



Title	Digital Radiography (Fuji Computed Radiography)を用いた肺野結節影内石灰化の検出に対する検討-胸部1回エネルギー差分法骨画像を用いて-
Author(s)	小林, 健
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1995, 55(9), p. 638-645
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18668">https://hdl.handle.net/11094/18668</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# Digital Radiography (Fuji Computed Radiography) を用いた肺野結節影内石灰化の検出に対する検討

—胸部1回エネルギー差分法骨画像を用いて—

小林 健

金沢大学医学部放射線医学教室（主任：高島 力教授）

## Evaluation of Calcification in Pulmonary Nodules Using Bone Images Obtained with Single Exposure Energy Subtraction

Takeshi Kobayashi  
(Director : Prof. Tsutomu Takashima)

Bone images obtained by single exposure dual energy subtraction with computed radiography, a new image processing method, were evaluated for the detectability of calcification in lung nodules in both phantom and clinical studies.

In the phantom study, five simulated nodules containing known and uniformly distributed amounts of calcium hydroxide were placed in a human chest phantom and images were obtained the following five techniques: 1) conventional radiography (CXR), 2) low kV conventional radiography (Low), 3) Fuji computed radiography (FCR), 4) bone images with conventional singles exposure energy subtraction (ES) and 5) bone image with fine single exposure energy subtraction (FES). The detectability of calcification in the simulated nodules was evaluated by six radiologists using ROC analysis and two-way analysis of variance.

In the clinical study, images of 42 lung nodules (21 calcified lung nodules and 21 non-calcified nodules), in which calcification was diagnosed by computed tomography, were obtained with the following four techniques: 1) CXR, 2) FCR, 3) ES and 4) FES and the detectability of calcification in the lung nodules was evaluated by nine radiologists using ROC analysis.

In the phantom study, FES was significantly superior to CXR, Low and ES, and equal to FCR in the detectability of calcification in the simulated nodules. Compared with ES, FES was especially superior in the underexposed portion of the chest radiograph. In terms of calcium content in the simulated nodules, FES and FCR were superior to CXR in detecting calcification when a lower calcium hydroxide content was present.

In the clinical study, FES was significantly superior to CXR, FCR and ES in the diagnosis of calcification in lung nodules.

These findings indicate the usefulness of FES in the detection of calcification in lung nodules, and suggests that it is promising for the diagnostic screening of lung nodules.

Research Code No. : 506.9

Key words : Computed radiography, Image processing, Lung nodule, Calcification

Received Jul. 11, 1994; revision accepted Jul. 27, 1994

Department of Radiology, Kanazawa University, School of Medicine

## はじめに

肺癌の増加に伴い、早期肺癌の発見を目指し、各種の肺癌検診が施行されている。肺野型肺癌の発見にはComputed Tomography (CT)を用いた方法も検討されている<sup>1)</sup>が、いまだ治検段階で、胸部単純X線撮影がその基本であることに変わりはない。しかし、それではさまざまな肺癌以外の結節性病変が偽陽性病変として認められる。特に、石灰化を伴う結節性病変はその代表的なものである。肺野結節影の良悪性に関する診断についてはさまざまな検討がなされている<sup>2)-6)</sup>が、確立したものはない。結節影内石灰化についてはTherosらが石灰化を伴う結節のほとんどが良性であると報告<sup>7)</sup>してから、画像所見の良悪性の診断の重要な所見と考えられるようになり、一部例外はある<sup>8)</sup>ものの臨床的に広く応用され、診断基準の1つとなっている。しかし、胸部単純X線撮影の主流となっている高圧撮影(CXR)では、石灰化の存在診断に弱点を持ち、それを胸部単純X線像で正しく評価することは、肺癌検診などの際、偽陽性症例を減らすためにも重要である。

一方、Digital Radiography (DR)は胸部撮影にも利用され、これまでのフィルム／スクリーン系との診断能に関する優劣の検討が進んでいる<sup>9)</sup>。中でもFuji Computed Radiography (FCR)は、これまでの撮影装置がそのまま使用でき、さまざまな画像処理が可能で、広く臨床に応用されてきている<sup>10)-15)</sup>。このFCRでは、高圧撮影に望まれていた中央陰影や横隔膜ドーム下の肺野の描出を画像処理で補うことで、100kVp撮影条件での胸部撮影を可能とした。さらに、特殊な画像処理であるエネルギー差分法(ES)は、骨陰影を消去しての軟部画像で肺野結節陰影の描出を容易にした<sup>16)</sup>のみならず、胸部骨構造の選択的描出を可能とした骨画像で病巣内石灰化の検出も容易にした。

特に、近年、エネルギー差分法として新たに開発された粒状改良型エネルギー差分法(fine ES)骨画像は、粒状性が一段と改善され<sup>17)</sup>これに伴い、肺野結節影内石灰化の検出の向上が期待される。われわれはこのfine ESによる肺野結節影内石灰化の検出について、基礎的ならびに他の臨床応用されているX線画像と比較することで臨床的にも検討し、そ

の有用性について評価した。

### 対象と方法

肺野結節影内石灰化の診断能を評価するため(1)ファントームを用いた評価と、(2)臨床材料を使用した評価を行った。

#### 1. ファントームを用いた評価

実験はHumanoid chest phantomを使用し、これに自作した疑似結節を貼付して行った。疑似結節としてはパラフィンを使用し、石灰化結節として水酸化カルシウムを200, 300, 400, 500, 600mg/mlそれぞれ均一に混入させ、半球状に形成したものを使用し、非石灰化結節として水酸化カルシウムを含まないパラフィン結節を使用した。石灰化結節はそれぞれ5mm, 10mm, 15mm径の大きさのものを各3個、そして、上述した5種類の濃度と計45個使用し、非石灰化結

節も同数として合計90個を実験に供した。貼付部位は骨に重ならない肺野に30個、骨に重なる肺野に30個、縦隔に重なる肺野に15個、横隔膜に重なる肺野に15個をそれぞれ石灰化結節と非石灰化結節がほぼ同数になるようにした。1撮影時に6結節貼付し、計15種類の画像を以下に述べる撮影法にて撮影した。

撮影法は、通常のフィルム／スクリーン系の高圧撮影(CXR)と低圧撮影(Low)，および1回エネルギー差分法(FCR-ES)を行った(Fig.1)。FCRはFCR 7000を使用し、FCR像(前面イメージングプレート像)とこれまでのES骨画像とfine ES骨画像を得た。それぞれの画像撮影条件はTable 1に、FCR-ESの表示条件をTable 2に示す。GA(回転量)、GT(曲線型)、GC(中心濃度)、GS(表示濃度)は階調処理パラメーターを示し、RN(周波数ランク)、RT(曲線型)、RE(強調度)は周波数処理パラメーターを示す。FCR像は2画像表示方式で、通常フィルム／スクリーン系に準じた画像処理を行った左画像と特性曲線 $\gamma$ をねかし、低周波数を強調して縦隔や横隔膜下の肺野の観察を容易にした右画像の2種類を同時に観察対象とした。ES骨画像は軟部陰影を消去したもので、銅フィルター前面像と後面像を重みづけ法により差分して得られたものである。一方fine ES法はこの差分に際して画像処理ワークステーションであるCR station-1にいったん画像情報を送り、そこに含まれる粒状改良型エネルギーサブトラクション処理により行われたものである。これまでの差分法と比較して、画像に含まれる粒状成分を選択的に抽出し、また、重み係数を9段階で任意に変更でき、これによってこれまでのES骨画像より良好な骨画像を得ることができる(Fig.2)。重み係数は、当院放射線部にて胸部の骨構造が明瞭に描出できることを目的として、ワークステーション内のGray level計測を用いて胸部各部位のQ1値を算出し、これに応じて規定して行った。以上5種類の撮影に対し比較検討を行った。

観察は6名の放射線科医によって行われた。結節の存在部位はあらかじめ明示しておき、各結節についてその結節に石灰化が存在するかを5段階

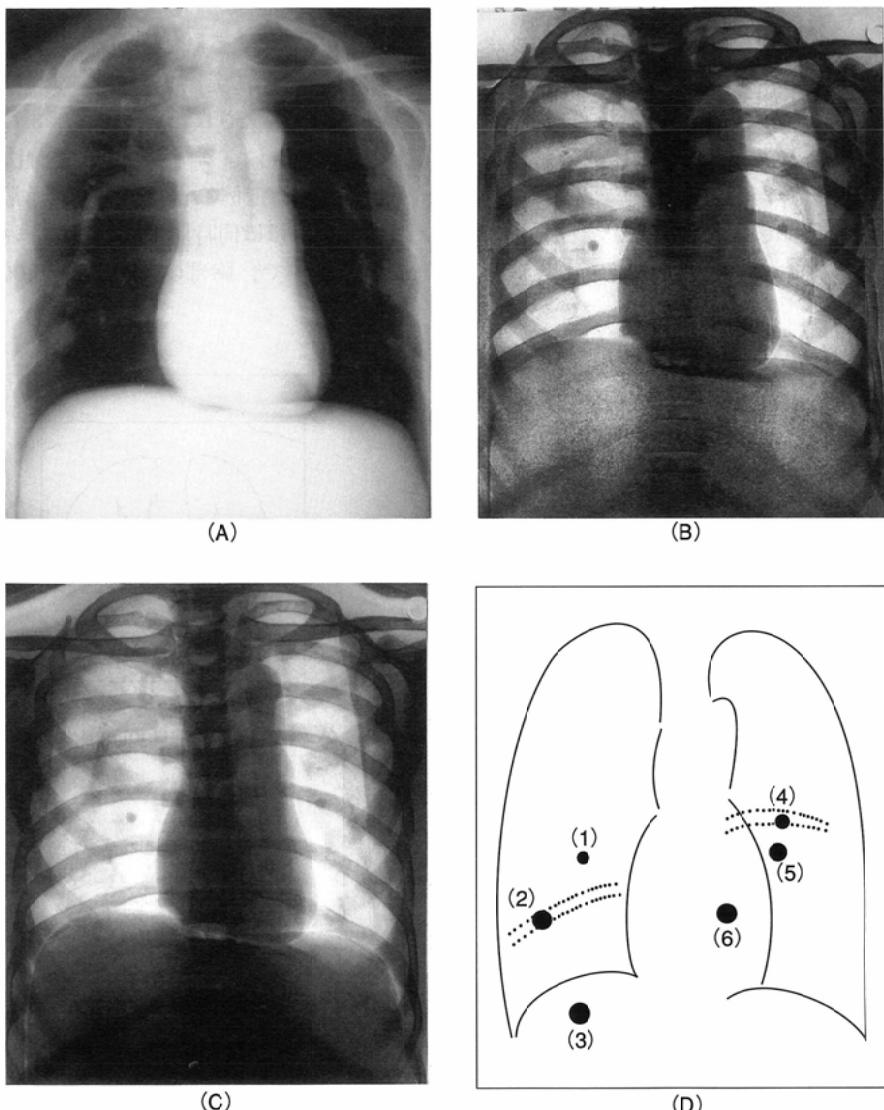


Fig.1 Phantom study  
 (A) CXR, (B) conventional ES bone image, (C) fine ES bone image, (D) scheme of nodule position. Each image has six simulated nodules with or without calcification. CXR: conventional chest X-ray image ES: dual-energy subtraction image  
 (1)5mm, 600mg/ml (2)15mm, 0mg/ml (3)10mm, 500mg/ml (4)10mm, 0mg/ml (5)5mm, 500mg/ml (6)10mm, 500mg/ml

Table 1 Exposure condition

	kVp	mA	sec	SID	grid	film	screen	filter
For phantom study								
CXR	130	100	0.32	200	8 : 1	SR-C	HR-4	0.5Al 0.1Cu
Low voltage CXR	70	200	0.13	200	8 : 1	SR-C	HR-4	non
FCR	100	600	0.13	200	8 : 1	for FCR	non	non
For clinical study								
CXR	130	timer	timer	200	12 : 1 & 10 : 1 closs	SR-C	SR-O-2 50 (Konica)	0.5Al 0.1Cu
FCR	100	600	0.13	200	8 : 1	for FCR	non	non

Table 2 Processing parameters of CR and energy subtraction images

	GA	GT	GC	GS	RN	RT	RE
plain FCR	1.0	E	1.6	- 0.20	0	R	0.5
wide FCR	0.9	A	1.6	- 0.20	0	R	3.0
conventional ES	1.6	M	1.2	+ 0.18	5	Y	0.3
fine ES	2.4	A	0.6	- 0.58	5	Y	0.2

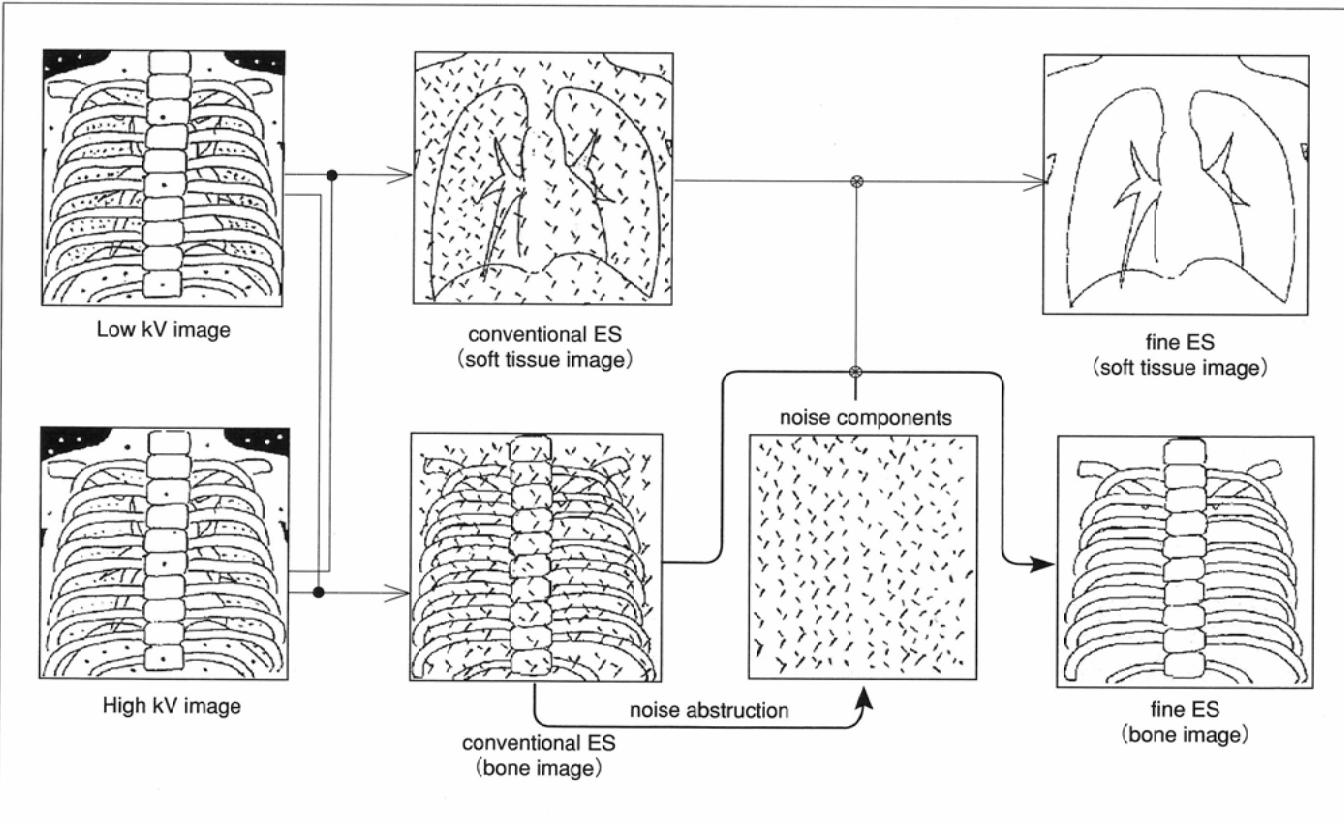


Fig.2 Principle of fine single exposure dual-energy subtraction method

の確信度(1—石灰化を認めない, 2—石灰化なしを疑う, 3—分からない, 4—石灰化を疑う, 5—石灰化は認める)で評価し, 判定した。

観察結果は, ROC解析を用いてROC曲線下面積にて評価した。ROC解析にはシカゴ大学Mets C.E.のプログラム“ROCFIT”を使用し, 診断能の検定はROC曲線下面積を算出しpaired-t-testで検定した。

また, 結節内石灰含有量別に石灰化結節を200, 300, 400, 500, 600mg/mlの5群に分類し, それぞれの石灰含有量別結節に対する診断能を, 二元配置分散分析法で分析し, Tukey-Kramerの多重解析法を用いて石灰含有量別に各撮影法間で石灰化認識性の差を比較した。

## 2. 臨床材料による評価

1992年12月に金沢大学放射線部にFCR 7000が導入されてから1993年8月までに, FCRによるエネルギー差分法が施行された症例のうち, FCRと通常のCXRが, ほぼ同時期に施行されていた症例の中で, 胸部CT(GE/CT 9800

High Light)の10mm厚スライスにて結節の存在とその石灰化の有無が明らかとなった39例42結節を対象とした。石灰化症例は19例21結節であるが、これは、この期間に上記条件を満たした全例である。結節の内訳は、臨床診断によるが、石灰化肉芽腫19結節、骨肉腫肺転移2結節で、大きさは5~30mm(平均12.4mm)であった。存在部位は中央陰影や横隔膜ドーム下といったunderexposureとなる肺野が5結節、骨と重なる肺野が10結節、それ以外の肺野が6結節であった。非石灰化結節は、上記条件を満たす中から、境界明瞭な結節を選び、大きさ、存在部位を石灰化結節と似るように21例、21結節を選択した。内訳は、血行転移性肺癌14例、良性腫瘍4例、原発性肺癌1例、器質化肺炎2例であり、大きさは5~30mm(平均12.2mm)であった。存在部位は上述のunderexposureとなる肺野が2例、骨と重なる肺野が11例、それ以外の肺野が8例であった。石灰化例と非石灰化例の間には、大きさ、存在部位での差がないことは $\chi^2$ 検定で確認しており、これらの点による症例の偏りはないと考えられる。

各結節のCXR、FCR像(前面イメージングプレート像)2画面表示、ES骨画像、fine ES骨画像の4種類を検討の対象とした。それぞれの撮影条件、表示条件は基礎的検討で示したものと同様である(Table 1, 2)。観察は9名の放射線科医にて行った。結節内石灰化の有無を同様に5段階の確信度で評価し、ROC解析を行った。解析結果はROC曲線下面積をもとにpaired-t-testにて検定を行った。

## 結 果

### 1. ファントームによる評価

#### (1) 各画像間石灰化診断能の比較

6名の放射線科医により判定された全データをROC曲線としてFig.3に示す。fine ES骨画像は最も診断能が高いが、FCRと有意差はなかった。しかし、Low、CXR、ES骨画像

と比較し有意に診断能の向上が認められた。各読影者間でややばらつきがあったものの、FCRの読影経験群3名とそれ以外の3名の間にはこの傾向に関して有意な傾向差は認めなかった。

#### (2) 結節存在部位による影響

各結節の存在部位別に検討したところ、骨との重なりの有無については各画像間とも有意差がなかった。そこで、中央陰影や横隔膜ドーム下のunderexposureとなる部位とそれ以外の肺野部位とのROC曲線下面積について比較した。結果をFig.4に示す。underexposureとなる部位については各画像とも診断能が劣化した。underexposureとなる部位を除いた肺野では、ES骨画像の診断能はfine ES骨画像やFCRと遜色なく、各画像間ではCXRの診断能のみが有意に劣っていた。underexposureとなる部位では、fine ES骨画像やFCRが良好な診断能を示し、ついでLow、CXR、ES骨画像となつた。中でもES骨画像はROC曲線下面積0.5094と極めて不良であった。実際の画像でも、これまでのES骨画像はunderexposure部位の結節の描出は多くの結節で不可能であった。

#### (3) 大きさによる影響

各画像間の結節の大きさ別の石灰化診断能の比較をROC曲線下面積で示す(Fig.5)。各画像間で結節の大きさによる診断能の有意差は認めなかった。fine ES骨画像で5mmの結節の診断能が低下していたが、これも有意差は認めなかつた。

#### (4) 石灰化含有量による石灰化認識性について

結節内石灰化含有量別に読影者が評価した結節内石灰化の評価点をまとめ、各撮影法別に比較したものをFig.6に示す。通常のES骨画像は石灰含有量よりも存在部位、特にunderexposure部位での評価のばらつきが大きく、一定の傾向は示していないが、他の4画像では、いずれも、石灰含有量が増加するに従い、評価平均点の上昇する傾向がTukey-Kramerの多重解析法で5%の危険率にて有意差をもって認められた。この4画像間では同じ石灰含有量の結節を

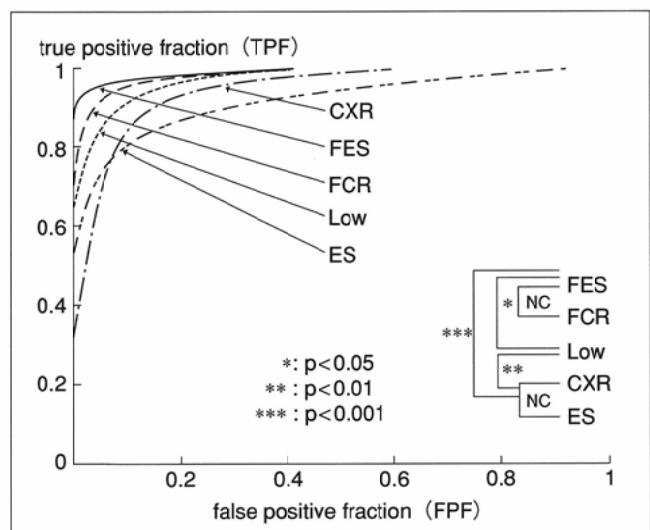


Fig.3 Average ROC curves for six observers for detectability of intranodular calcification (phantom study)

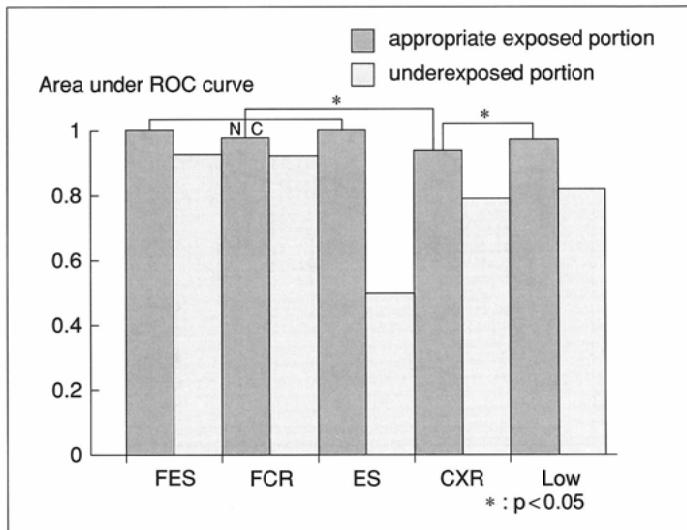


Fig.4 Area under ROC curves for six observers for detectability of intranodular calcification in different nodular positions (phantom study)

比較した場合ではfine ES骨画像とFCRは200mg/mlの少ない石灰含有量でCXRと比較し、高い評価点が得られ、その差はtukey-Kramerの多重解析法にて5%の危険率で有意差を認めた。

## 2. 臨床材料による評価

読影実験結果をROC曲線としてFig.7に示す。臨床例でも、fine ES骨画像が最も石灰化診断能に優れており、FCR、これまでのES骨画像、CXRと比較しても有意差を認めた(Fig.8)。FCRとこれまでのES骨画像にもROC曲線下面積では有意差があったが、曲線自体は交差しており、その差はわずかであった。CXRは、他の3画像と比較し、有意に石灰化診断能が劣っていた。これまでのファントームによる検討で、ES骨画像がunderexposureとなる部位で診断能が極めて劣化していたので、この部位にある結節7結節を除いた35結節で検討し直した結果をROC曲線としてFig.9に示す。これまでのES骨画像の診断能が当然向上し、FCRとの間に有意差は消失した。しかし、全体の傾向に変化はない

く、fine ES骨画像の石灰化診断能は他の画像より、有意に優れていた。

## 考 察

FCRはわが国で開発されたDRの中の1つで、これまで実用化されたDRシステムの中では最も優れた画質を有し、広く臨床に応用されている<sup>10)-15)</sup>。この利点として①優れたX線検出器であるイメージングプレートを利用できること、②デジタル装置としての特徴を生かした各種画像処理が可能であること、があげられる。中でも、特殊な画像処理であるエネルギー差分法は胸部撮影画像内から骨陰影を消去し軟部画像を作成したり、骨構造のみの骨画像を表示できるといったユニークな手法であり、早くからその臨床的有用性の検討がなされてきた<sup>18), 19)</sup>。骨画像については当初より肺野結節影に対してその質的診断に関連して、結節内石灰化の検出に有効との報告がなされてきた<sup>20), 21)</sup>。しかし、これまでのエネルギー差分法では被写体による画像のばらつきが多く、underexposureとなる中央陰影や横隔膜ドーム下でエネルギー分離が十分にできず良好な差分画像を得られないことや、ノイズが多く粒状性が不良なことに起因するアーチファクトのため、実際にはその臨床応用は制限されていた。

このノイズを減少させることを目的に1991年、Itohらは新たにfine ES処理を考案した<sup>17)</sup>。この原理をFig.2に示した。すなわち、これまでのES骨画像からコンピュータ処理により粒状性分のみを抽出し、これを改めてこれまでのES画像から差分することで粒状性の良好な像を得るものである。また、この際、CRのもつQ1値によって重み係数を9段階で変えることを可能にした。これによって、欠点とされてきたunderexposure部位のエネルギー差を画像化することができるようになった。Kidoらは新しいエネルギー差分法のうち、軟部画像を検討し、これまでのエネルギー差分法の欠

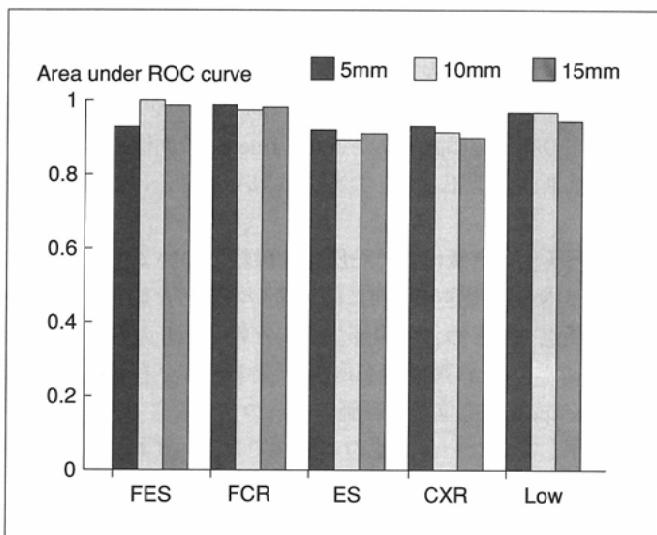


Fig.5 Area under ROC curves for six observers for detectability of intranodular calcification at different nodular sizes (phantom study)

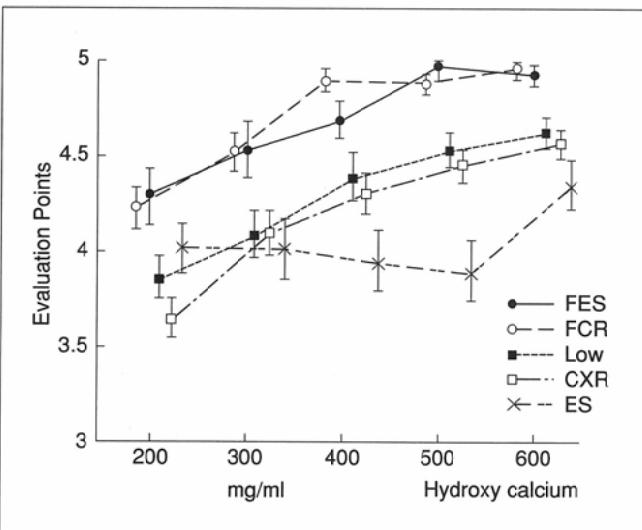


Fig.6 Evaluation of detectability of calcification in known calcified simulated nodules

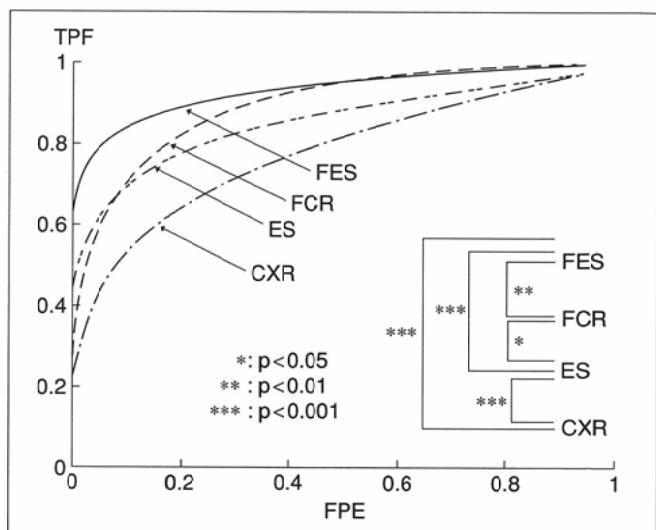


Fig.7 Average ROC curves for nine observers for detectability of whole intranodular calcification (clinical study)

点であったX線被爆量の軽減が可能で、撮影条件を通常のフィルム／スクリーン系と同じにしてもこれまでと同じ画質の差分画像が得られ、肺野結節影の検出に有用であると報告している<sup>22)</sup>。しかし、新しいこのエネルギー差分法の骨画像に関する報告はない。そこで、今回、われわれは新しいこの骨画像が、これまでのCXRやES骨画像と比較し肺野結節影内石灰化の評価にどの程度有用性があるかを実験および臨床的に評価した。今回、対象を肺野結節内石灰化の評価としたのは、ES画像処理が、特にその簡便性や診断能の点から肺野結節性病変の診断に最も広く用いられていくであろうことと、その際fine ES骨画像がどの程度の石灰化を診断できるのか、また、どの点でこれまでのES骨画像より

臨床的に役に立つか、その限界はどうかを明確にする必要があると考えたからである。

### (1) FCRとCXRとの石灰化検出能の比較

FCRとCXRとは基礎的にも臨床的にも明瞭な差を認めた。FCRがCXRより優れた結果を呈した原因として、①撮影条件、②画像処理の影響が考えられる。

#### ① 撮影条件について

今回使用したFCRはエネルギー差分処理を行う際に撮影される前面画像である。この場合、撮影条件は100kVp, 78mAである。これは、FCRでは通常の高圧撮影にしなくてもFCR自体が持つ広いラチチュードや画像処理により、さまざまな撮影条件を要求する胸部撮影全体をカバーできることによっている。胸部電圧による石灰化の影響については、基礎的検討にて70kVpでの撮影による評価も行ったが、130kVpのCXRよりもその診断能は良好であったことからも大きな要因と考えられる。しかし、Lowで不利とされるunderexposure部位を除いてもFCRやfine ES骨画像はLowに劣らないことから、石灰化検出については今回のFCRの撮影条件は妥当であると考えられた。

#### ② 画像処理の影響について

今回FCRは通常の読影に準じて2画像表示式で読影を行い、特性曲線 $\gamma$ をねかした低周波数を強調した右画像を併用した。一般的に周波数処理を行うと濃い濃度のものはより濃く描出されるため、石灰化を認識しやすくなり、この影響でFCR全体の評価が向上したものと考えられた。

### (2) FCRとfine ES骨画像との石灰化検出能の比較

今回の検討では、fine ES骨画像は他の撮影法と比較し、最も結節影内石灰化の検出に優れていた。基礎的検討ではFCR像の診断能も良好でfine ES骨画像と有意差が出なかったが、臨床例では、明らかな有意差が出た。基礎的検討で有意差が生じなかった原因としてstructural noiseの問題があげられる。実験系ではファントームを使用していることから、結節周囲に正常血管気管支系が存在せず、最初からstructural noiseが消去されていることになる。したがって、実際の臨床例の正常血管気管支影が存在した画像で評価した場合、これを消去し、かつ骨成分を選択的に画像化したfine ES骨画像はFCRと比較しても有意にその診断能が高くなったと考えられた。

### (3) これまでのES骨画像とfine ES骨画像の比較

これまでのES骨画像とfine ES骨画像を比較すると、実験系にて極めて明らかな差が出

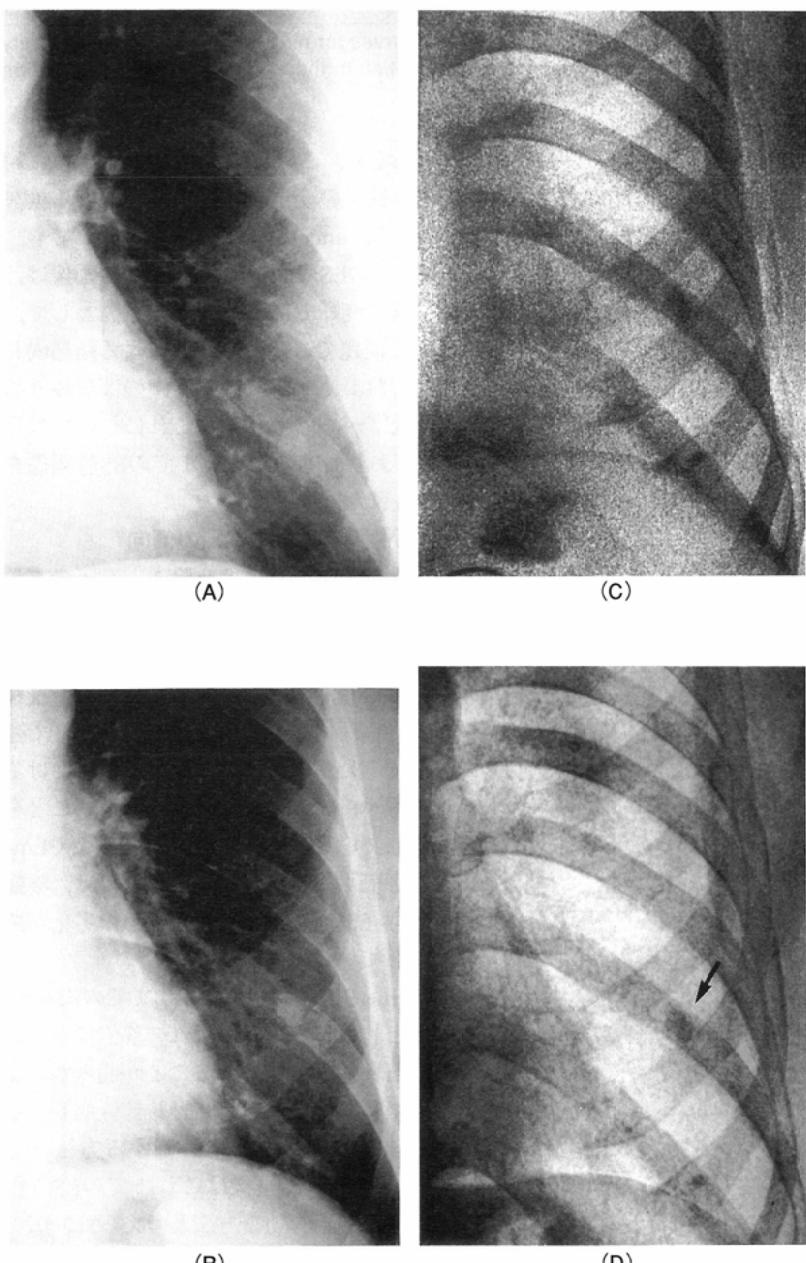


Fig.8 Case with calcified nodule(granuloma)

(A) CXR, (B) FCR, (C) conventional ES bone image, (D) fine ES bone image. Calcification in the nodule (arrow) was best demonstrated on fine ES. Many observers diagnosed its calcification more exactly by fine ES than others.

た。この理由として、fine ES骨画像において粒状性の改善のほかに、Q1値による重み係数の変更を可能にした点が重要である。これまでのES骨画像では重み係数を部位によって変更できないため、どうしてもエネルギー分離に優れた部位しか明瞭に描出できなかった。しかし、fine ES骨画像では分離の不十分であった部位を検討し、同部のQ1値を求め、それに応じた重みづけを行うことで、これまでのES骨画像で描出の難しかった胸椎や肋骨外側部の像を明瞭に描出することを可能とした。これにより、ES骨画像でこれまで問題であった被写体の体格差による画質のばらつきも軽減した。ただし、このことは重み係数が持ち上げられている部位では、少ないエネルギー差を強調して骨画像陽性として描出することになり、偽陽性がかえって増加する懸念があると考えられる。しかし、今回の基礎的検討ではこの点は問題とならなかった。これは本実験では非石灰化結節としてパラフィン結節を用いており、陰影として淡いためと考えられていた。実際、臨床的検討では胸部外側に存在した結節に明らかな偽陽性が存在した(Fig.10)。現在この偽陽性の詳細な原因を検討しているが、われわれは今使用しているfine ES骨画像が骨構造を明瞭に描出する、いわゆる芸術的な美しい画像を主眼に開発され骨構造を明瞭に描出するために、部位によっては重み係数が過剰に持ち上げられていることが原因であろうと考えている。これまでのわれわれの経験では、胸郭の薄い患者の肺野外側部や中央陰影、横隔膜ドーム下の結節が偽陽性になりやすい傾向がある。したがって、現時点では、これを知って注意して対応することが臨床的に肝要である。fine ES骨画像の臨床応用の有用性の1つが、結節影内の良性石灰化の有無の診断ができる、それにより、症例によってはその後の検査を省略でき、それにより、症例によってはその後の検査を省略できる。

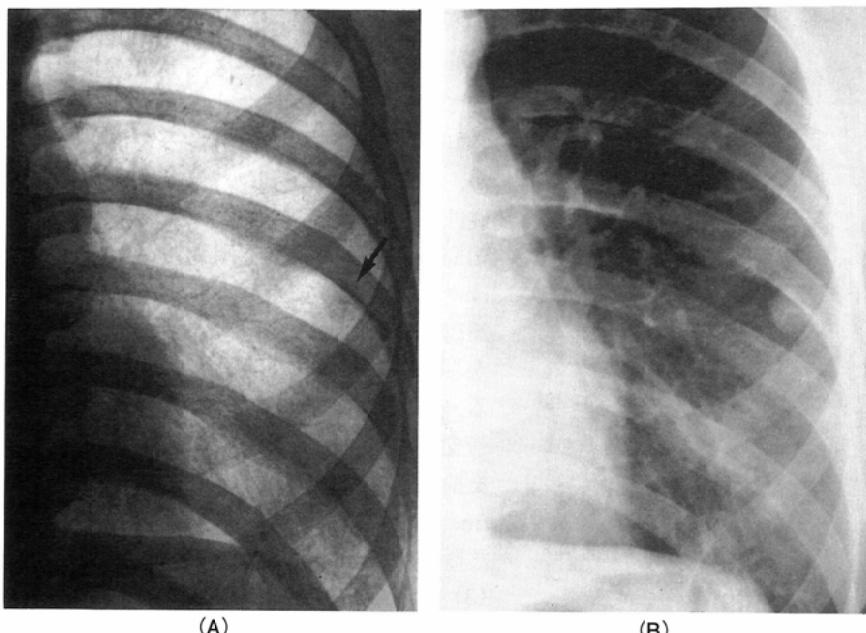


Fig.10 False positive case by fine ES bone image (Metastatic pulmonary nodule). (A) fine ES bone image, (B) FCR. All observers diagnosed the nodule (arrow) as a calcified nodule by fine ES but the nodule showed no calcification on computed tomography.

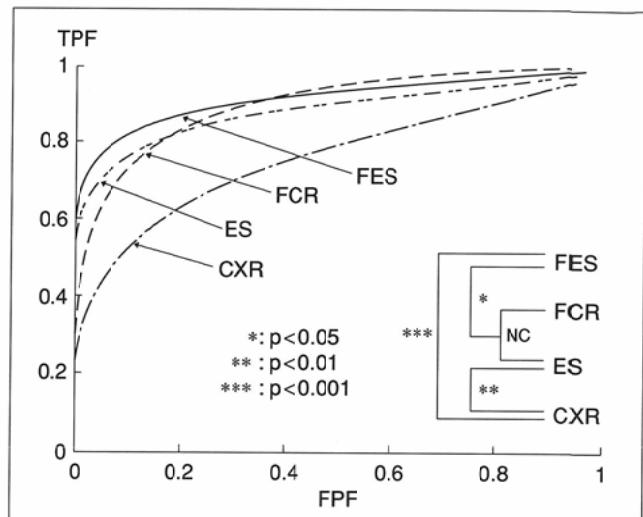


Fig.9 Average ROC curves for nine observers for detectability of intranodular calcification in the appropriate exposed portion (clinical study)

きることであると考えると、この点については、Q1値に対応するより適切な重み係数の変更を主とするさらなる検討が必要であろうと考える。underexposure部位を除いても、臨床的検討ではこれまでのES骨画像よりfine ES骨画像は、石灰化の診断能が有意に良好であった。この原因として、これまでのES骨画像で問題であったノイズによる結節内石灰化偽陽性例の減少、および体格による画像のばらつきの軽減による偽陰性の低下があげられる。これについては今回の対象でも経験しており、本法はこれまでのES骨画像を凌駕していると考えられた。

#### (4) 石灰含有量と各画像間の石灰化検出の傾向

石灰含有量ではこれまでのES骨画像を除き、石灰含有量に比例して、評価平均点が向上していく。さらに個々について見ると、FCRやfine ES骨画像はほぼ同等の評価点で推移し、高圧画像とは少ない石灰含有量で差ができる。これは石灰化の検出におけるFCRやfine ES骨画像の感度がよいことを示している。これまでのES骨画像やLowが評価平均点が低下しているのは、結節の存在部位による診断評価点の劣化が関与していると考えられた。

fine ES骨画像は、これまでのES骨画像と比較し、肺野いずれの部位でも有効な石灰化検出法であることが明らかとなった。したがって、肺野結節性病変の石灰化の有無を簡便に評価する方法として、fine ES骨画像はこれまでのES骨画像に比して有効な方法と考えられ、広く臨床応用が可能と考える。ただし、臨床例ではこの手法独特の偽陽性所見を呈することも明らかとなったので、今後はfine ES骨画像を使用していく上で十分な

注意が必要である。

## 結語

ES骨画像における肺野結節影内石灰化の検出の有用性について、ファントームと臨床の両面よりROC解析による読影実験にて検討し、以下の結論を得た。

1. 従来のES骨画像では、underexposureとなる部位でのエネルギー分離ができず、満足な骨画像が得られず偽陰性が生じること、また、画質で粒状性の悪さによるノイズのため偽陽性が出ることより、その臨床応用に制限があると考える。

2. この点を改良したfine ES骨画像、すなわち、粒状性の改善と部位による適正な重みづけにより肺野全体のエネルギー差を画像化した骨画像は、肺野結節内石灰化の評価について、通常のFCRやCXRと比較し有意に診断能の向上が認められた。ただし、重みづけを強調した部位では非石灰化結節でも陰影が残存するという偽陽性があり注意が必要

である。

3. 結節内石灰含有量は石灰化診断能の向上に関与しており、その傾向はFCR、fine ES骨画像、CXRで差はなかったが、FCRやfine ES骨画像でより少ない石灰含有量で診断が可能であった。

以上、FCRを用いたES画像による肺野結節影の診断で、その骨画像は石灰化の検出に優れており、肺野結節性病変のスクリーニング検査として有用であると結論した。

稿を終えるに当たり、本研究のご指導、ご校閲をいただいた金沢大学医学部放射線医学教室高島 力教授に深謝いたします。また、本研究のため撮影、画像処理、解析にご協力いただいた松井、真田技師をはじめとする放射線部技師の方々、衛生学教室橋本和夫教授、ならびに読影実験にご協力いただいた上村良一先生をはじめとする当放射線医学教室の諸兄に深くお礼申し上げます。

本研究の一部は第34回日本肺癌学会（1993、東京）において発表した。

## 文 献

- 1) 館野之男、飯沼 武、松本 徹、他：肺癌検診のためのX線CTの開発。新医療 17 : 28-32, 1990
- 2) Zwirewich CV, Vedula S, Miller RR, et al : Solitary pulmonary nodule ; High-resolution CT and radiological-pathologic correlation. Radiology 179 : 469-476, 1991
- 3) 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 : 1035-1042, 1992
- 4) Mori K, Saitou Y, Tominaga K, et al : Small nodular lesion in the lung periphery ; New approach to diagnosis with CT. Radiology 77 : 843-849, 1990
- 5) 楠本昌彦：肺癌におけるGd-DTPA enhanced MRIの有用性に関する臨床的検討。日本医学会誌 52 : 358-371, 1992
- 6) 利波紀久、秀毛範至、関 宏恭、他：原発性肺癌が疑われた患者におけるT1-201 Single photon emission computed tomographyの臨床的検討。核医学 25 : 1381-1393, 1988
- 7) Theros EG : Varying manifestations of peripheral pulmonary neoplasms ; a radiologic-pathologic correlative study. AJR 128 : 893-914, 1977.
- 8) 栗原泰之、中島康雄、石川 徹、他：CTにおける原発性肺癌の石灰化の頻度および形態的特徴。肺癌 33 : 1037-1044, 1993
- 9) Fraser RG, Sanders C, Barnes GT, et al : Digital imaging of the chest. Radiology 171 : 297-307, 1989
- 10) Sonoda M, Takano M, Miyahara J, et al : Computed radiography utilizing scanned laser luminescence. Radiology 148 : 833-838, 1983
- 11) 上村良一、高島 力、小林 健、他：肺癌スクリーニングにおけるCRの応用、特に一回撮影エネルギーサブトラクション法の有用性。肺癌 30 : 319-326, 1990
- 12) 小田純一：胸部単純X線撮影におけるFCR (Fuji Computed radiography)の画像評価。日本医学会誌 50 : 1485-1498, 1990
- 13) 糸氏英一郎、河野通雄、足立秀治、他：肺癌診断におけるコンピューテッドラジオグラフィ(CR)の有用性に関する検討。日本医学会誌 53 : 655-666, 1993
- 14) 上村良一：Digital Radiography (Fuji Computed Radiography)を用いた胸部単純X線写真による上部気道病変の診断—その診断能と画像処理効果の検討。日本医学会誌 52 : 308-319, 1992
- 15) 高島 力、伊藤 広、生垣 茂、他：Computed radiography (FCR)を用いた肺癌集検について。肺癌 27 : 341-347, 1987
- 16) 野畠浩司：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；フィルム／スクリーン法、Computed radiography、X線エネルギー差分法軟部画像での比較。十全会誌 100 : 1211-1231, 1991
- 17) Ito W, Shimura K, Nakajima N, et al : Improvement of detection in computed radiology by new single-exposure dual-energy subtraction. Proc SPIE 1652 : 386-396, 1992
- 18) 高島 力：Single exposure energy subtraction chest radiography in the diagnosis of pulmonary cancer. 日本医学会誌 47 : 455-464, 1987
- 19) Ishigaki T, Sakuma S, Ikeda M : One-shot dual-energy subtraction chest imaging with computed radiography ; clinical evaluation of film imaging. Radiology 168 : 67-72, 1988
- 20) Fraser RG, Hickey NM, Niklason LT, et al : Calcification in pulmonary nodules ; detection with dual-energy digital radiography. Radiology 160 : 595-601, 1986
- 21) 上村良一、高島 力：一回撮影エネルギー差分法；Bone imageにおける臨床的有用性の検討。日本医学会誌 49 : 562-567, 1989
- 22) Kido S, Ikezoe J, Naito H, et al : Single-exposure dual-energy chest images with computed radiography. Invest Radiol 28 : 482-487, 1993