原 著

視覚評価のための肺腺癌模擬病変ファントムの開発

小野孝二・赤羽恵一¹⁾・羽田道彦・高野嘉久
甲斐倫明¹⁾・草間朋子²⁾

大分県立病院放射線科部

1)大分県立看護科学大学環境科学研究室

2)大分県立看護科学大学

論文受付
2003年6月30日

論文受付
2003年10月31日

Code Nos. 521
522

緒 言

近年、日本において肺腺癌は増加傾向にある^{1, 2)}。肺癌検診は、これまでミラーカメラを用いた間接X線撮影法による胸部X線画像診断によって行われてきた。しかし胸部X線画像において肺腺癌はground glass opacity(GGO)を示し、単純写真では発見が非常に難しいとされている^{3~5)}。近年では直接撮影法やデジタル化、さらには、CTによる肺癌検診も普及してきている^{6, 7)}。しかし、CTによる肺癌検診は検診費用⁸⁾、被ばく線量⁹⁾を考慮すると、肺癌検診に適用することの是非についてはさらに検討が必要である。

肺癌検診の主流である胸部単純X線画像診断のため

の画質の向上を図ることは必須である。しかしながら、胸部の単純X線画像における画質向上においては、画質向上の指標を定めることは難しく、ましてやアナログ撮影系とデジタル撮影系の胸部X線画像の画質を比較することは容易ではない。これまでのさまざまな胸部X線画像撮影システムの画質を視覚評価した先行研究の多くは、肺野ファントムの背部に自作した模擬病変を付着・撮影し、得られた画像の画質を視覚評価するものである^{10~19)}。肺野ファントムを利用した画質評価手法では、模擬病変を肺野ファントムに挿入することが困難であることから、ファントム背部に付着させた撮影を行い視覚評価が行われている。肺病変

Development of Phantoms of Small Adenocarcinoma for Comparison of Image Quality among Various Chest X-ray Systems

KOJI ONO, KEIICHI AKAHANE,¹⁾ MICHIIHIKO HADA, YOSHIHISA TAKANO, MICHIAKI KAI,¹⁾ and TOMOKO KUSAMA²⁾

Department of Radiology, Oita Prefectural Hospital

1)Laboratory of Environmental Health Science, Oita University of Nursing and Health Sciences

2)Oita University of Nursing and Health Sciences

Received June 30, 2003; Revision accepted Oct. 31, 2003; Code Nos. 521, 522

Summary

The aim of our study was to develop a phantom of lung adenocarcinoma for use in a comparative evaluation of image quality among various chest X-ray systems. In this study, we developed type A, B, and C phantoms of lung adenocarcinoma according to Noguchi's classification. The shape of lung adenocarcinoma was assumed to be spherical with a different density in the core. The shapes of the phantoms were obtained by calculating equivalent thickness to X-ray transmission, leading to the same shadow as the sphere in order to perform practical visual evaluation using a chest lung phantom to which the phantoms were attached. The phantoms were tough water phantoms made by Kyoto Kagaku Co., Ltd. The performance of the phantoms was validated for chest radiographs of the phantoms attached to the surface of the chest lung phantom. The results of visual evaluation of tumor detectability by 13 radiologists and technicians showed generally good agreement with previous clinical data.

Key words: Phantom, Image quality, Noguchi's classification, Small adenocarcinoma, Chest radiograph

別刷資料請求先: 〒870-8511 大分県大分市豊饒476-1
大分県立病院 放射線科部 小野孝二 宛

模擬ファントムの材質はパラフィン¹⁰⁻¹²⁾、ワックス¹³⁾、塩化ビニル¹³⁻¹⁷⁾、X線フィルム¹⁸⁾、MIX-DP¹⁹⁾とさまざまな材質が用いられ、形状も含めてそれらの作製根拠についての説明はほとんどされていない。そのために、模擬病変そのものが異なる他の視覚評価結果と直接比較することが困難であり、ファントムを用いた画質の視覚評価の信頼性を向上できない要因になっていると著者らは考えている。しかしながら、青木らの報告¹⁹⁾のように、高分化型腺癌の初期像を想定して小さい肺腺癌の作製を試み、視覚評価に用いる肺模擬病変の形状について記述している例もある。肺野ファントムを利用して撮影する場合、背部に付着させる模擬病変ファントムを肺腺癌病変のモデル化から出発して理論的に構造を決定することは、模擬病変ファントムを用いた画質の視覚評価をより信頼できるものにする点にあると考えられる。

そこで、今回われわれは胸部ファントムに模擬病変を付着させて得られる画像の画質を視覚評価する方法を標準化し、撮影条件の探索や最適化に利用するために青木ら²⁰⁾の発想と理論に基づいて肺腺癌ファントムの構築・開発を試みたので報告する。

1. 方 法

胸部X線写真上においてGGOを示す肺腺癌をモデルとし、青木らの発想と理論を基に改良を加え、肺病変を構築した。2cm以下の肺腺癌を病理組織学的に分類した野口らの研究²¹⁻²⁸⁾を参考に、Type A, Type B, Type Cに相当する肺腺癌ファントムを作製した。肺腺癌ファントムは、肺野ファントム(株式会社京都科学製PBU-X-21)の背部に付着させることが可能な形状にするため底部を平面とした。肺腺癌ファントムの材質は均一な密度とし、人体軟組織に近似のタフウォーターファントム(密度:1.01g/cm³, 株式会社京都科学製)を用いた。作製した肺腺癌ファントムの評価については、胸部ファントムと肺腺癌ファントムを用いて得られた画像を経験年数4年以上の放射線科医師3名、診療放射線技師10名の計13名による視覚評価とした。その結果を臨床における胸部単純X線画像の肺腺癌を視覚評価した先行研究と比較検討した。

1-1 肺腺癌ファントムの作製

肺腺癌病巣の形状は球とし、球の中心部(肺胞虚脱および線維化巣部分)およびその周囲(肺胞上皮細胞置換増殖性部分)のCT値を先行研究からそれぞれ「一定」、「距離に比例して線形に変化する」と仮定した。CT値は物質の密度に依存することから、それぞれのCT値を密度に直接換算した。肺胞上皮置換増殖性部分(含気部分)については、最内側から最外側まで連続

的に密度(CT値)が変化すると仮定した。想定した肺腺癌の密度分布をX線透過方向での軟部組織等価の厚さとして算出し、底部を平面にするため、上半分(半球)部分の積分値を求め2倍した。肺腺癌ファントムは肺外の空気中に置くため、肺内に存在したのと同じ減衰になるよう正常肺の密度(CT値)を減算した。これらの仮定に基づいて肺腺癌ファントムの形状を算出し、底部平面となる模擬病変をタフウォーターファントムで作製した。

鈴木ら²²⁾、松井ら²³⁾、Tsubamotoら²⁴⁾の研究より、Type A, Type Bの肺胞虚脱・線維化巣部分の割合を30%以下とした。肺胞虚脱・線維化巣部分のCT値は伊藤ら²⁵⁾のデータより±50HU、肺胞上皮置換性部分の再内側のCT値(-300HU~-400HU)および再外側のCT値(-750HU)は松井ら²³⁾、伊藤ら²⁵⁾、Soneら²⁷⁾のデータから決定した。正常肺のCT値(-914HU)は松井ら²³⁾のデータを参考に決定した。Type CについてはYangら²⁸⁾が末梢型肺腺癌68例を対象に、胸部単純写真での検出能を検討し、検出率をType A:0%, Type B:29%, Type C:68%と報告している。このように比較的胸部単純写真で発見されやすい傾向にあることから、小さな病変サイズ(7mm)を作製することにした。

1-2 ファントム形状の計算法

X線が線減弱係数 μ の物質中を距離 l だけ通過するとき、透過後のX線強度 L は指数則から入射X線強度: L_0 とすると

$$-\log_e L/L_0 = \mu \cdot l$$

となる。

一般に、質量減弱係数(μ/ρ)は原子組成が同じであれば密度に依存しない。したがって、線減弱係数は密度に比例し、X線強度の対数は密度と通過距離に比例する。密度が通過距離とともに変化する場合、その間の密度の積分(以下、密度積分とする)にX線強度の対数は比例する。

球の密度積分を計算するのには、半球で求め2倍にすればよいので以下は半球で計算を進める。肺腺癌を球と想定したときの断面図をFig. 1に示す。

肺胞上皮置換細胞(含気)部分の点(x, y)における密度は、含気部分で線形に密度が変化すると仮定しているので、極座標(r, θ)上で、 θ に関係なく次の式で求められる。

$$\rho_r = \rho_{in} \frac{R-r}{R-fR} + \rho_{out} \frac{r-fR}{R-fR} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

病巣中心からの距離 r の密度: ρ_r

肺胞上皮置換細胞部分の最内側の密度: ρ_{in}

病巣全体の半径： R

肺泡虚脱・線維化巣部分の半径の R に対する比率： f

肺泡上皮置換細胞部分の最外側の密度： ρ_{out}

したがって、 y 方向にX線が入射するとき、 y 方向の密度の積分を $P_{core}(x)$ とすると($0 \leq x \leq fR$)、

$$P_{core}(x) = \int_{y_1}^{y_2} \rho_r dy + \rho_{in} \sqrt{(fR)^2 - x^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $y_1 = \sqrt{(fR)^2 - x^2}$ $y_2 = \sqrt{R^2 - x^2}$

同様に、含気部分のみにX線が入射するときの密度の積分を $P_{outer}(x)$ とすると($fR < x \leq R$)、

$$P_{outer}(x) = \int_0^{y_2} \rho_r dy \quad \dots\dots\dots (3)$$

半球の正常肺での密度積分は、正常肺の密度を ρ_{lung} とすると

$$P_{lung}(x) = \rho_{lung} \sqrt{R^2 - x^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となるので(ただし、 $0 \leq x \leq R$)、ファントム作成に際しては、式(2)および式(3)からそれぞれ式(4)の値を減算した。

1-3 肺腺癌ファントムの視覚評価

15種類の肺腺癌ファントムを、肺野ファントムPBU-X-21の背面の平面な部分(左肺野肋間)上1カ所に付着させ、撮影した。撮影条件は野口分類肺腺癌の胸部単純写真の発見についての臨床結果に関するYangらの報告²⁸⁾を参考にし、次のとおりとした。X線高電圧装置撮影(Shimadzu UD150B-10)、管電圧135kV、管電流160mA、撮影距離180cm、グリッド比14:1、増感紙SRO250、フィルムSRG、自動現像機(Konica X-ray film processor SRX-1001)である。肺腺癌ファントムを付着させていないフィルム5枚を含む計20枚のフィルムを対象に、模擬病変の有無を次の5段階で無作為の順序にて視覚的に評価した。1. 腫瘍はない、2. 腫瘍はないだろう、3. どちらともいえない、4. 腫瘍はあるだろう、5. 腫瘍はある。

画像の読影は1画像当たり30秒以内とし、観察距離は指定しなかった。観察者に事前に提供した情報は肺腺癌ファントムの位置である。

2. 結果

2-1 肺腺癌ファントムの仕様

病巣サイズの直径は7mm、10mm、15mm、20mmを選択し、腫瘍全体に占める線維化巣部分の割合はそれぞれ0%、15%、30%、40%とした。線維化巣部分のCT値は-50HU、0HU、50HU、肺泡上皮置換性部分の最内側のCT値は-300HU、-400HUの値とした。肺

Fig. 1 A cross-sectional drawing of the spherical phantom of small adenocarcinoma. The core corresponds to foci of structural collapse of alveoli and active fibroblastic foci.

泡上皮置換性部分の最外側のCT値は-750HU、正常肺のCT値を-914HUと設定した。これを基にType A, Type B, Type Cに相当する15種類の肺腺癌ファントムを作製した(Table 1, Fig. 2)。

2-2 肺腺癌ファントムの視覚評価

実験に使用した肺腺癌ファントムを肺野ファントムに付着させたX線写真の一例をFig. 3に示す。15種類の肺腺癌ファントムを付着したX線写真および肺腺癌ファントムを付着していないX線写真5枚の視覚評価の結果をTable 2に示す。

肺腺癌ファントムを付着させない肺野ファントムのみのフィルム評価では、「5. 腫瘍はある」と評価した者はいなかった。しかし「4. 腫瘍はあるだろう」と評価した者は3名おり、2名は1枚、1名(読影者F)は2枚の写真について「4. 腫瘍はあるだろう」と評価していた。2枚の写真について「4. 腫瘍はあるだろう」と評価した者の評価は信頼性が低いと判断した。読影者Fの評価を除いた結果をTable 3に示す。以下については読影者Fの評価を除いた結果を記すが、読影者Fを除かないとしても結果に有意な影響は与えなかった。Type Aについて、「5. 腫瘍はある」と評価した割合は10mm、15mmサイズでは0%、20mmサイズでは8.3%であった。「5. 腫瘍はある」と「4. 腫瘍はあるだろう」との合計は10mmサイズで8.3%、15mm(-400HU, -750HU)で41.7%、15mm(-300HU, -750HU)で58.3%、20mm(-400HU, -750HU)で33.3%、20mm(-300HU, -750HU)で58.3%であった。

Type B, Type Cについては15mmサイズでは100%

Table 1 Parameters of the phantom of small adenocarcinoma.

Phantom number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Noguchi's classification	B	B	B	C	A	B	B	B	B	A	A	B	B	A	A
Diameter (mm)	7	7	7	7	10	10	10	10	10	15	15	15	15	20	20
Area of core (%)	15	15	30	40		15	15	30	30			15	30		
CT value of core	-50	50	50	50		-50	50	-50	50			-50	-50		
CT value on the circle with radius fR	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-400	-300	-300	-300	-400	-300
CT value on the circle with radius R	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750	-750

Fig. 2 Photograph of the phantoms of small adenocarcinoma.

Phantom No. 1: diameter: 7 mm, area of core: 15 %, CT value of core: -50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU. Phantom No. 8: diameter: 10 mm, area of core: 30%, CT value of core: -50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU. Phantom No. 12: diameter: 15 mm, area of core: 15%, CT value of core: -50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU. Phantom No. 13: diameter: 15 mm, area of core: 30%, CT value of core: -50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU. Phantom No. 15: diameter: 20 mm, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU. Phantom numbers correspond to those shown in Table 1.

Fig. 3 Radiograph of phantom No. 9 taken on the chest phantom (PBU-X-21, Kyoto Kagaku Co., Ltd.) with use of a 135 kVp X-ray beam and a 14:1 antiscatter grid.

Table 2 Results of visual evaluation by observers.

Observer	Phantom number (No.)															No Tumor				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
A	3	4	4	4	3	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	2	2	2	3	2
B	3	1	4	4	3	3	4	5	5	4	4	5	5	3	4	1	2	1	1	1
C	1	5	5	5	1	1	5	5	5	4	4	5	5	1	5	4	2	2	1	1
D	3	3	3	3	3	3	4	3	5	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3
E	3	4	3	4	4	3	5	4	5	4	3	5	5	4	4	4	3	3	3	3
F	4	4	4	2	2	2	2	5	4	2	4	5	5	4	2	1	2	4	2	4
G	1	2	4	4	1	2	5	4	5	3	1	5	5	2	1	1	1	2	1	1
H	1	3	2	3	1	3	3	4	4	2	4	5	5	2	4	2	2	1	1	1
I	1	5	4	4	3	3	4	3	5	4	4	5	5	4	4	2	1	2	1	1
J	3	4	4	4	3	4	5	4	5	2	4	5	5	5	4	1	3	3	2	1
K	2	2	4	2	1	4	3	4	5	2	4	5	5	2	3	1	1	1	1	1
L	1	4	3	4	1	2	3	3	3	3	2	5	5	2	3	1	1	1	1	1
M	5	1	5	1	1	1	5	1	5	1	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1
Score average	2.4	3.2	3.8	3.4	2.1	2.7	4.0	3.8	4.7	2.9	3.2	5.0	5.0	2.8	3.2	1.8	1.8	2.0	1.6	1.6

Table 3 Percentage of observers evaluating "visible" or "probably visible" (observer F not included).

Phantom number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Visible	8.3%	16.7%	16.7%	8.3%	0.0%	0.0%	41.7%	25.0%	83.3%	0.0%	0.0%
Probably visible	0.0%	33.3%	50.0%	58.3%	8.3%	25.0%	33.3%	41.7%	8.3%	41.7%	58.3%
Total	8.3%	50.0%	66.7%	66.7%	8.3%	25.0%	75.0%	66.7%	91.7%	41.7%	58.3%
Phantom number	12	13	14	15	No tumor						
Visible	100.0%	100.0%	8.3%	8.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
Probably visible	0.0%	0.0%	25.0%	50.0%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
Total	100.0%	100.0%	33.3%	58.3%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		

「5. 腫瘍はある」と評価された。7mmサイズでは「5. 腫瘍はある」の評価が8.3～16.7%であるが、「4. 腫瘍はあるだろう」との合計は8.3～66.7%で、肺胞虚脱・線維化巣部分の割合およびCT値に比例して増加する傾向がみられた。

10mmサイズでは「5. 腫瘍はある」の評価が0～83.3%であった。「4. 腫瘍はあるだろう」との合計では25.0～91.7%であった。7mmサイズ同様に肺胞虚脱・線維化巣部分の割合およびCT値に比例して増加する傾向がみられた。

3. 考 察

3-1 模擬病変ファントムの作製

ヘリカルCTの普及に伴い微小肺腺癌の発見が注目され^{29～34)}、肺腺癌病理分類によって手術後の予後も異なることが明らかになっている。野口らは、2cm以下の肺腺癌を組織学的に大きく二つに分類した。既存の肺胞構造を置換しながら増殖するものをType A～C、非置換性に増殖するものをType D～Fとした。Type A(腫瘍内に線維化巣を認めない限局性細気管支肺胞癌)およびType B(腫瘍内に肺胞虚脱型の線維化巣を認める限局性細気管支肺胞癌)は、リンパ節転移がなく胸膜浸潤も少なく、5年生存率で100%とされている。一方Type C(腫瘍内に線維芽細胞の増殖を認める限局性細気管支肺胞癌)は、5年生存率が72%であると報告されている²¹⁾。鈴木らは肺腺癌における癒痕の割合で生存率が変化することを報告している²²⁾。これらを考慮すると、初期腺癌・上皮内腫瘍の発見はType Aの時点での検出が最も望ましいと考えられる。そこで本研究では、20mm以下の肺腺癌を組織学的分類(野口分類)の定義に従い、これらの先行研究から肺腺癌ファントムの各組織のパラメータを決定した。肺腺癌病変の形状を球と仮定したため、肺腺癌ファントムは画像上で円形に描写される。山根らの報告²⁶⁾によればCTでType Aは円形、Type Bは楕円形、Type Cは不整形

とあり、タイプによる多少の違いはあるが、実用的なファントムとして円形を想定することは画質の判定の目的には問題は大きくないと考えられる。

3-2 肺腺癌ファントムの視覚的評価

視覚的評価の際に、陰影の見落としを防ぐためには観察距離を変化させることも有用である^{35, 36)}ことから距離を一定にするよう指示しなかった。Type Aに相当するファントムは肺胞上皮置換細胞部分のCT値が高く、サイズが大きくなるほど「5. 腫瘍はある」「4. 腫瘍はあるだろう」と評価した合計平均が高値を示した。Type B、Type Cについても肺胞虚脱・線維化巣部分の割合およびCT値、それに伴い腫瘍サイズが大きくなるほど「5. 腫瘍はある」「4. 腫瘍はあるだろう」と評価した合計平均値が大きかった。Type AとType Bの視覚評価結果について、 χ^2 検定(イエーツの補正あり)を用いて検定した結果、有意な差が認められた($p<0.05$)。これらの結果はYangらの報告²⁸⁾とも同様の傾向を示した。Tsubamotoら²⁴⁾は直径20mm以下の肺癌を切除手術した75名について胸部単純写真での発見率を検討した結果、腫瘍サイズ15mm以上、または腫瘍サイズ15mm以下でGG070%以下(癒痕部分が30%以上)のものは、胸部単純写真で発見の可能性が高くなる傾向にあると報告しており、本研究結果と同様の傾向を示している。また、村田ら³⁷⁾は病変濃度(CT値)と胸部単純写真発見の関係について、早期肺腺癌が胸部単純写真で陽性となる要因は、腫瘍サイズ自体より腫瘍のサイズと病理像との関係の方が大きいことを示唆する報告をしている。このことは本研究結果からも示唆される。

今日、胸部X線画像がデジタル化の方向へ進んでいる。本研究で用いた模擬病変ファントムによる画像の視覚評価手法は、デジタル画像にも応用可能なものである。さまざまな疾患に応じた適切なX線撮影条件設定や、モニタ画像の最適な描写設定にも有用であると考えられる。

4. 結 語

本研究ではさまざまな胸部X線画像の画質を視覚評価する方法として、肺野ファントムに装着するための模擬病変として肺腺癌ファントムを構築・作製した。このファントムを用いた胸部単純写真を視覚評価した結果、先行研究による臨床データとはほぼ一致する傾向を示した。

謝 辞

本研究に際しご指導、ご協力をいただきました星野豊氏、中野静男氏、青木昌生氏に深く感謝申し上げます。さらに、本研究に対し終始快くご協力をいただいた大分県立病院放射線科部の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 祖父江友孝：肺腺癌増加傾向の要因。呼吸，18，740-745，(1999)。
- 2) 祖父江友孝：日本の肺癌：疫学。肺癌の臨床，1，149-158，(1998)。
- 3) Austin JH, Romney BM, and Goldsmith LS: Missed Bronchogenic Carcinoma: Radiographic Findings in 27 Patients with a Potentially Resectable Lesion Evident in Retrospect. Radiology, 182, 115-122, (1992)。
- 4) 楠本昌彦，立石宇貴秀，金子昌弘：単純X線像で描出されない肺癌とその境界病変のCT像。画像診断，07(21)，749-758，(2001)。
- 5) 丸山雄一郎，山口敏之，小山正道：初期小型肺癌は胸部単純写真で診断できないのか？ 画像診断，04(22)，350-359，(2002)。
- 6) Sone S, Takashima S, Li F, et al.: Mass screening for lung cancer with mobile spiral computed tomography scanner. Lancet, 351, 1242-1245, (1998)。
- 7) Sone S, Li F, Yang ZG, et al.: Results of three-year mass screening programme for lung cancer using mobile low-dose spiral computed tomography scanner. Br J Cancer, 84(1), 25-32, (2001)。
- 8) 朝倉和浩，花村和久，曾根脩輔，他：スパイラルCT検診車による肺癌一次検診におけるリスク利益分析と費用効果分析—3年間の経験を踏まえて—。第6回胸部CT検診研究会原著論文集，6(3)，287-290，(1999)。
- 9) 岡本英明，宮崎正義，米田晃敏，他：CT肺癌検診の被曝線量。日放技学誌，57(8)，939-946，(2001)。
- 10) 野島浩司：肺野結節影に対する胸部X線写真の診断能に関する基礎的および臨床的研究。金沢大学十全医学会誌，100，1211-1231，(1991)。
- 11) Samei E, Flynn MJ, and Eyler WR: Simulation of subtle lung nodules in projection chest radiography. Radiology, 202(1), 117-124, (1997)。
- 12) Chakraborty DP, Breatnach ES, Yester MV, et al.: Digital and conventional chest imaging: a modified ROC study of observer performance using simulated nodules. Radiology, 158(1), 35-39, (1986)。
- 13) 木村和彦，河野通雄，糸氏英一郎，他：量子計数型X線撮影法による肺野結節影の検出能の評価—基礎的ならびに臨床的検討—。日本医放会誌，55(5)，343-344，(1995)。
- 14) 李 峰，曾根脩輔，清野邦弘，他：Fuji computed radiographyによる疑似結節の検出能の検討—疑似結節の部位と大きさ，形および撮影管電圧とX線補償フィルタの影響。日本医放会誌，56(3)，160-166，(1996)。
- 15) 滝沢正臣，曾根脩輔，小口和浩：遠隔画像診断システムにおけるCRT像の画質評価—肺疑似結節の読影実験とそのROC解析—。日本医放会誌，56，1061-1065，(1996)。
- 16) 李 峰：胸部X線撮影に用いるX線フィルム—増感紙系の濃度特性と粒状性からみた肺疑似結節の検出能の検討。日本医放会誌，57(3)，104-109，(1997)。
- 17) Maruyama Y: Performance of various X-ray film/screen systems in demonstrating small simulated low-density lung nodules. 日本医放会誌，58(9)，509-515，(1998)。
- 18) 福西康修，島田繁也：胸部を対象としたCR systemでの撮影管電圧と付加フィルタの物理特性。日放技学誌，55(10)，1018-1026，(1999)。
- 19) 青木昌生，杉木孝次，一条孝三：信頼性向上のための臨床撮影技術の実践。日放技学誌，44(11)，1650-1657，(1988)。
- 20) 青木昌生，星野 豊，中野静男，私信
- 21) Noguchi M, Morikawa A, Kawasaki M, et al.: Small adenocarcinoma of the lung. Cancer, 75(12), 2844-2852, (1995)。
- 22) 鈴木健司，横瀬智之，吉岡 孝，他：肺腺癌中心部癒痕の割合と野口分類：野口のC型腺癌の亜分類の可能性。肺癌，39(1)，3-10，(1999)。
- 23) 松井英介，金子昌弘，楠本昌彦，他：CT検診発見径15mm以下肺野末梢腺がんのThin-Section CT像。第7回胸部CT検診研究会原著論文集2，7(3)，207-212，(2000)。
- 24) Tsubamoto M, Kuriyama K, Kido S, et al.: Detection of lung cancer on chest radiographs: analysis on the basis of size and extent of ground-glass opacity at thin-section CT. Radiology, 224(1), 139-144, (2002)。
- 25) 伊藤英司，伊藤峰幸，大西哲郎，他：直径3cm以下の肺小型腫瘍におけるCT値ヒストグラムの検討；画像—病理所見の相関および病期，予後との関連。肺癌，41(5)，520，(2001)。
- 26) 山根浩介，矢野健次，奥道恒夫，他：腫瘍径10mm以下の肺腺癌のHRCT像と病理組織像の検討。臨床放射線，46(1)，29-34，(2001)。
- 27) Sone S, Li F, Yang ZG, et al.: Characteristics of small lung cancers invisible on conventional chest radiography and detected by population based screening using spiral CT. Br J Radiol, 73, 137-145, (2000)。
- 28) Yang ZG, Sone S, Li F, et al.: Visibility of small peripheral lung cancers on chest radiographs: influence of densitometric parameters, CT values and tumour type. Br J Radiol, 74,

- 32-41,(2001).
- 29) 松井英介, 桐生拓司, 川口真平, 他: 末梢肺腺癌のHRCT所見—病理所見との対比—. 第4回胸部CT検診研究会原著論文集 4, 92-95, (1997).
- 30) Kuriyama K, Seto M, Kasugai T, et al.: Ground-glass opacity on thin-section CT: value in differentiating subtypes of adenocarcinoma of the lung. AJR, 173, 465-469, (1999).
- 31) 野口正之, 森山 浩, 萩原 勁, 他: 検診における胸部単純X線無所見の末梢型肺癌の検討. 第6回胸部CT検診研究会原著論文集, 6(3), 236-242, (1999).
- 32) 齋田幸久, 鯨岡結賀: 孤立性肺結節陰影のCT診断. 画像診断, 02(19), 136-142, (1999).
- 33) 大林千穂: 画像診断医が知っておくべき肺癌の病理. 画像診断, 07(21), 714-721, (2001).
- 34) 古泉直也, 森田哲郎, 酒井邦夫, 他: 小さい肺腺癌の画像と病理. 画像診断, 07(21), 722-730, (2001).
- 35) Shea FJ, and Ziskin MC: Visual system transfer function and optimal viewing distance for radiologists. Invest Radiol, 7(3), 147-151, (1972).
- 36) 松本常男: 胸部単純X線写真による肺癌診断. 画像診断, 18(11), 1132-1143, (1998).
- 37) 村田和子, 久修 明, 小原秀一, 他: 野口typeA, B早期肺腺癌におけるchestX-Rと病理の対比. 日本医放会誌, 61(2), 220, (2001).

図表の説明

Fig 1 模擬病変ファントムの模式図

Fig 2 開発した肺腺癌ファントム

Fig 3 肺野ファントムに肺腺癌ファントムを付着させ得られたX線写真

Table 1 肺腺癌ファントムの設定値

Table 2 肺腺癌ファントムの視覚的評価結果

Table 3 肺腺癌ファントムの視覚的評価結果のまとめ