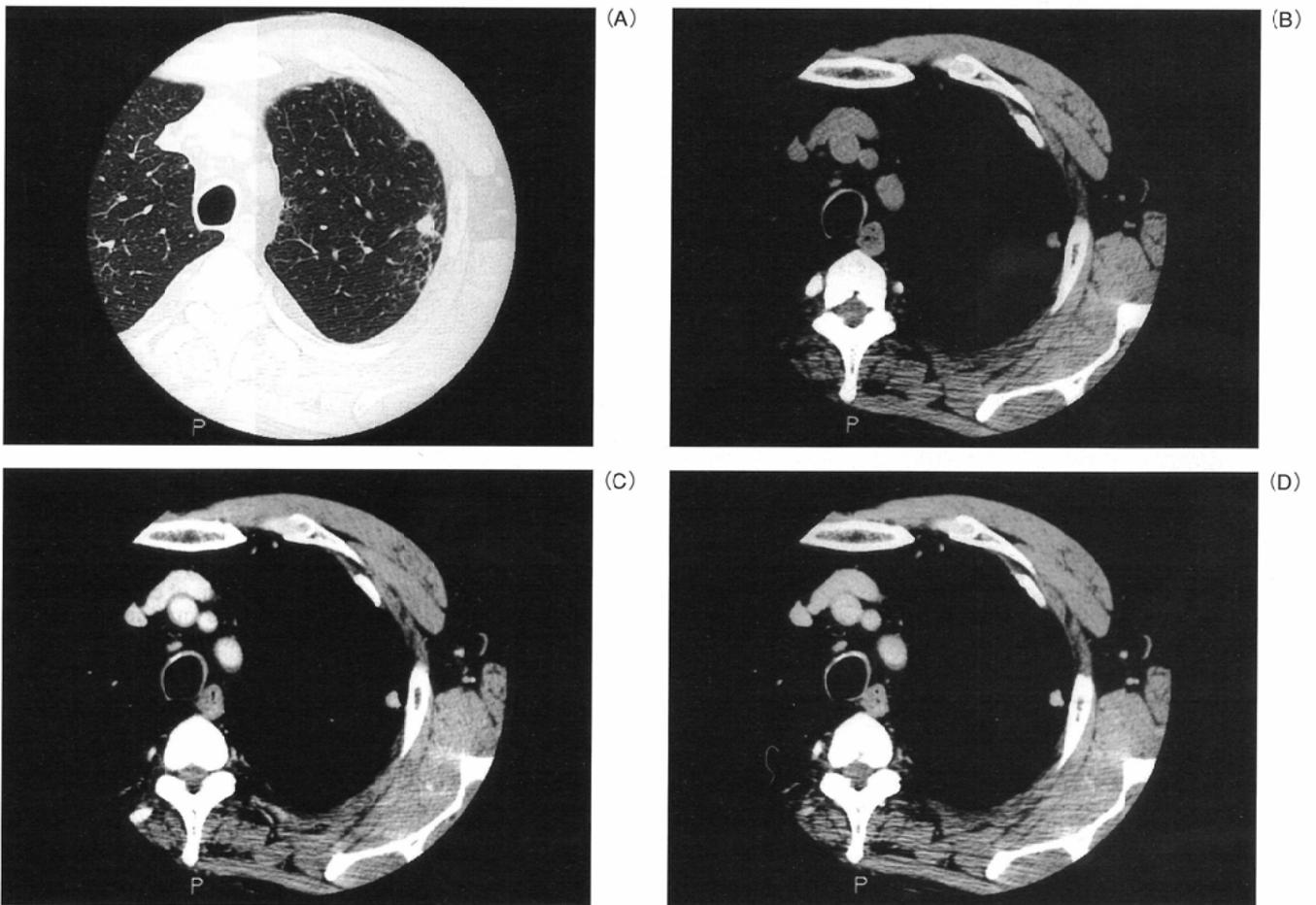


Fig. 7 False-negative lesion based on value 2 minutes postcontrast (case 22: adenocarcinoma). A: CT scan of lung. B: Nonenhanced CT. C: CT scan obtained 2 minutes after administration of contrast agent. D: CT scan obtained 4 minutes after administration of contrast agent.

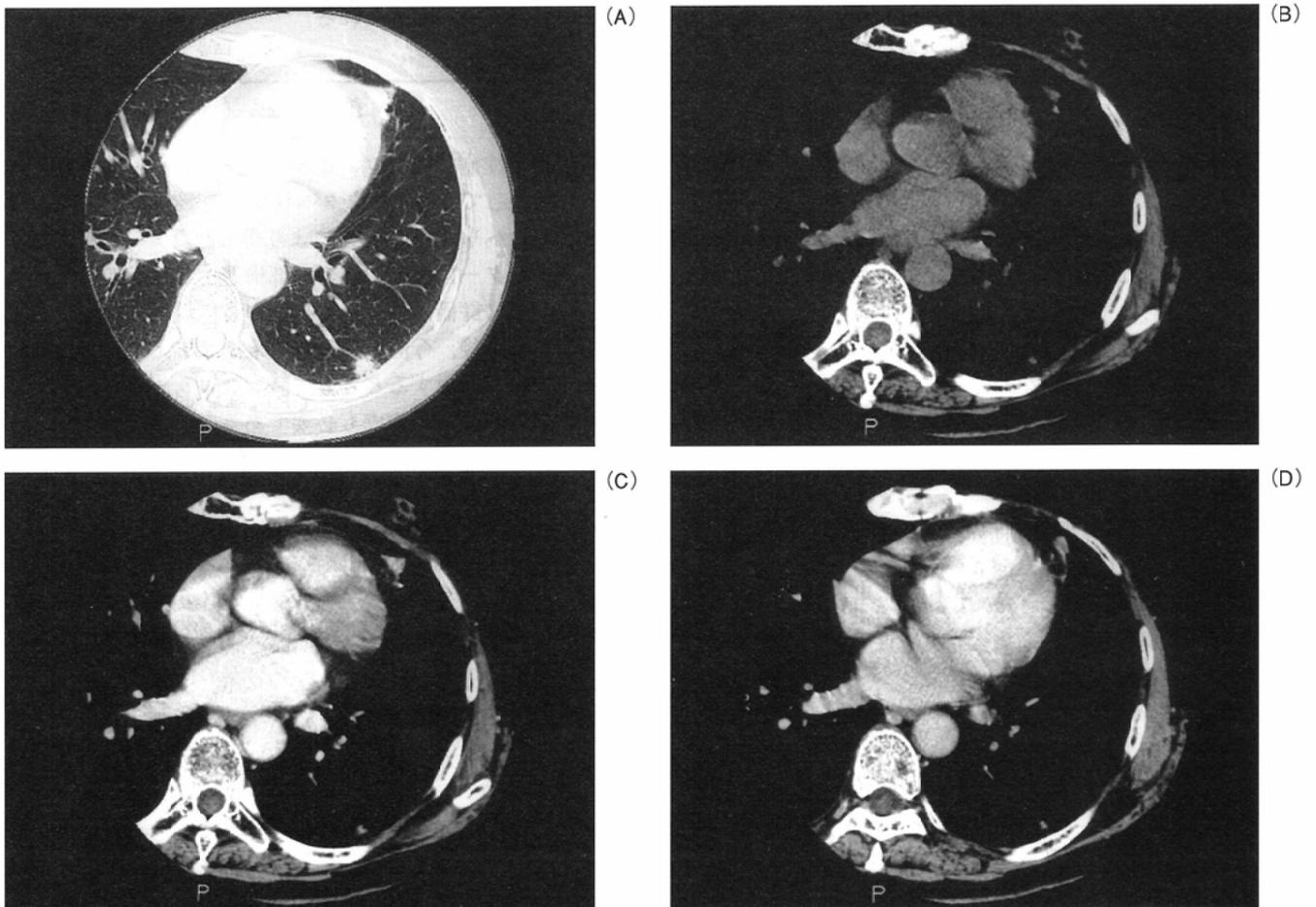


Fig. 8 False-positive lesion at all time points (case 9: granuloma). A: CT scan of lung. B: Nonenhanced CT. C: CT scan obtained 2 minutes after administration of contrast agent. D: CT scan obtained 4 minutes after administration of contrast agent. CT images of C, D show obviously strong enhancement.

Table 3 Dynamic helical CT estimates of small pulmonary nodules

	Precontrast	Postcontrast	
		2 minutes	4 minutes
Sensitivity	88%	83%	96%
Specificity	81%	90%	100%
Accuracy	84%	87%	98%
PPV	84%	91%	100%
NPV	85%	83%	96%

PPV: positive predictive value, NPV: negative predictive value

これまでに報告された肺野腫瘍病変に対する造影CT研究のCT撮影法および造影剤について比較検討した。過去の研究では使用されたCT装置は山下ら⁶⁾以外は数種のCT装置を使用しているため、CT機種によるCT値の誤差の問題がある。また、スキャン法では1996年のSwensenら⁷⁾の研究以外は通常スキャン法であるため、撮影時間が長くなり、呼吸性変動の影響を受けやすく、経時的な腫瘍の描出が困難である。われわれの研究は1機種のみで行い、ヘリカルスキャン法を用いたために、これらの問題は多少解決された。撮影条件はビーム幅1.5~5mm,管電流150mA~280mAである。造影剤は非イオン系で、注入速度は2.4ml/秒で計

100ml使用した。但し、Swensenら⁷⁾は一部の患者に対し患者の体重に応じてトータルの造影量を決めた。撮影タイミングは各々の研究でまちまちであり、造影開始後15秒~5分以内に2~6ポイントでの撮影を繰り返していた。造影後の撮影タイミングであるが、造影効果のピークは造影後2分、5分という報告がある^{6),7)}。この研究では2分、4分と設定しており、妥当な時間設定と考える。今回の研究もこれまでの研究とほぼ同様の撮影条件、造影剤投与であった。

肺野腫瘍病変の良悪性の造影CT診断率について今回の報告とSwensenらの報告⁷⁾とを比較すると、sensitivity 96%, 98%, specificity 100%, 58%, accuracy 98%, 77%であった。今回の報告の方がSwensenの報告より全体的に多少診断率の向上が得られた。

CTで得られた病変のデータの評価と解析であるが、これまでの報告は二次元で数枚の病変スライス面でのCT値、造影パターンのみでの評価であった。その結果、造影効果が20HU以上^{6),7)}、病変全体が造影される⁶⁾、腫瘍と大動脈とのCT値比が高い⁸⁾等が良悪性診断に有用であったと報告され、シンプルであり、実用的である。しかし、手動であるために病変のROIの設定やスライス面での違いによりCT値

は大きく左右されることが問題である。今回の研究ではボリュームとしての三次元的病変の抽出を自動的に行なったため、これらの問題は解決された。さらにコンピューターにより腫瘍内部の特徴量を算出し、濃度計算値(CT値, shape index値, curvedness値)を求め、評価した¹³⁾。以上より過去の研究に比べ病変の抽出は自動的で再現性があり、また解析は3つのパラメーター(CT値, shape index, curvedness)による三次元的評価であることが本研究の特徴といえる。

このスタディの問題点であるが、まずこのスタディの主旨が腫瘍全体の評価であるため、ヘリカルスキャンを用いても経時的に腫瘍全体の描出が困難で評価不能例が15例あった。将来的にはマルチスライスヘリカルスキャンの導入で解決されるであろう。

今後、肺癌CT検診の普及に伴い多くの肺野小型腫瘍病変が指摘される^{20),21)}。これらの病変に対して、画像学的な良悪性の鑑別が必要となってきた。本研究はコンピューター支援診断により肺野小型腫瘍病変の良悪性の鑑別の一助と

なる可能性があると思われる。

結 語

肺野小型腫瘍病変のコンピューターによる質的診断支援への応用としてダイナミックヘリカル造影CTを行った。ダイナミックヘリカル造影CTにより得られたデータをもとにコンピューターにより病変の内部構造を三次元的に定量化し、経時的に評価することは病変の良悪性鑑別診断に有用であった。今後、今回の研究の結果を踏まえて、さらに症例を積み重ね検討するとともに、コンピューター解析による病変の診断基準の作成も必要である。

謝辞

本研究の解析にあたり、協力して頂いた徳島大学工学部光応用工学科河田佳樹講師、高木信剛さんに深謝する。なお、本研究の一部は、平成12年度厚生科学研究費補助金(がん克服戦略研究事業森山班)、およびがん研究助成金西脇班の援助を受けた。

文 献

- 1) Mori K, Saitou Y, Tominaga K, et al: Small nodular lesions in the lung periphery: New approach to diagnosis with CT. *Radiology* 177: 843-849, 1990
- 2) 山田耕三: Thin-slice CTを用いた肺野小型病変の内部構造の解析. *肺癌* 32: 1035-1041, 1992
- 3) Kuriyama K, Tateishi R, Doi O, et al: CT-pathologic correlation in small peripheral lung cancers. *AJR* 149: 1139-1143, 1987
- 4) Zwirewich CV, Vedal S, Miller RR, et al: Solitary pulmonary nodule; high-resolution CT and radiologic pathologic correlation. *Radiology* 179: 469-476, 1991
- 5) Siegelman SS, Khouri NF, Leo FR, et al: Solitary pulmonary nodules: CT assessment. *Radiology* 160: 307-312, 1986
- 6) Yamashita K, Matsunobe S, Tsuda T, et al: Solitary pulmonary nodule: Preliminary study of evaluation with incremental dynamic CT. *Radiology* 194: 399-405, 1995
- 7) Swensen SJ, Brown LR, Colby TV, et al: Lung nodule enhancement at CT; prospective findings. *Radiology* 201: 447-455, 1996
- 8) Zhang M, Kono M: Solitary pulmonary nodules: Evaluation of blood flow patterns with dynamic CT. *Radiology* 205: 471-478, 1997
- 9) 小口和浩, 曾根脩輔, 春日敏夫, 他: ダイナミック造影CTスキャンによる肺腫瘍の血行動態解析の基礎的検討. *日本医放会誌* 56: 496-501, 1996
- 10) Kawata Y, Niki N, Ohmatsu H, et al: Quantitative surface characterization of pulmonary nodules based on thin-section CT images. *IEEE trans. Nuclear Science* 45: 2132-2138, 1998
- 11) 高木信剛, 仁木 登, 森 清志, 他: ダイナミック造影CT像による肺野小型腫瘍の動態解析. *医用画像工学研究会* 98: 132-135, 1998
- 12) 三谷昌弘, 佐藤 功, 立川 光, 他: 肺野腫瘍性病変のCT値の解析による良悪性の鑑別について—コンピューターによる情報抽出と統計処理—. *日本医放会誌* 55: 493-500, 1995
- 13) Kawata Y, Niki N, Mori K, et al: Curvature based analysis of internal structure of pulmonary nodules using thin-section CT images. *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing* 3: 851-855, 1998
- 14) Siegelman SS, Zerhouni EA, Leo FP, Khouri NF, Stitik FP: CT of the solitary pulmonary nodule. *AJR* 135: 1-13, 1980
- 15) 長谷川純一, 森 健策, 鳥脇純一郎, 他: 3次元デジタル画像処理による胸部連続CT像からの肺がん候補領域の自動抽出. *信学論* J76-D-II, 8: 1587-1594, 1993
- 16) Caselles V, Kimmel R, Sapiro G, et al: Minimal surfaces based object segmentation. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19: 394-398, 1997
- 17) Koenderink JJ, van Doorn AJ: Surface shape and curvature scales. *Image and Vision Computing* 10: 557-565, 1992
- 18) Dorai C, Jain AK: COSMOS-A Representation scheme for 3D free-form objects. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19: 1115-1130, 1997
- 19) 鳥脇純一郎: 認識工学, コロナ社, 1993
- 20) Kaneko M, Eguchi K, Ohmatsu H, et al: Peripheral lung cancer: Screening and detection with low-dose spiral CT versus radiography. *Radiology* 201: 798-802, 1996
- 21) Mori K, Tominaga K, Moriyama N, et al: Utility of low-dose helical CT as a second step after plain chest radiography for mass screening for lung cancer. *J Thorac Imaging* 12: 173-180, 1997