

胸部画像読影時の注視点解析に関する研究：  
コンピューテッドラジオグラフィーとエネルギー差  
分法軟部画像について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/9384">http://hdl.handle.net/2297/9384</a>

## 胸部画像読影時の注視点解析に関する研究

—コンピュータドラジオグラフィーとエネルギー差分法軟部画像について—

金沢大学医学部医学科放射線医学講座 (主任: 高島 力教授)

俵 原 真 里

デジタル画像 (digital radiography, DR) であるコンピュータドラジオグラフィー (computed radiography, CR) の特殊処理技術を利用したエネルギー差分法 (dual-energy subtraction radiography, ES) は、同一被写体に対して高エネルギー撮影と低エネルギー撮影を行い、サブトラクション (荷重減算) により、骨陰影や、軟部陰影を消去した画像を作成する撮影法である。肺野結節影の診断においては骨陰影を消去した軟部画像の有用性が報告されている。X線写真を読影する際の病変の“見つけ易さ”, すなわちコンスピキエイト (conspicuity) は病変のコントラストと周囲の正常構造による陰影の複雑性によって決まると提唱されているが, ES軟部画像は結節影周囲の複雑性を構成する骨陰影を消去することにより見つけ易さを向上させている。本研究では単純CRとES軟部画像を読影する際の注視点の動きを比較解析し, 結節影の見つけ易さについて, 結節影を知覚, 認識するまでの時間と, 読影時の注視点軌跡の距離を指標として検討した。症例はCRによる一回撮影エネルギー差分法が施行され, 最大結節径が2cm以下であった結節陽性例および結節陰性例各々20例 (男性23例, 女性17例) である。ESは当科で開発した一回撮影エネルギー差分法により骨陰影を消去した軟部画像を使用し, 同時に得られる単純CRは従来から用いられているフィルムスクリーンによる画像に視覚的に近い処理をした。読影は13人の医師が注視点解析装置を装着して行った。それぞれ読影終了後, 結節影の有無を5段階の確信度で評価し各画像の診断能を受信者動作特性 (receiver operating characteristic, ROC) 解析を用いて解析した。読影開始から注視点結節影に達したと考えられる時点までの時間を知覚時間とし, 読影開始から読影者が結節の有無を決定するまでの時間を認識時間として計測した。単純CR, ES両画像で正診であった症例の知覚時間, 認識時間, および結節影を知覚認識するまでの注視点軌跡の距離を両画像で比較した。ROC解析ではESの方が単純CRよりも診断能が高い傾向にあった。結節全体に対する知覚時間の平均は, 単純CRが2.08秒, ESが1.13秒で, 単純CRよりESの方が短かった ( $P<0.05$ )。認識時間の平均は, 単純CRが9.21秒, ESが6.01秒でESの方が短かった ( $P<0.01$ )。結節影の辺縁の性状, 肋骨陰影との重なりの有無, 結節影の径によって分類した検討も行った。辺縁の明瞭な結節影も不明瞭な結節影も認識時間はESの方が短く特に不明瞭な結節影で顕著であった。肋骨陰影との関係による分類では肋骨との重なりにかかわらず, 知覚時間, 認識時間ともにESが短く見つけ易かった。最大径が15mmより大きい結節影に対しては認識時間はESの方が短く, 15mm以下の結節影に対しては知覚時間, 認識時間ともにESの方が短かった。注視点軌跡の距離については単純CRの方がESよりも長いほぼ同じであった例が, 知覚するまで191例中174例 (91%), 知覚より認識まで191例中168例 (88%) であり注視点軌跡の距離からもESの方が見つけ易いという結果を得た。結節影を知覚し認識するまでの時間と注視点軌跡の距離についての検討から, 肺野結節影の診断においてESは単純CRよりも結節影を見つけ易く, 胸部X線写真における肺野結節影のスクリーニング法の一つとして有用と結論した。

**Key words** computed radiography, dual-energy subtraction, eye movements, visual perception, pulmonary nodules

肺癌は罹患率死亡率ともに上昇しつつある悪性疾患の一つであり, また生存率も低く予後の悪い癌の代表とみなされている。その対策の一つとして集検があり昭和60年代より老健法に基づいて全国的規模で実施されている。早期肺癌の発見には今日X線コンピューター断層撮影装置 (computed tomography, CT) を用いた方法も検討されているが<sup>1)</sup>, 依然として胸部X線写真

がその基本である。しかし, 通常の胸部X線写真では偽陰性病変とともに様々な偽陽性病変もみとめられ, 集検ではそれを減らすことが重要な課題である。

一方デジタル画像 (digital radiography, DR) であるコンピュータドラジオグラフィー (computed radiography, CR) が胸部領域にも利用され肺野結節影検出における有用性が諸家により

平成10年11月4日受付, 平成10年12月4日受理

Abbreviations : CR, computed radiography ; CT, computed tomography ; DR, digital radiography ; ES, dual-energy subtraction radiography ; IP, imaging plate ; ROC, receiver operating characteristic

報告されている<sup>3)~5)</sup>。その特殊処理技術を利用したエネルギー差分法 (dual-energy subtraction radiography, ES) は骨陰影を消去した軟部画像で肺野結節影の検出を容易にし、骨陰影による偽陽性病変の減少に貢献した<sup>3)</sup>。これまで肺野結節影診断におけるES軟部画像の有用性が報告されてきたが<sup>3)~5)</sup>、その見つけ易さについて客観的に検討したものはない。本研究では単純CRとES軟部画像を比較し、ES軟部画像における肺野結節影の見つけ易さについて、結節影を知覚、認識するまでの時間と読影時の注視点軌跡の距離を指標として検討した。

#### 対象および方法

対象症例はCRによる一回撮影エネルギー差分法が施行された結節影陰性例および陽性例各々20例である。結節影陰性例は、男性14例女性6例で、年齢は21~81歳(平均52.4歳)である。経過観察あるいは同時期に施行されたCTにて結節が存在しないことが確認されている。結節影陽性例は径2cm以下の原

発性肺癌単発例で男性10例女性10例、年齢は49~82歳(平均62.7歳)である。結節の大きさは、径1.0~1.5cm8例、1.6~2.0cm12例、平均1.6cmで結節の存在はCTおよび手術にて確認されている。

エネルギー差分法の撮影条件は、管電圧100 kVp、管電流600 mA、撮影時間0.13秒、フィルム焦点間距離200cm、グリッド比8:1とし、イメージングプレート(imaging plate, IP)を用いて撮影した。撮影されたIPはCR処理装置FCR7000(富士メディカルシステム、小田原)にて画像処理され、23.4×23.4cmの2/3縮小画像にしてフィルムに表示した。ESは当科で開発した一回撮影エネルギー差分法により骨陰影を消去した軟部画像を使用し、同時に得られる単純CRは従来から用いられているフィルムスクリーンによる画像に視覚的に近い処理をした(図1)。それぞれの画像処理条件を表1に示す。

読影は13人の医師のうちわけは、胸部放射線科医3名、経験年数7年以上の放射線科医3名、経験年数7年未満の放射線科

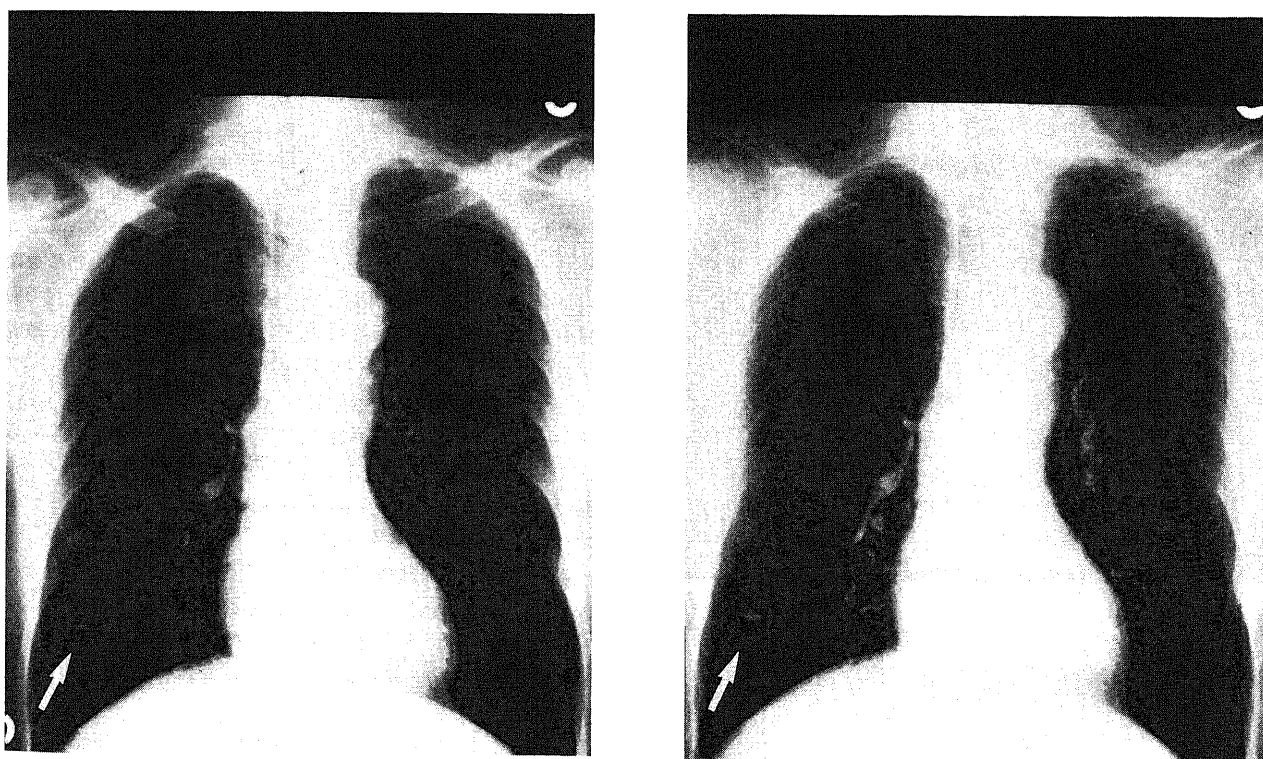


Fig. 1. Chest CR of a patient with a right-lower pulmonary nodule. The left image is the CR image processed simulating conventional film screen radiograph and the right image is ES soft-tissue image. The nodule (arrow) is easily recognizable in ES soft-tissue image because of elimination of bony structures.

Table 1. Processing parameters of CR and ES images

Modality	GA	GT	GC	GS	RN	RT	RE
CR	0.8	E	1.6	-0.20	0	R	0.2
ES	1.0	E	1.6	-0.20	4	R	0.5

CR, conventional computed radiography; ES, dual-energy subtraction radiography; GA, gradation rotation amount; GT, gradation type; GC, gradation rotation center; GS, gradation shift; RN, frequency rank number; RT, frequency type; RE, frequency enhancement; E, gradation type of nonlinear conversion curve used for almost all the imaging menu; R, low contrast enhancement type for the low density area.

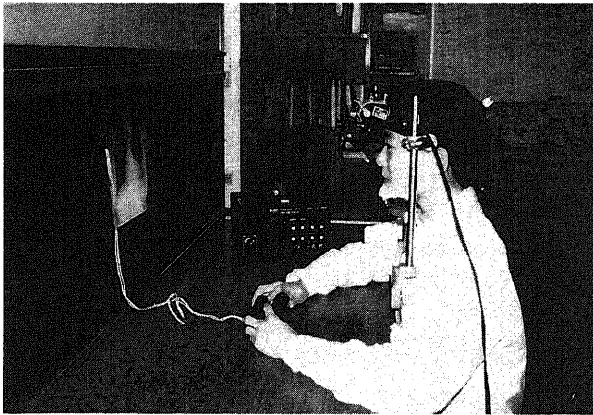
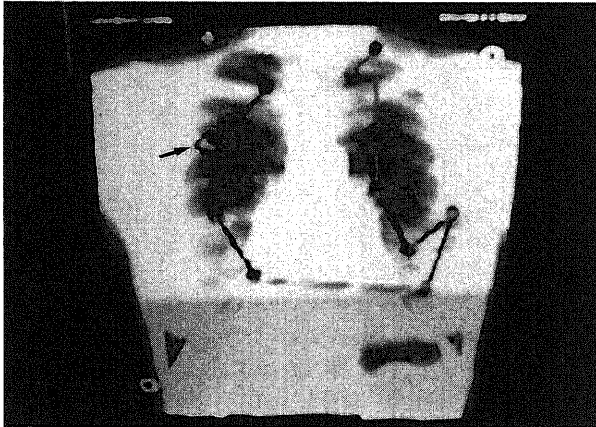


Fig. 2. A model of an observer searching a chest radiograph wearing the eye movement recorder. She pushes the right button when she detects a nodule and the left one when she finishes searching.

A



B

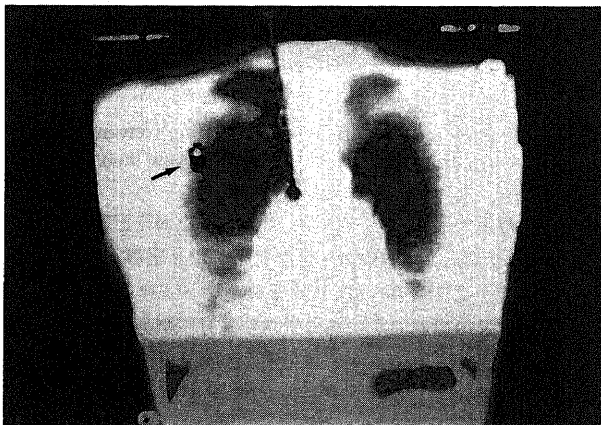


Fig. 3. The scanning patterns in searching pulmonary nodules. The scanning patterns are shown in CR(A) and ES (B) of a patient with a right-upper pulmonary nodule (arrow). The scanning path in ES is shorter than that in CR.

医2名, 呼吸器外科医2名, 呼吸器内科医1名, それ以外の内科医2名とした。

読影順序によるバイアスを避けるため, 単純CR, ES各画像を読影する順序を変え, 7名で単純CRを先に, 6名でESを先に読影した。また読影者が症例を記憶することによるバイアスを避けるため, 各画像を読影する間隔は2週間以上あけ, 40枚のフィルムの読影順は無作意化した。読影にはシャカステンを用いた。読影者の注視点をとらえるため, 注視点解析装置であるアイマークレコーダー (EMR-7, ナック, 東京) を装着して読影した (図2)。頭部に固定されたアイマークレコーダーがずれ, 正確な注視点が捕らえられなくなるのを防ぐために眼科用頭部固定具を用いて, 額と顎を固定し, フィルムと眼球との距離は50cmとした。読影者は「はい」の合図で開眼し読影を開始し, 結節影の有無を決定した時点で手元のスイッチを押した。スイッチを押すことにより視野画面上にライトが点灯し読影者に分かるようにした。それぞれ読影終了後, 結節影の有無に関して, 結節影は存在しない, おそらく存在しない, わからない, おそらく存在する, 確実に存在する, まで5段階の確信度で分類して評価し, 結節影の存在を疑った部位をポインターで指示してもらった。結節影の数は指定しなかった。また読影時間は制限しなかった。各読影シリーズの開始前に解析に用いない4症例を練習に用いた。

注視点の解析は, アイマークレコーダーを用い, 読影者の両眼が同じ動きをすると仮定し左目の注視点を測定した。注視点は視野画像上にアイマークとして表示されコンピューターを用いて10~30Hzにて解析した (図3)。使用したアイマークレコーダーは眼球に対し光を当て, 眼球の角膜内部に生じる虚像 (反射光) 点を捕らえる角膜反射方式を採用している。眼球の回転中心と角膜の曲率中心がずれていることを利用して, 被験者が実際に見ているポイント (注視点) を算出する。アイマークレコーダーはアイマーク検出ユニットと視野カメラからなり, それらを一体として頭部に固定するため, 頭部の動きに関わらず注視点を正しく捕らえることが可能である。しかし装置と頭部のわずかなズレも注視点に影響するため, 本実験では装置がずれないように頭部自体を固定した。

単純CR, ES両画像の診断能を受信者動作特性 (receiver operating characteristic, ROC) 解析を用いて解析した<sup>6-8)</sup>。ROC解析にはシカゴ大学C. E. Metzのプログラム“ROCFIT”を使用し, 診断能の評価はROC曲線下面積をもとに対応のあるt検定にて検定を行った。

単純CR, ES両画像で正診した症例について, 読影開始から注視点が結節影に達したと考えられる時点を知覚時間とし, 読影開始から読影者が結節影の有無を決定し, ライトで合図するまでの時間を認識時間として計測し, 両画像で比較した。結節影の辺縁の性状, 肋骨陰影との重なりの有無, 結節影の径によって分類した検討も行った。測定値は平均±標準偏差で示した。二群間の比較は統計学的に対応のあるt検定にて検定を行った。また結節影を知覚認識するまでの注視点軌跡の距離を両画像で比較した。

## 成 績

### I. 単純CR, ESの診断能

各画像ごとの読影者13名のROC面積, およびその平均を表2に示す。単純CRが平均0.84, ESが0.88でROC曲線ではES

の方が上方に位置しESの診断能が良好な傾向を示したが、両画像には統計学的有意差はみられなかった(図4).

II. 結節影検出の知覚時間, 認識時間

知覚時間, 認識時間の平均を表3に示す. 結節全体に対する知覚時間の平均は, 単純CRが2.08秒, ESが1.13秒で, ESの方が有意に短かった ( $p<0.05$ ) (図5). 認識時間の平均は, 単純CRが9.21秒, ESが6.01秒でESの方が有意に短かった ( $p<0.01$ ) (図6).

III. 結節影の性状による知覚時間, 認識時間の比較

1. 辺縁の性状による比較

辺縁明瞭な結節影に対する知覚時間は, 単純 CR1.54秒, ES1.24秒, と有意差はみられなかった. 辺縁不明瞭な結節影に対する知覚時間は, 単純CR2.22秒, ES1.01秒で有意な差は認

めなかったが, 認識時間は単純CR12.03秒, ES6.58秒と有意にESの方が短かった.

2. 骨性構造との関係による比較

肋骨に重なる結節影に対する知覚時間は, ESが1.14秒, 単純CRが2.20秒, 認識時間はESが6.20秒, 単純CRが10.49秒と知覚時間, 認識時間ともに有意にESが短かった. また肋骨に重ならない結節影に対する知覚時間は, ESが1.11秒, 単純CRが1.58秒, 認識時間は, ESが5.39秒, 単純CRが8.01秒と知覚時間, 認識時間ともに有意にESが短かった.

3. 結節影の大きさによる比較

最大径が15mmより大きい結節影に対する知覚時間は, 単純

Table 2. Areas under ROC curves for thirteen observers on each modality

Observer	Areas under ROC curves	
	CR	ES
1	0.98	0.95
2	0.75	0.91
3	0.95	0.98
4	0.88	0.98
5	0.93	0.97
6	0.83	0.96
7	0.86	0.73
8	0.85	0.89
9	0.82	0.91
10	0.89	0.84
11	0.65	0.89
12	0.74	0.74
13	0.79	0.74

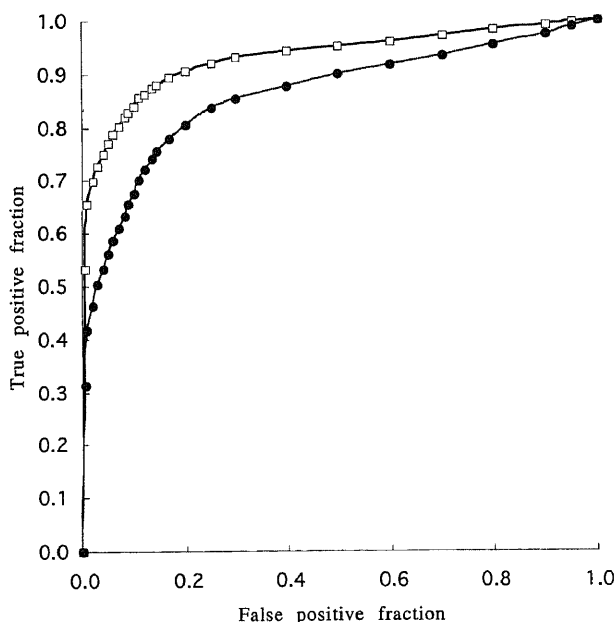


Fig. 4. Average ROC curves for thirteen observers for the detectability of pulmonary nodules on CR and ES films. □, ES ; ●, CR.

CR, conventional computed radiography; ES, dual-energy subtraction radiography. Average of the area under ROC curves of thirteen observers in CR is  $0.84 \pm 0.09$ . Average of the area under ROC curves of thirteen observers in ES is  $0.88 \pm 0.09$ .

Table 3. Average times of perception and recognition time for CR and ES classified by the characteristics of the nodules for thirteen observers

Variables	Perception time ( $\bar{x} \pm SD$ , sec)		Recognition time ( $\bar{x} \pm SD$ , sec)	
	CR	ES	CR	ES
All cases	2:08 ± 1:28	1:13 ± 0:27	9:21 ± 5:20	6:01 ± 4:47
Nodular marginal findings				
Unclear	2:22 ± 1:58	1:01 ± 0:30	12:03 ± 9:47	6:58 ± 7:28
Clear	1:54 ± 1:16	1:24 ± 0:32	7:03 ± 3:49	5:08 ± 3:39
Nodular location				
Under ribs	2:20 ± 1:53	1:14 ± 0:39	10:49 ± 6:36	6:20 ± 4:37
Between ribs	1:58 ± 1:21	1:11 ± 0:38	8:01 ± 4:48	5:39 ± 5:15
Nodular size				
> 15mm	1:57 ± 1:22	1:15 ± 0:37	9:03 ± 5:26	5:24 ± 4:27
≤ 15mm	3:14 ± 2:59	0:59 ± 0:32	11:46 ± 7:34	6:30 ± 6:01

CR, conventional computed radiography; ES, dual-energy subtraction radiography. \*  $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ .

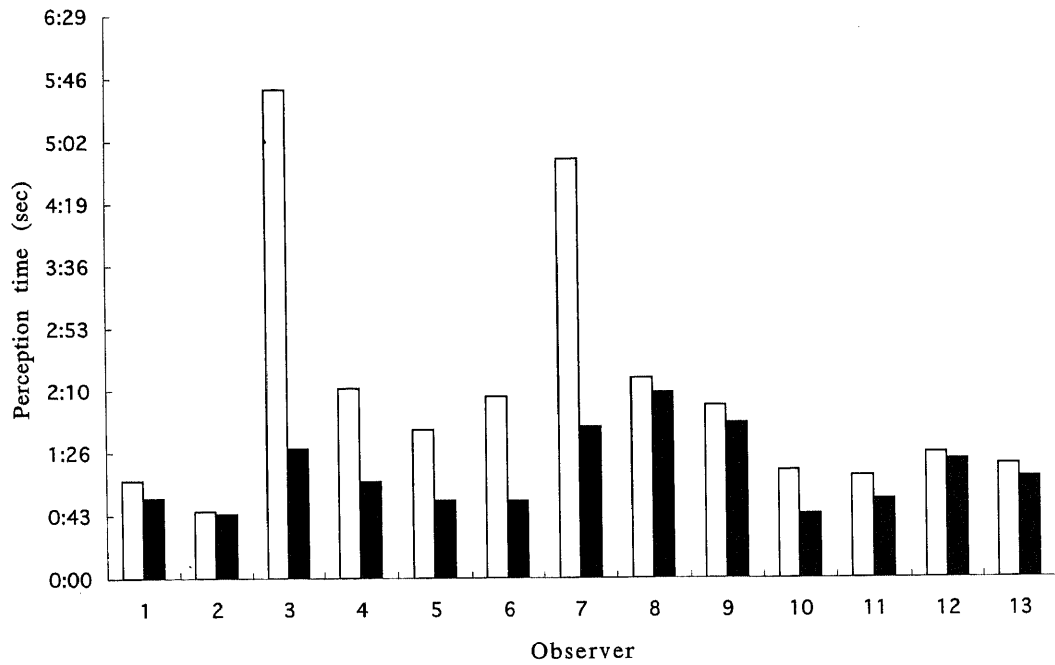


Fig. 5. Average perception time for the thirteen observers in CR and ES films. The perception time defined as the period from starting search to the point when the eye position fixed on the pulmonary nodule. □, CR; ■, ES.

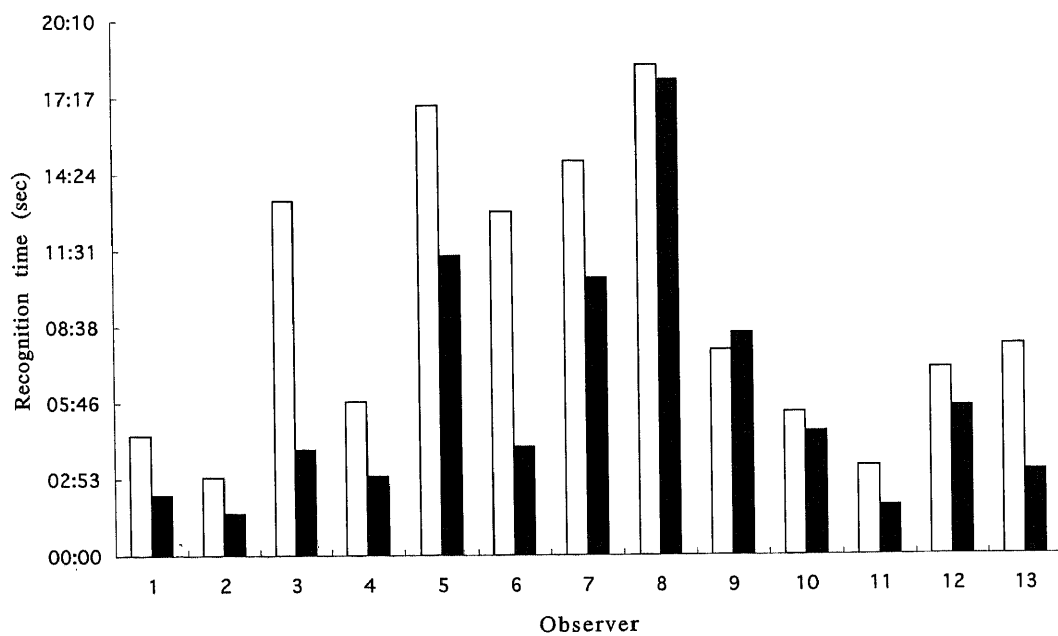


Fig. 6. Average recognition time for the thirteen observers in CR and ES films. The recognition time defined as the period from starting search to the point when the observer determines the existence of the nodule. □, CR; ■, ES.

Table 4. A comparison of the length of the searching paths in CR with that in ES

Length	No. (%) of cases	
	Perception	Recognition
CR < ES	4 (2)	12 (6)
CR < ES	13 (7)	11 (6)
CR = ES	138 (72)	88 (46)
CR > ES	26 (14)	45 (24)
CR > ES	10 (5)	35 (18)

CR, conventional computed radiography; ES, dual-energy subtraction radiography.

CRが1.57秒、ESが1.15秒と有意差は認められなかったが、認識時間は単純CRが9.03秒、ESが5.24秒と有意にESの方が短かった。結節影の最大径が15mm以下の結節影に対する知覚時間は、単純CRが3.14秒、ESが0.59秒、認識時間は、単純CRが11.46秒、ESが6.30秒と、知覚時間、認識時間ともにESの方が短かった。

#### IV. 知覚するまでの注視点軌跡の距離

知覚認識するまでの注視点軌跡の距離を、単純CRとESと比較した。知覚するまでの距離ではESの方が短かった例が191例中36例(19%)、知覚より認識までの距離ではESの方が短かった例が191例中80例(42%)に認められた(表4)。

### 考 察

胸部X線写真においては、撮影技術の進歩と読影者側の肺野結節影の検出のトレーニングにもかかわらず、病変の検出には限界がある。集検での胸部X線写真の見落としは、65~90%の範囲で報告されている<sup>9-11)</sup>。その原因として、河野ら<sup>11)</sup>は肋骨、末梢血管、肺門陰影との重なりなどをあげている。Kundelら<sup>12)</sup>は、肺野結節性病変の見落としの問題に関して検討し、結節影の検出に影響する因子として結節影の大きさ、形状、および濃度など物理的因子のみならず、結節影周囲の正常構造(肋骨、肺血管影)も考慮するべきと述べ、これを“ストラクチャードノイズ”(structured noise)と称した。そして“見つけ易さ”(conspicuity)と言う概念を提唱した。更に結節影の“見つけ易さ”は病変のコントラストに比例し、一方、周囲の解剖学的複雑性には反比例すると唱えた。またストラクチャードノイズを消去することによって肺野結節影の見つけ易さが向上することを示唆した。

胸部X線写真においてサブトラクションを可能にしたのはDRの登場である。CRはわが国で開発されたDRの一種で現在のDRの中では最も高画質の一つと考えられている<sup>13,15)</sup>。CRは輝光性蛍光物質を塗布したIPをセンサーとして用い、X線画像データを検出、デジタル化する<sup>10,17)</sup>。CRをはじめとしたDRの特徴は、画像処理を加えることにより診断情報を最大限に活用できること、画像をデータとして効率的に保管活用することがあげられる。CRの画像表示、保存は従来から行われているフィルムのみだけでなく陰極線管モニターによる表示や、光ディスクなどに保存することができ、全ての画像をデジタル化しての保管運用(picture archiving and communication system, PACS)が可能となった。

輝光性蛍光物質は最初の刺激によるX線エネルギーを蓄積し

た後そのエネルギーを読み出すことができる。これをポリエステルの支持体に塗布した厚さ1mmの板がIPである。CRシステムではレーザー光走査によりIPに蓄積されたX線エネルギーを励起、集光し光電子倍增管で電気信号に変換してデジタル画像信号が得られる。CRの画像処理には階調処理、空間周波数処理、サブトラクション処理がある。そのうちのサブトラクション処理の一つの方法であるESは、高圧撮影と低圧撮影の二種類の異なるX線撮影で得られる情報を荷重減算することで、特定の吸収特性を持った物質を消去する方法である。すなわち同一被写体に対して高エネルギー撮影と低エネルギー撮影を行い、吸収比率が異なる骨部と軟部情報量に適切な重みづけを行った後、サブトラクション(荷重減算)をして骨部の信号を消去したり、逆に軟部の信号を消去したりする。そのため低圧高圧の二回の撮影が必要であり、動きのある臓器を含む胸部撮影に対しては、動きによる人為的産物が生じ良質画像を得ることが難しい。我々の行っている一回撮影法は金属フィルターを二枚のIPではさみ、前面IPより低エネルギーと高エネルギー情報を、後面IPより低エネルギー情報を得る方法である<sup>19)</sup>。一回撮影法は動きによる陰影のズレがなく、また一回のX線被曝で撮影可能でありスクリーニング検査法に適している<sup>20)</sup>。また肺野結節影の場合、特に肋骨に重なる結節影の検出に有効である<sup>20,21)</sup>。単純CRにESを付加することにより肺野結節影の描出が21%で改善されたとの報告もある<sup>21)</sup>。ES軟部画像はストラクチャードノイズの一つである骨陰影を消去し、見つけ易さを向上させることで結節影の見落としを少なくするという利点を持つといえる。しかし、見つけ易さを定量的に評価する試みはこれまでされていない。本研究では注視点解析により肺野結節影検出におけるES軟部画像の見つけ易さについて検討した。

#### I. 単純CR、ESの診断能について

肺野結節影の診断能はESは単純CRより統計的有意差は認めなかったものの優れている傾向にありこれまでの報告におおむね矛盾しない結果となった。読影者13人中4人で単純CRの方が正診率が高かったが、内3人の読影者は放射線科以外の医師でありESの画像に対する不慣れと肺野結節影の検出の経験が少ないことが影響していることが推測される。そのほかの読影者は単純CRよりESの方が正診率が目立って高い場合が多く、肺野結節影の検出のトレーニングがされた読影者がES画像に慣れれば高い診断能が期待できると思われる。

#### II. 知覚時間、認識時間について

結節全体で知覚時間は有意に単純CRよりもESの方が短く、病変を早く見つけ易いと言う結果が得られた。肺野結節影の検出にはグローバル探索とフォーカル探索が行われていると考えられている<sup>22-24)</sup>。すなわち画像を見た瞬間に全体像をとらえ(グローバル探索)、その後細かく局所についての探索(フォーカル探索)をする。グローバル探索は周辺視野により、フォーカル探索は中心視野によるものである。結節影はまず周辺視野でとらえられ中心視野でフォーカル探索が始まるものと考えられる。ESでは単純CRに比べ“ストラクチャードノイズ”の一つである骨陰影が消去されるためグローバル探索の段階での知覚がよりしやすくなり、フォーカル探索に早くうつれるものと考えられる。

認識時間についても単純CRよりESのほうが短時間であった。フォーカル探索には、結節を疑った陰影の形、濃度、辺縁の性状などを観察してパターン認識(pattern recognition)し、

結節影であるか否かを判断決定 (decision making) する、という手順で読影されていくが<sup>29)</sup> パターン認識にも“ストラクチャードノイズ”としての骨陰影の消去が影響していることが予想される。

またESの読影に慣れていない読影者も含め全員で知覚時間がESの方が早かったことは、ES画像に慣れていなくてもたやすく見つけることができることを示唆している。しかし認識時間については、有意にESの方が短かったものの、わずかの差ながら単純CRの方が早かった読影者が13人中1人、ほとんど差がなかった読影者が2人みられた。これらの読影者は経験年数の少ない放射線科医または他科医であり、ESでの結節影の認識には読影経験が関与することが示唆される。Kundelら<sup>20)</sup>によれば、より経験を積むほど、結節を早く見つけ適切な決定をするための注視は少なくなるとしている。本研究での結果は、ESでは結節を知覚するまでについては経験の有無を問わず単純CRよりも見つけ易かった。しかし認識にはES画像への慣れが必要と思われる。

結節影の性状による比較では、辺縁の不明瞭な結節影、明瞭な結節影とも認識時間でESが有効であった。知覚時間も有意差はないもののESの方が短い傾向にあり有効と考えられた。特に辺縁不明瞭な結節影で有効であったことから、ESが周囲の複雑性を低下させ見つけ易くしていることがわかる。

肋骨陰影に重なる結節影も、重ならない結節影でもESは知覚認識時間ともに短く有効であった。野島<sup>30)</sup>の報告で、肋骨陰影に重なる結節影の診断能は、単純CRよりもESで有意に優れており、肋間に存在する結節影でも有意差はないもののESの方が優れる傾向にあったと述べている。今回の実験でもこれと矛盾しない結果となった。グローバル探索で問題になる周囲の複雑性とは、結節影の存在する局所についてではなく、周辺視野による広い視野、おそらく肺野全体の正常構造の陰影が対象と思われる。従って肋骨陰影すなわち骨性の胸郭全体が無くなることで、結節影は肋骨の重なりに関わらず見つけ易さが向上すると推測される。

結節影の大きさによる比較では径15mm以下の結節影で知覚認識時間ともESの方が短く見つけやすかった。本研究に用いた結節影は全例肺癌であり比較的濃度の淡いものが多く腫瘍径の小さな結節影ほど“ストラクチャードノイズ”の影響を受けやすかったものと思われる。

### Ⅲ. 注視点軌跡の距離に関して

単純CRとESの注視点軌跡の距離を比較すると、ESの方が短いほぼ同じであった例が、知覚するまでの距離で191例中174例(91%)、知覚より認識までの距離で191例中168例(88%)をしめESでの見つけ易さは単純CRよりも劣らないと思われた。とくに知覚してから認識するまでの軌跡の距離は42%の例でESの方が短く見つけ易さが目立った。認識に要した軌跡を見ると、左右の比較や結節影以外の部位の観察がESでは特に短い例がかなりみられた。結節そのものの観察のみならず病変部以外の観察でも“ストラクチャードノイズ”が少ないことが有効に働いていると考えられる。

知覚までの軌跡が、ESの方が短かった例は、比較的辺縁明瞭な小結節影や骨陰影に重なる結節影に見られ、読影開始から結節影に直接注視点に向かう軌跡をたどっていた。それに対し単純CRでは一旦結節影の付近を注視点が通過した後すぐに結節影に戻るといった軌跡を取る例が多かった。おそらくESの方

が周辺視野によるグローバル探索での知覚が早いと思われる。

ESの方が単純CRよりも軌跡が長かった例は、肺野末梢の小結節影に見られる傾向にあった。ESで左右の比較が少ない例がある一方、肺野末梢の小結節では単純CRよりもESで左右の比較が目立った。その理由として、ESでは肺野末梢は肋骨陰影が完全に消去されずに結節影に見える場合がありこのような人為的産物との鑑別のため左右を比較しながら観察するためと思われる。末梢まで十分に骨陰影が消去された画像が常に得られる処理技術への改善が望まれる。

## 結 論

肺野結節影の見つけ易さについて、結節影を知覚、認識するまでの時間と注視点軌跡を指標として、単純CRとES軟部画像を比較検討し以下の結論を得た。

1. 知覚時間、認識時間とも単純CRよりもESの方が短く、見つけ易いという事が今回の検討より結論された。更にESでは読影経験がたとえ不十分でも容易に結節影を知覚することが出来ると考えられた。しかし結節影の認識には肺野結節影診断の経験とESへの慣れが必要である。

2. 辺縁の不明瞭な結節影、明瞭な結節影とも認識時間でESの方が単純CRより短く、特に辺縁不明瞭な結節影で著明であった。

3. 肋骨陰影に重なる結節影だけでなく、重ならない結節影でもESは知覚認識時間が短く見つけ易かった。

4. 径15mm以下の結節影で知覚、認識時間ともESの方が短く見つけ易かった。

5. 単純CRとESの注視点軌跡の距離の比較では、ESと単純CRがほぼ同じか、ESの方が短かった例が、知覚するまでで191例中174例(91%)、知覚より認識までで191例中168例(88%)をしめた。これはESが結節影の知覚、および認識において単純CRよりも優れていることを示している。

以上から結節影周囲の複雑性を軽減する方法であるES軟部画像は、肺野結節影の検出において結節影の知覚、認識を容易にし有用であると考えられる。またES画像は、読影経験が少なくても結節の知覚に有用であり肺野結節影のスクリーニングの方法の一つとして有効であると今回の検討により結論する。

## 謝 辞

稿を終えるに臨み、御指導、御校閲を賜りました恩師高島 力教授に深甚なる謝意を表します。また、終始直接御指導を賜りました金沢大学医学部附属病院放射線科上村良一講師ならびに本学医学部附属病院放射線部小林 健助手に深く感謝いたします。手術結果や症例の利用で御援助を受けました本学外科学第一講座渡辺洋宇教授、統計学的処理に御指導いただきました本学衛生学講座西條清史教授に深謝いたします。さらに、読影実験に御協力を戴きました本学放射線医学講座ならびに各講座の諸先生方に感謝いたします。

尚本研究は厚生省がん研究助成金金子班および文部省科学研究費奨励研究(A) (課題番号07770727) の援助を受けた。本論文の一部は第56回日本医学放射線学会総会(1997, 横浜)において発表した。

## 文 献

- 1) Sone S, Takashima S, Li F, Yang Z, Honda T, Maruyama Y, Hasegawa M, Yamanda T, Kubo K, Hanamura K, Asakura K. Mass screening for lung cancer with mobile spiral computed tomography scanner. *Lancet* 351: 1242-1245, 1998



- 2) 伊藤 広. Computed radiographyによる肺癌集団検診に関する研究 (Phantom study) —小結節影検出能と低線量撮影について—. 十全医会誌 96: 1155-1170, 1987
- 3) 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; 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. 十全医会誌 100: 1211-1231, 1991
- 4) 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—基礎的および臨床的検討—. 日本医放会誌 50: 1485-1498, 1990
- 5) 糸氏英一郎, 河野通雄, 足立秀治. 肺癌診断におけるコンピュータドラジオグラフィ (CR) の有用性に関する検討. 日本医放会誌 53:655-666, 1993
- 6) Hanley JA, McNeil BJ. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143:29-36, 1982
- 7) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB. Radiographic applications of receiver operating characteristic (ROC) curves. *Radiology* 110: 89-95, 1974
- 8) Metz CE. Basic principles of ROC analysis. *Seminars in Nuclear Med* 8:283-298, 1978
- 9) Muhm JR, Miller WE, Fontana RS, et al. Lung cancer detected during a screening program using four month chest radiographs. *Radiology* 148:609-615, 1983
- 10) Heelan RT, Flehinger BJ, Melamed MR, et al. Non-small cell lung cancer: results of the New York screening program. *Radiology* 151: 289-293, 1984
- 11) 河野通雄, 原 真, 鈴木啓史, 奥村恵利子, 伴野辰雄, 松尾導昌, 青木正和, 荒井多嘉司, 守谷欣明, 坂井英一, 山本二三子, 池田茂人. 集検により発見された肺癌症例の前回X線写真の検討. 臨放 30:945-949, 1985
- 12) Kundel HL, Revez G. Lesion conspicuity, structured noise and film reader error. *AJR* 126:1233-1238, 1976
- 13) Fraser RG, Sanders C, Barnes GT. Digital imaging of the chest. *Radiology* 171:297-307, 1989
- 14) 土井邦雄. デジタルラジオグラフィの基礎と将来の可能性. 日医放会誌 49:1-14, 1989
- 15) Sonoda M, Takano M, Miyahara J. Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. *Radiology* 148:833-838, 1983
- 16) 高野正雄. 輝尽性蛍光体を使った新しいComputed Radiography. 日本臨床 41:1395-1403, 1983
- 17) 高野正雄. CR システムの原理と技術. 臨床画像 5:8-22, 1989
- 18) Kido S, Ikezoe J, Naito H. Single-exposure dual-energy chest images with computed radiography. *Invest Radiol* 28: 482-487, 1993
- 19) 高島 力. 肺癌診断における一回撮影エネルギー差分法. 日医放会誌 47: 455-464, 1987
- 20) Ishigaki I, Sakuma S, Ikeda M. One-shot dual-energy subtraction chest imaging with computed radiography: clinical evaluation of film images. *Radiology* 168: 67-72, 1988
- 21) 上村良一, 高島 力, 小林 健, 野島浩司, 渡辺洋宇. 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
- 22) 松本 徹. 医師の診断論理を探る—注視点に関する文献的, 実験的考察—MIT 10: 33-39, 1992
- 23) 池田光男. 眼はなにを見ているか—視覚系の情報処理. 第1版10-27頁, 平凡社, 東京, 1988
- 24) Nodine CF, Kundel HL. Using eye movements to study visual search and to improve tumor detection. *Radiographics* 7: 1241-1250, 1987
- 25) Kundel HL, Nodine CF, Carmody D. Visual scanning, pattern recognition and decision-making in pulmonary nodule detection. *Invest Radiol* 13: 175-181, 1978
- 26) Kundel HL, Nodine CF, Toto L. Searching for lung nodules the guidance of visual scanning. *Invest Radiol* 26:777-781, 1991

**Analysis of Eye Movement of Film Reader in Detecting Pulmonary Nodule : Comparison Between Conventional Computed Radiography and Soft Tissue Image by Dual-Energy Subtraction** Mari Tawara, Department of Radiology, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920-8640 — J. Jusen Med Soc., **107**, 484 — 492 (1998)

**Key words** computed radiography, dual-energy subtraction, eye movements, visual perception, pulmonary nodules

**Abstract**

When interpreting chest radiographs, lesion conspicuity can be defined as a function of the contrast between the lesion and the complexity of the surrounding tissue. It has been reported that soft-tissue imaging by dual-energy subtraction radiography (ES) is superior to conventional computed radiography (CR) for the purpose of detecting pulmonary nodules. The aim of this study is to analyse the eye movements of the subjects as they detect pulmonary nodules in both CR and ES chest radiographs in order to evaluate the relative conspicuity of the pulmonary nodules under the different imaging methods. Thirteen subjects were fitted with an eye movement recorder and asked to search both the CR and ES chest radiographs for each of 20 pulmonary nodule cases. The eye position data was used to calculate the time from the onset of viewing each film to the gaze axis fixing on the nodule, giving the perception time. The subjects were required to push a button once they had consciously registered the nodule, giving the recognition time. The scanning paths were recorded. The detectability of each image was induced by a receiver operating characteristics (ROC) analysis. ES generally tended to be superior to CR. CR and ES were compared for perception times, recognition times and the length of the scanning paths. In searching pulmonary nodules by ES, all observers showed significantly shorter perception times ( $p < 0.01$ ) and all observers except one showed significantly shorter recognition times than by CR ( $p < 0.05$ ). The images were then classified by nodule characteristics and diameters and the scanning times re-evaluated for each different class. ES was superior to CR in nodule recognition time irrespectively of the clearness of the nodule margins ( $p < 0.05$ ). ES was superior to CR in both perception and recognition times for detecting nodules whether superimposed over bony structure or not ( $p < 0.05$ ). ES was superior to CR for detecting nodules with a diameter of 15mm or less in both perception and recognition times ( $p < 0.05$ ). The scanning lengths in each image was equivalent or shorter for ES than for CR for both perception (91% of cases) and recognition (88% of cases). Eye position recording thus revealed the superiority of ES for detecting pulmonary nodules in chest radiographs in perception time, recognition time and the length of scanning paths analysis. It thus may be concluded that ES is one of the more effective methods for screening pulmonary nodules.