

は正しくなく、死亡率低減の観点からは、胸部 X 線写真は余り役立たない⁵⁾。小さい肺がんに対する感度、発見能に問題がある。真に有効な肺がん検診を実施するためには、テスト法の見直し、CT 検診への転換が必要である。

II. 肺がん検診の有効性

胸部 X 線写真を用いた肺がん検診の死亡減少効果をみるための無作為比較対照試験、RCT (randomized controlled trial of screening) は 1960 年台に英国で行われ、胸部 X 線写真による頻回の検診では、より多くの肺癌が発見されるが死亡低減に働かなかった⁶⁾。胸部 X 線写真により発見される肺がんはすでに進行がんであることが多く、これに続く当時の治療法では効果が得られなかったであろう。

胸部 X 線写真と痰の細胞診断を用いた検診の RCT は、1970 年台に米国がん医療の一大プロジェクトとして 3 つのサイトで行われたが、検診による死亡率低減効果は認められなかった。痰の細胞診断を加えることによる効果も証明されなかった⁶⁾。胸部 X 線写真については、すでに行われていた英国での検討と同じテスト法であり、追試的役割を果たしたに過ぎないであろう。痰の細胞診断は主に肺門型肺がんに関連するのでここでは触れない。

わが国での成績として、Soda らが、すでに 1993 年に報告している。30 万人強の受診者から約 200 名の肺がんを発見、うち約 100 名が病期 I 期であった。検診の問題点として、病期 I 期肺がんの発見が少ないことと急速進展例における発見の遅れが指摘された。小さい肺がんでは前年の X 線写真を見直すと見えることが多く、急速進展がんは中間期がん (interval cancer, 前回の検診で陰性の判定、しかし次の検診前に発症するもの) として発見されることが多いなど、胸部 X 線写真による検診の困難性が明確に示された⁷⁾。

Sagawa らはわが国で 1990 年台に行われた肺がん検診についての症例対照試験 (case-control

study) のまとめを報告した。過去 1 年間に従来法による検診を受けたかについて、肺がんによる死亡者とその対照群を比較した。オッズ比 (ある事例の起こる確率を p とする。起こらない確率 q は $1-p$ である。両者の比、 p/q をオッズという。ここで具体的にいうなら、症例群、肺がん死亡者群、のオッズは、その中で検診を受けていたものと受けていなかったものの比率である。対照群、すなわち肺がん死亡者とマッチして定められた対照群のオッズは同様に、その中で検診を受けていたものと受けていなかったものの比率である。これら二種類の比率の比がここでいうオッズ比である。オッズ比が 1 以下なら、検診に死亡抑制効果があるとみられる) は、4 研究班のまとめでは 0.40~0.68 の範囲にあった。信頼区間をみても、1 研究班を除いて、1 以下におさまる統計学的有意差を示した。検診受診による肺がん死亡リスクの減少、32% から 60% までを示した⁸⁾。しかし臨床医の立場では、この論文の考察部で紹介されている 5 年生存率に関心が向く。発見肺がんの 5 年生存率は 48~61% であり、従来法で達成し得る最高値に近いのであろうが、一般人が望むがんの治療成績からはかけ離れており低すぎる。従来方式の検診法の限界が示されたとみる。

肺野型肺がんについては、その後、登場した低 X 線 CT 撮影による検診が、小さい病巣の発見を容易にし、これにより治療効果の向上が期待される^{9)~11)}。ここでの懸案事項は、CT 検診で発見される小さい病巣への対処法である。オーバーダイアグノーシスの懸念に対する説明あるいは対処法ならびに CT 検診の経済的運用ならびに精度管理の方策などの具体的事項の検討が重要であろう。

III. 肺がん検診の目標

肺がん検診は、従来から「肺がんの早期発見に役立つ検診を受けましょう」と受診を勧誘しているが、これを単なる謳い文句でなく、実質的なものにするには、良好な治療成績を期待できる肺が

んとは如何なるものかを明確にし、この目標にそって検診が実施されることが必要である。そして今後は、どのような具体的成果があげられているかの情報開示が求められそうである。

過去には、肺野型肺がんについては、手術可能のもの、病期 I 期 (T1N0M0, すなわち肺野型では、腫瘍の最大径が 3 cm 以下で肺内あるいは臓側胸膜内に腫瘍が存在し、リンパ節転移や血行転移のないもの。あるいは T2N0M0, すなわち肺野型では、最大径が 3 cm を越えるか臓側胸膜浸潤があるが、リンパ節転移や血行転移のないもの) および病期 II 期 (T1N1M0 と T2N1M0, すなわち I 期に N1 が加わったもの。N1: 縦隔胸膜より遠位にある同側の肺門, 気管支周囲リンパ節転移のあるもの) を早期と称したが、治療成績は満足できるものではなかった。腫瘍の大きさが予後を左右することや所属リンパ節転移が予後を劣化させる重要因子であることなどが明らかにされ、T2 と N1 例は早期から除外して、病期 IA (T1N0M0) を早期と考え、さらに腫瘍が小さいものほど、良好な予後につながることから、T1 の腫瘍の大きさ「3 cm 以下」を細分類することが検討されている。境界を 1 cm, 1.5 cm, 2 cm などにとる研究では、何れにおいても予後に差が認められている。わが国では従来、大きさ 2 cm 以下の肺野型肺がんを早期としていた。腫瘍の大きさが 1 cm 以下であれば、リンパ節転移は低頻度であり、当面の到達目標としてよさそうであるが、逆にこのように小さいものが今の検診でよく発見されているかに疑問が生じ、実用的内容でないとも考えられる³⁾。1.5 cm を当面の目標と定め、しかし 1 cm 以上の大きさの腫瘍においては、診断確定や治療開始に時間を長く取られないよう留意することが適当であろう。腫瘍の密度や組織型によっても変わってくる。野口分類の A, B で、腫瘍影の 50% 以上を GGO 成分が占める例は早期と考えるという一つのまとめがある。この場合に、手術的に高リスク者であれば縮小手術が容認される³⁾。野口分類 A, B 以外については今後のデータ集積による検証が必要である。とくに小

細胞がんや大細胞がんでは別の考察が必要であろう。

IV. 肺がん検診に関する行政的指針

「がん検診の有効性評価に関する研究」(平成 8 年度)¹³⁾ は、わが国でのがん検診の方向付けに重要な役割をはたしている。ここでの勧告は「肺がんの生存率は一般に極めて低い、しかし、肺がん検診を逐年受診することの有効性は示唆されている。ただし、現行の方法による検診の効果はあっても小さいことは事実である。中略。個別検診の一般化にあたっては厳重な精度管理を前提とする必要がある。また、集団検診への CT の導入など一層早期の発見の研究が必要である」とされた。これを補充するかたちで次に行われた「がんの原因となる微生物等を発見する検診の有効性に関する研究についての文献学的調査」(平成 10 年度)における肺がんに対する CT 検診の検討部分では「前略、低 X 線曝射による CT 検診では、治療効果の高いとみられる 5 mm から 2 cm までの肺がんが多数発見され、本法の利用が最も現実的で効果的な肺がん対策法であろう、後略」とされた¹⁴⁾。次の「がん検診の適正化に関する調査研究事業—新たながん検診手法の有効性の評価」(平成 12 年度)では「肺がんの生存率は一般に極めて低い。しかし現行の肺がん検診は、適切に行うならば、死亡率減少に寄与する可能性が高く、継続して実施する相応の根拠がある」「らせん CT によって全肺スキャンを行えば、より小さい肺がんを発見することが知られている。しかしながら、この装置が検診の分野で普及し始めたのは、わが国においても、極く最近のことであり、肺がん死亡減少効果を測定する研究は、現在、着手されようとするところである。したがって、その結果が判明するまで評価を留保する」¹⁵⁾であった。平成 12 年度の報告書の記載は平成 8 年度のものに比べて、CT 検診に対して抑制的、胸部 X 線写真による現行法の効果を強調した文章になっている。学問的には文句のない記載であるが、従来からの研究

の詳細や経緯を熟知してはいないかも知れない地方自治体の保健予防担当者にはCT検診は時期尚早と理解されるであろう。そして今般、平成17年4月1日付、厚生労働省老健局老人保健課布告の「がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針」の一部改定においては、肺がん検診における検査法として「従来からの胸部エックス線写真を用いてこれを実施する」という内容にとどまっている。このような現在の行政的見解は、地域における保健予防担当者に肺がんに対するCT検診の推進を躊躇させ、先送りの口実を与えている。肺がんの死亡率低減をはかるために、現在唯一、非常に有効なCT検診にブレーキがかけられた。さいわい、関係諸学会協働で作成された「低線量CTによる肺がん検診の手引き」は専門学会から提示された権威ある文書として、地域における担当者にCT検診推進のための唯一の拠りどころとなっている¹⁶⁾。

V. 肺がん検診における胸部 X 線写真の限界

従来、肺がんが早期発見されなかった原因は、その診断に用いられた胸部 X 線写真の感度不足にあった。肺がんにおいては感度不足であるが、このことが軽視され、その経済性と普遍性のみが強調されている。胸部単純写真の感度不足は、肺の広い範囲が盲点になることと、盲点以外の肺に発生した肺がんについても、これが腺がんのように密度が低いものではわれわれが肉眼的に認識できるほどの濃度、まわりの肺とのコントラストを形成しないことからきている。胸部正面写真の盲点とは、心臓や縦隔大血管、横隔膜に重なる肺部分であり、肺全体の約26%を占める。したがって胸部単純写真を用いて肺がん検診を行う限り、少なくとも約1/4の肺がんについての診断の遅れは覚悟しなければならない¹⁷⁾。検診受診者にこのことを告げておくべきである。側面写真を追加してもこの事情はほとんど変わらない。最近のオルソ系感光システム(X線フィルムと希土類増感紙の組み合わせで、これが最近は一般化され通常のも

のになっている)や最近普及しているCR(computed radiography)システムを使用すれば、このような肺がんの検出能が多少とも向上しないかとの素朴な質問もあるが、この事情はほとんど変わらない。要点的には、小さい肺がん病巣を発見するには、CTのような断層画像法を用いることが必須であり、これにデジタル画像法の特長である高コントラスト機能を加えることによりわれわれの病巣発見能が高められ、小さい病巣の発見が容易になる。腺がんのように密度が低いものは、通常の X 線写真上では、われわれが肉眼的に認識できるほどの濃度、周囲の肺とのコントラストを形成しないために医師が肉眼的に指摘できないことが多かった。発見された肺がんについて、過去の X 線写真を見直せば、かすかに見えることはよく経験されている。

VI. 肺がんに対する低 X 線曝射 CT 検診の成績⁶⁾⁹⁾⁻¹¹⁾¹⁷⁾

東京から肺がんをなくす会(Anti-Lung Cancer Association)での発見肺がんについての報告によると、従来法とCT検診導入後を比較して、病期IAが42%対81%であり、5年生存率は48%から82%に向上した。われわれの長野県におけるCT検診発見肺がんでは病期IAが88%、5年生存率が90%強(未発表)であった。

ここでは、われわれが平成8年から10年までの3年間に行ったCT検診の結果を簡単に示す。40歳から74歳までの受診者については、延べ13,786件のCT検診から手術確定肺がん60名を発見した。延べCT検診数の0.44%、肺がん関連で精密検査が必要と判定された人の10%であった。発見される肺がんは小さいもの、治癒する可能性が高いものが多かった。患者の年齢をみると40歳代前半にはなく、45歳以上にみられ、55歳以上で多くなった。女性や非喫煙者にも、喫煙者に劣らず、多くの肺がんが発見された。喫煙者の肺がんは一般に早く増大した。低 X 線曝射によるCT検診において精密検査が必要とされた人の約10%が最

最終的に肺がんを有していた。残りの約90%の人は、精密検査で肺がん以外の病気であることがわかった。

低X線曝射 CT 検診では、結節性病巣の有無をスクリーンするものであり、病巣の有無についての擬陽性はほとんどない。この後の鑑別診断で肺がん以外と確定診断されるものは少なくない。低X線曝射 CT 検査は、肺がんを含めた肺病巣の有無をみるための第一次テストとみるべきである。ここでの陽性者について肺がんかどうかの絞り込みを、第二次テスト、通常の CT 検査で行うと考えるのが適当であろう。元来、低X線 CT 検診では鑑別診断を行えるほどに十分な画像情報は得られていないのであり、ここでの陽性者のうち非癌と最終診断されるものが多いことをとらえて、低X線 CT 検診には疑陽性が多いと問題視するのは見当違いであろう。

VII. 肺がん検診における胸部 X 線写真と低 X 線 CT の比較

従来の胸部 X 線写真法による肺がん検診のデータでは、わが国で年間、肺がん検診受診者は約670万人、うち要精検者は約17万人、すなわち検診受診者の2.5%、肺がんと診断されるもの3,144人、すなわち検診受診者の約0.05%、要精検者の約2%であった¹³⁾。一方、昭和56年から58年までの全国がん登録に10,325例の肺がんが登録され、そのうち腫瘍の大きさが3 cm 以下、肺門リンパ節転移を認めない群、すなわちステージ IA と分類されるものが2,412例(約23%)であった¹⁵⁾。この比率を上記のデータにそのまま適用すると、わが国での1年間の肺がん検診、受診者約670万人からおよそ720人の IA 期肺がんが発見されたことになる。

低線量 CT 検診のデータは上記のとおりである。CT 検診受診者13,786件、うち要精検者が588件(検診受診者の4.3%)、CT で発見され手術で確認された肺がん56人(検診受診者の約0.4%、要精検者の約10%)、手術で直りやすい2 cm 以

下のものが約95%であった。わが国での1年間の肺がん検診の受診者約670万人全員に CT 検診を実施すれば、初回検診では約26,000人の IA 期肺がんが発見されると推定される。上記の通常検診における推定値、約720人と格段に異なる⁹⁾¹⁷⁾。

従来法では要精検者は検診受診者の2.5%と CT 検診における4.3%より少ないがこの差以上に見落とし(偽陰性)が非常に多い。すなわち肺がんの発見率が0.05%対0.4%と CT 検診の約1/10と劣っていて、CT で発見される肺がんの10例中9例を見落とししている(感度が非常に低い)。逆に、肺がんでないものを肺がんの疑いと分類する、いわゆる読み過ぎ(擬陽性)も従来法では多い。要精検者のうち肺がんと最終診断されるのは、胸部X線写真法では約2%、CT 検診では約10%である。発見される肺がんの内容も大いに異なる⁹⁾¹⁷⁾。胸部 X 線写真法では治癒しやすい1.5 cm から2 cm までの大きさの肺がんが発見されることは少なかった。CT 検診ではこのような小さい肺がんが良く見え、高率に発見される。CT 検診は格段に精度が高く、とくに治る肺がんを発見するためのテストとしてすぐれ、コスト的にも有利といえる。

VIII. 肺がんの CT 検診実施について

低線量 CT による肺癌検診の手引き¹⁶⁾にも記述があるが、ここではわれわれの長野県でのデータを述べる⁹⁾¹⁷⁾。

1. 適当な対象群

長野県でわれわれの行った管電流25 mA による低線量 CT 検診における利益対リスク比(早期発見による余命延長という利益と放射線被曝による発がんによる余命短縮という不利益、リスクの関係)は40~44歳男性で6.6、女性で1.8、これ以上の年齢層ではさらに大きくなり、利益が大幅に上回るという結果であった。長野県の一般住民、40~74歳を対象とした集計では、初回 CT 検診による肺がん発見率は10万人対で435人であり、男女あるいは喫煙歴による差はほとんどなかった。

初回検診受診群はこのように高率に肺がんを有するので、経費面での効果は絶大である。経年検診群では減少する。対象の年齢層や喫煙歴の有無で異なってくる。要約すると、40歳代後半にCT検診を1度念のために受け始めるのが良い。時に肺がんが発見される。この年齢層では、定期的に毎年CT検診を受ける必要はない。50歳代後半から定期的に受けるのが良い。55歳から60歳頃から肺がんの発見率は高くなる。

2. 適当な検診回数

治る肺がん、すなわちリンパ節転移が少ない、大きさ15 mm以下の肺がんの発見を目標として検診を実施したい。この場合は以下のようにプランできよう。すなわち、低線量CT検診で発見される肺がんの大きさは通常3 mm以上である。したがって、腫瘍の大きさが3 mmから15 mmの間で肺がんを発見するようCT検診の間隔、すなわち回数を設定するとよい。腫瘍の増大速度に関する従来のデータ(腫瘍容積倍増時間)を用いた計算では¹⁷⁾、喫煙者は年1回、非喫煙者は3~4年に1回の検診でこのような目標がほぼ達成される。喫煙者の肺がんは早く進行するので、1年に1回の継年的受診が必要である。たとえば、45歳

頃に受診を始め、以後は2年に1回程度、55歳以降は毎年受診するなどが適当と思われる。

しかし例外もある。喫煙者には、例外的に非常に早く大きくなるか、早期に転移を起こす小細胞がんや大細胞がんが発生することがある。おそらく、全体の5%以下と予測される。この場合は、毎年1回のCT検診では不十分と思われる。これをさけるためには、1年に2回のCT検診が必要になるが一般化できる内容ではない。このような特殊群については、喫煙歴以外の危険要素が今後明らかにされ、特定検診対象群として取り扱われることが望ましい。

逆に、徐々にしか増大しない低悪性度肺腫瘍(異型腺腫様過形成や高分化腺がん)が低濃度のすりガラス濃度結節(pure ground-glass opacity nodule, pure GGOあるいは肺がんCT検診ではnon-solid noduleとも表現する)として主に非喫煙者に発見される。肺腫瘍類似の限局性炎症性変化がpure GGO結節としてCT検診で発見されることもある。いずれも非常に淡い、増大傾向に乏しい腫瘤影を呈する。鑑別診断が困難であるが、その進め方や適切な医学的取扱い法については今後さらなる検討が必要である。

文 献

- Smith RA, Glynn TJ: Early lung cancer detection. Current and ongoing challenges. *Cancer* 89: 2327-2328, 2000.
- 肺癌登録合同委員会(白日高歩, 小林紘一): 肺癌外科切除例の全国集計に関する報告. *肺癌* 42: 555-566, 2002.
- Pasic A, Postmus PE, Sutudja TG: What is early lung cancer? A review of the literatures. *Lung Cancer* 45: 267-277, 2004.
- Moss S: General principles of cancer screening. In Chamberlain J, Moss S (Eds.): *Evaluation of cancer screening*, ppl-13, Springer London, 1996.
- Sone S, Li F, Yang Z-G, et al: Characteristics of small lung cancers invisible on conventional chest radiography and detected by population based screening using spiral CT. *Brit J Radiol* 73: 137-145, 2000.
- Bach PB, Kelley MJ, Tate RC, et al: Screening for lung cancer. *Chest* 123: 72S-82S, 2003.
- Soda H, Tomita H, Kohno S, et al: Limitation of annual screening chest radiography for the diagnosis of lung cancer. *Cancer* 72: 2341-2346, 1993.
- Sagawa M, Nakayama T, Tsukada H, et al: The efficacy of lung cancer conducted in 1990s: four case-control studies in Japan. *Lung Cancer* 41: 29-36, 2003.
- Sone S, Li F, Yang Z-G, et al: Results of three-year mass screening programme for lung cancer using mobile low-dose spiral computed tomography scanner. *Brit J Cancer* 84: 25-32, 2001.
- Kaneko M, Kusumoto M, Kobayashi T, et al: Computed tomography screening for lung carcinoma in Japan. *Cancer* 89: 2485S-2488S, 2000.
- Henschke CI: Early lung cancer action project. Overall design and findings from baseline screening. *Cancer* 89: 2474-2482, 2000.
- Watanabe Y: Substaging of stage I-a commentary. *Lung Cancer* 42: 59-61, 2003.
- 厚生省 がん検診の有効性評価に関する研究班(統括委員長 久道茂): がん検診の有効性等に関する情報提供のための手引き, 日本公衆衛生協会, 平成10年3月.
- 厚生労働省: 平成10年度がんの原因となる微生物等を発見する検診の有効性に関する研究についての文献学的調査 報告書(主任研究者 久道茂), 日本公衆衛生協会, 平成11年3月.
- 厚生労働省: 平成12年度がん検診の適正化に関する調査研究事業. 新たながん検診手法の有効性の評価 報告書(統括委員長 久道茂), 日本公衆衛生協会, 平成13年3月.
- 低線量CTによる肺癌検診のあり方に関する合同委員会(委員長 江口研二): 日本肺癌学会集団検診委員会, 胸部CT検診研究会指針検討WG 低線量CTによる肺癌検診の手引き, 金原出版. 東京, 2004年11月.
- 曾根脩輔, 高山文吉, 渡辺智文ほか: らせんCTによる肺癌検診 総合臨床 50: 2259-2269, 2001.

ノート

予防医学におけるエックス線検診車の現状と課題
—肺がん検診のシステム環境について—

高橋康幸・土居将也¹⁾・山田貴輝²⁾・玉乃井敏夫³⁾
村瀬研也⁴⁾・望月輝一⁵⁾

愛媛県松山地方局保健部
(現 群馬県立県民健康科学大学診療放射線学部診療放射線学科)
1)愛媛整肢療護園
2)愛媛県松山地方局保健部
3)愛媛県保健福祉部
4)大阪大学大学院医学系研究科
5)愛媛大学医学部放射線科

論文受付
2004年11月29日
論文受理
2005年4月20日
Code No. 610

緒言

胸部集団検診用間接撮影エックス線装置(以下、間接撮影装置)を搭載した検診車の歴史は古く、昭和15年に当時国民病といわれた結核対策のため、間接撮影装置を搭載した第1号車¹⁾が作製されて、以後放射線関連の検診車には、直接撮影検診車(以下、直接撮影装置)や胃部エックス線検診車、歯科検診車、さらに最近ではマンモグラフィ検診車やCT(computed

tomography)検診車などが登場した。また、エックス線関係以外では超音波装置などを搭載した高規格巡回車(移動検診施設)により、医療機関で行われる定期健康診断と同じシステムが構築され、病院に行かなくても精密な巡回式ドック健診が行えるようになった。

エックス線検診車の多くは、老人保健法に基づく生活習慣病の予防健診などにおいて、地域の公民館や事業所、山間部などの過疎地、また福祉施設などの訪問

Present Status and Issues Regarding X-ray Medical Checkup Vehicles in Preventive Medicine: Usefulness of Mass Screening for Lung Cancer by an X-ray Medical Checkup Vehicle

YASUYUKI TAKAHASHI, MASAYA DOI,¹⁾ TAKAKI YAMADA,²⁾ TOSHIO TAMANOI,³⁾ KEN-YA MURASE,⁴⁾ and TERUHITO MOCHIZUKI⁵⁾

Department of Health, Ehime Prefectural Matsuyama Regional Office
(Current address: School of Radiological Technology, Gunma Prefectural College of Health Sciences)
1)Department of Medical Office, Ehime Disabled Children's Hospital
2)Department of Health, Ehime Prefectural Matsuyama Regional Office
3)Department of Health and Welfare, Ehime Prefectural Government
4)Department of Medical Engineering, Osaka University Graduate School of Medicine
5)Department of Radiology, Ehime University School of Medicine

Received Nov. 29, 2004; Revision accepted April 20, 2005; Code No. 610

Summary

Although the prevention of habituation-related diseases has become an important topic in Japan, the early detection of cancers such as lung, gastric, and breast cancers is an important issue for x-ray-related imaging modalities. High cost-benefit and cost-effectiveness are necessary to perform mass screenings such as those for lung cancer. In order to assess cost-benefit and cost-effectiveness, a total of 100 institutions nationwide were investigated, with a 41% of recovery rate. There were at least one or two institutions in each prefecture. Cost-benefit analysis was based on factors including the price of the medical check-up vehicle, its service life, and income from the examinations. The mean price of medical check-up vehicles used for chest X-ray examinations was 4,445,000 yen. Cost-effectiveness analysis was based on the expense incurred to discover one lung cancer. According to our research, the cost-effectiveness involved in detecting one lung cancer by conventional chest X-ray examination was about 2,270,167 yen/person. Since this amount seems unduly high, it is necessary to improve cost-effectiveness.

Key words: Preventive medicine, X-ray medical checkup vehicle, Cost-effectiveness, Cost-benefit analysis

別刷資料請求先: 〒371-0052 群馬県前橋市上沖町323-1
群馬県立県民健康科学大学診療放射線学部 高橋康幸 宛

検診に活用されているが、平成16年2月27日に施行された健康増進法では、生活習慣病の発生状況の把握や受動喫煙の防止対策なども目的とすることが盛り込まれたことから、健康診断におけるエックス線撮影も健康増進事業として位置づけられることになった。

本検討では、これらの予防医学分野の一翼として、今後もさらに活用されると思われるエックス線検診車について、その運用状況や撮影システムの現状を調査した。

1. 方法

1-1 調査方法

健診施設の選択方法は、インターネットにて検診車を有することが明記されている施設で、病院に併設されていないこと、施設名にがんまたは結核などの特定した病名の標記が認められないことを条件とし、都道府県ごとに1~2施設(合計100施設)を無作為に選択した。なお、アンケートの送付先はエックス線撮影担当者とした。

調査方法は、自記式アンケート用紙を郵送し記入後返送を依頼のうえ回収し、期間は平成16年10月12日から同年11月12日までとした。

1-2 調査内容

調査内容は、エックス線検診車については、①-1 検診車の種類および保有台数、①-2 検診車(撮影室)の平面(配置)図について、② 検診車の購入価格および運用年月について、またエックス線撮影用務については、胸部検診における、③ 検診費用について、④ 撮影待ち時間について、⑤ 撮影時の管電圧について、⑥ 撮影枚数について、それぞれ設問した。

1-3 分析方法

まず、費用便益分析(cost-benefit analysis)について、検診車の購入価格および運用年月から

C1 = C0 * (r / (1 - (1+r)^-n)) + C2(1)

[C1: 1年当たりの費用, C0: 設備投資額, C2: 年間運転経費分, r: 割引率(市場利子率3.5%と仮定), n: 使用年数]により算出した。なお、年間運転経費には、燃料や保守点検費などの因子も考慮するところであるが本検討では含めていない。

次に、費用対効果(cost-effectiveness analysis)を1次検診および精密検査などの2次検診による胸部検診費用から「がんを1例発見するためにかけられた費用」と定義し、C/E(C: cost, E: effectiveness)より算出した。ここで、costは検診費用(住民検診や職場検診を含

む)×検診人数、effectivenessはがん発見数(要治療および診断確定者)である。

また、撮影待ち時間について、撮影装置1台で、検診者がポアソン到着、指数サービス、先着順サービス、無限待ち行列可能なモデルから

Wq = lambda / (mu * (mu - lambda))(2)

[Wq: 撮影待ち時間, lambda: 単位時間に待合室に到着した人数, mu: 単位時間に撮影を完了する人数]により算出した。

2. 結果

アンケートの回収率は41%(41/100施設)であった。標本数については、健診施設が今回調査しなかった施設を含め150施設程度と想定した場合、信頼度95%で誤差を±5%とすると

n = (N / ((epsilon / (K(alpha)))^2 * (N-1) / (P(1-P)) + 1))(3)

[n: 必要とする標本数, alpha: 母集団特性値の推定を誤る確率(危険率: 5%), epsilon: 標本比率の幅, N: 母集団の大きさ, P: 母比率]により、38施設で過少標本数を担保できるため、本調査は有効とした。

① 検診車の種類(平面図)および保有台数について

検診車の主な種類(配置図)をFig.に、また保有台数をTable 1に示す。胸部エックス線検診車はtype 1の間接撮影と直接撮影の併用型や、type 1から直接撮影部分を除いた間接撮影のみの型が多く、胃部エックス線検診車はtype 2の撮影室が中央部または最後尾に配置されている型やtype 3の型、type 6の胸部エックス線撮影装置が併設されている型(胃部の管球を3装置に兼用している型も含む)が用いられていた。このほかに、乳がん検診車では装置が1台または2台装備されている型、また臨床検査部門(超音波装置を含む)や健康測定部門が連結されたtype 7なども運用されていた。

以下、②~⑥については胸部検診車についてまとめた。

② 検診車の購入価格および運用年月について

式(1)により検診車の購入後に年度ごとにかかる経費(年間運転経費などを除く費用便益分析)を算出したが、その平均は4,445,000円であった。また、検診車の購入価格一覧をTable 2に示すが、最も安い検診車は20年前に1,860万円、最も高い検診車は1年前に7,100万円(CRおよびリフト搭載)で購入されており、購入後15年以上を経過している検診車は21.6%を占めていた。

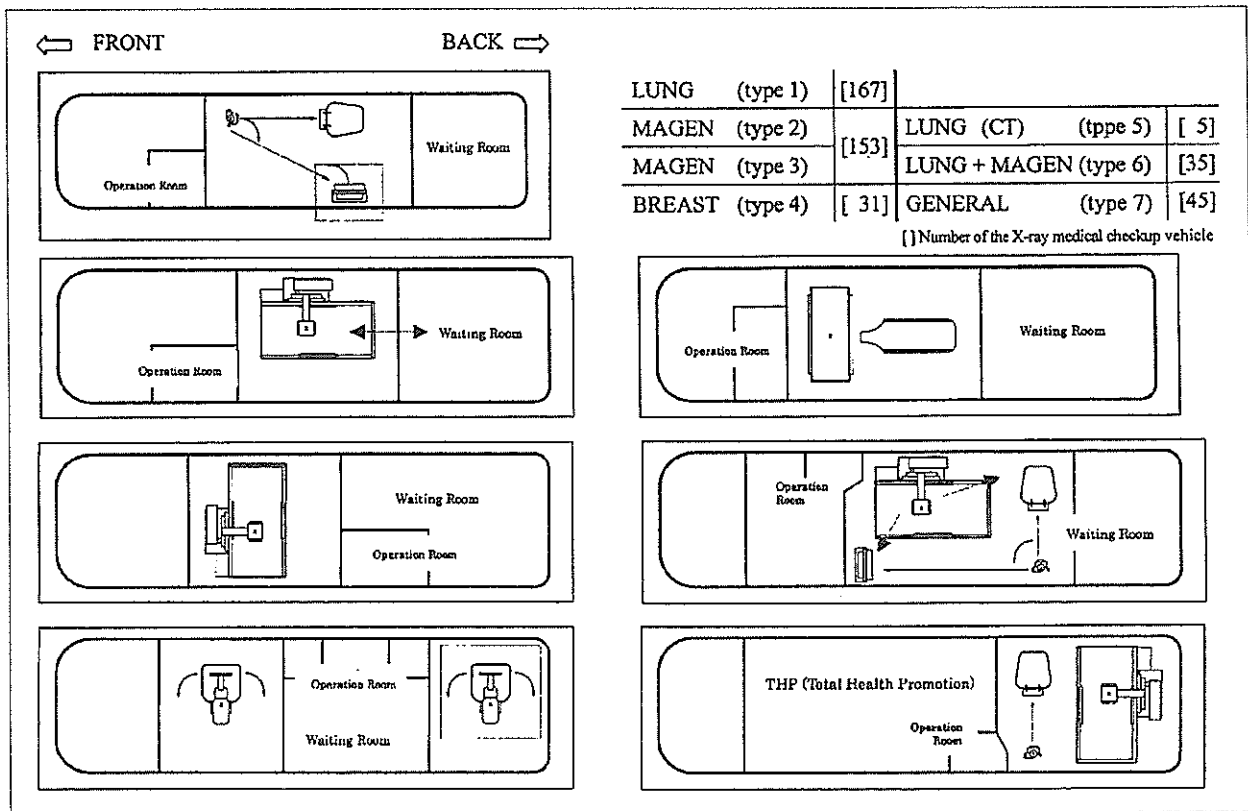


Fig. Diagram of an X-ray medical checkup vehicle.

Table 1 System and number of medical checkup vehicles.

system	number
chest (radiophotography)	73
chest (direct radiography)	53
chest (radiophotography+direct radiography)	167
magen (radiophotography)	101
magen (direct radiography)	52
mammography	31
magen+chest (radiophotography)	19
magen+chest (direct radiography)	16
Etc. (X-ray equipment is included)	45

Table 2 Price of a medical checkup vehicle.

price (million yen)	number
~19	8
20~29	2
30~39	4
40~49	5
50~59	14
60~69	6
70~	4

③ 検診費用について

1次検診および精密検査などの2次検診(間接, 直接撮影を含む)で, がんを1例発見するにかけられた費用(費用対効果)を算出したところ, 対象受診者数2,088,078人において2,270,167±1,427,105円であった。検診料金は最低金額473円, 最高金額3,080円(digital radiography: DRなどを含む)で, がんを1例発見するための費用は最低金額が247,063円, 最高金額が5,333,600円であった。

④ 撮影待ち時間について

1時間当たりの撮影人数と, 1人当たりの撮影(検

査)時間から式(2)により平均待ち時間を算出した。間接撮影において, 最高乗車人数は150名/時(平均撮影時間24秒)で, 平均待ち時間は25秒であった。また直接撮影については, 最高乗車人数は100名/時(平均撮影時間36秒)で, 平均待ち時間は1.39分であった。

⑤ 撮影時の管電圧について

撮影条件(管電圧)をTable 3に示すが, 間接・直接撮影とも120~129kVが多数であった。なお, CTはすべて120kV(5施設)であった。

⑥ 撮影枚数(肺がん検診)について

撮影枚数は35施設が1方向(posterior(P)-anterior(A), A-P含む)で, 6施設はlateralを追加した2方向であった。

3. 考 察

従来の医療供給体制は、外傷をはじめとする救急治療などの発病後に治療する医療(治療医学)であった。

しかし、最近では高齢化が進むなか、健康への意識が変化し特に生活習慣病(食習慣、運動習慣、休養、喫煙、飲酒等の生活習慣が、その発症・進行に関与する疾患群)では、発病に至るまでの自覚症状が非常に少ないことから、延命程度の治療しか行えない場合があり、これらの病気になるように日常の健康診断を重視した予防医学へ転換が図られている。平成16年1月現在における日本の総人口は1億2,761万9,000人で、生活習慣病とされるものは、インスリン非依存性糖尿病(成人型糖尿病)患者数が740万人(予備軍も含めると1,620万人)、高脂血症患者数が2,500万人を占め、がんや心疾患、脳血管疾患などを含めると総人口の6割以上と推定²⁾されている。

予防医学は健康増進や疾病予防を目的とした第一次予防から早期発見・早期措置や適切な医療と合併症対策の第二次予防、リハビリテーションの第三次予防に区分され、第二次予防における健康診断にエックス線検診車が活用されていることは周知のことである。このほかにもエックス線検診車は、学校保健法第6条(規則第5条)で児童、生徒および学生を、同第8条(規則第11条)では職員に対し、また労働安全衛生法第66条(規則第43, 44条)では、事業者が労働者に対し1年以内ごとに、なかでも特定業務従事者に対しては6カ月以内ごとに一回健康診断を行わなければならないことから利用されている。このようななか、健康増進法では予防医学の在り方が示され、健康診査(健康増進事業実施者に対する健康診査の実施等)に関する指針について平成16年8月4日付け、健習発第0804001号)で、適切なエックス線撮影の利用が図られたところである。

その適切な利用の指標として、検診の有効性をもって評価がなされているが、指標には決められた費用で最大の効果を達成する費用対効果や設備投資や年間運転経費などに基づく年間費用の費用便益分析などが用いられる³⁻⁵⁾。これらの分析を行うことで純便益を求めた場合、正值であれば有益と判断されることから、本調査における肺がん検診の費用対効果を求めると227万円、同様に費用便益分析は445万円であった。ただし、広義の費用対効果はこれらの金額以外に次に掲げる事項を考慮のうえ評価しなければならないと考えられる。まず、治療方法や治療期間、生存率により効果は変動するが、これらは医師の治療計画に左右するところが大きいので、後日にコホート調査等を含め本報告と対比し報告いたしたい。次に、読影技術や被ばく線量のリスクを考慮しなければならないが、間接撮

Table 3 Tube voltage at radiography.

voltage	radiophotography	direct radiography
70~79	3	2
80~89	0	0
90~99	0	0
100~109	1	0
110~119	5	5
120~129	24	29
130~	8	5

影(100mm)と直接撮影の病巣発見比(発見率)については、財団法人結核予防会で行った一人により比較したところ、6~10mmの病巣では発見能力に有意な差は認められないと報告⁶⁾されているところであり、撮影装置に関しても本調査ではやや間接撮影が多い程度(Table 1)であった。さらに、被ばく線量などのリスクについては、最近の英医学誌Lancetにより、日本のがん患者の3.2%は診断のために浴びた放射線が原因と推定し報告された⁶⁾ところである。この報告に対しては、がん患者の放射線被ばく歴を含め、早期発見や治療に放射線診断が役立つという利点が考慮されていないとの反論⁷⁾が多く寄せられている。被ばく線量は撮影環境により大きく異なるが、本調査結果や医療機関で用いられている胸部撮影条件での管電圧は120~129kV以下が多い傾向⁸⁾を示し、直接撮影に対する間接撮影の線量比は肺で3.0倍(平均等価線量で直接撮影0.3mSv、間接撮影0.9mSv)⁹⁾とされている。なお、このほかにも被ばく線量に影響する撮影システムでは、フィルム-スクリーン系や撮影距離、撮影時間など数多くの因子が関与することは周知のことであるが、財団法人結核予防会肺癌検診対策委員会による203施設における調査にて、胸部間接・直接フィルムの評価成績(1999年度)¹⁰⁾では、間接撮影装置の蛍光板は希土類系がほぼ100%(そのうちグラデーションは38.4%)、また撮影距離は検診車の長さの制限から構造上大きな差は認められないことから120cmが60%を占めており、これら条件は非常に類似していることから本調査では除外した。ただ、撮影距離で残りの40%については80~90cmのシステム(旧式)が含まれることから後日に再調査したい。また、最近の検診車は肺がんの早期発見などを目的としたCT検診車も導入されているが、一般的なCT検査の被ばく線量は2.3mSvと報告¹¹⁾されており、この検診における死亡リスクは、通常検診(単純エックス線と喀痰)の1に対し、CT検診は0.64と死亡率が減少^{10, 11)}する報告がなされている。ただ、CT検診車については、集団検診(一次検診)として利用する場合は非常に少なく、導入されている施設も限

られ、その性質から集団検診にて要精密検査となった対象者に限定される。このように被ばくによるリスクは古今より多くの討論や調査がなされているが、著者ら診療放射線技師としては医師の判断に左右されるリスクよりも撮影環境など著者らが調整できる事項に重点を置き調査を行い、取りまとめたしだいである。

なお、本調査では肺がん検診を中心に報告しているが、他のがん検診についても実施している。ただ、胃がん検診については消化性潰瘍や胃がんの危険予知マーカー(pepsinogen)を併用している¹¹⁾施設があることから、発見率や検診金額が異なるため含めなかった。また、乳がん検診についても、超音波検査を併用している¹²⁾施設があり、現在、厚生労働省は健康フロンティア戦略としてマンモグラフィ整備費用の補助を進めていることから、この数年で整備費用や発見率等に大幅な変動が予想されるため、2~3年後に追跡調査をして普及率や発見率などの比較を行い報告したい。さらに、肺がん検診においても、肺扁平上皮がんの腫瘍マーカー(CYFRA)などを取り入れている施設については本報告では除外している。

これらのほかに最近の撮影システムにおける特記すべき事項として、集団検診は画像が大量となることから、医師の読影負担が大きくなるため、その軽減を目的とし、かつ見落としによる誤診を減少させるコンピュータ支援診断(computer-aided diagnosis: CAD)シス

テム¹³⁾の導入が試みられている。また、欧米ではすでにPET検診車(トレーラー型)が利用¹⁴⁾されており、予防医学が注目されるなかで本調査による費用対効果や費用便益分析による経費はいずれも高額であったが、これらの巡回検診技術の向上は予防医学普及の一助となることが示唆され、また利便性の促進は受診率が増加し、単価費用が抑えられることから、今後の検診の最適化がより期待される。

4. 結 語

予防医学で活用されているエックス線検診車のシステムの現状について、費用対効果や費用便益分析などを調査した。肺がんを1例発見するためにかけられた費用とする費用対効果は平均227万円、検診車の購入価格および年月に基づく費用便益分析は平均445万円であった。費用はいずれも高額であることから、受診率や発見率を向上させ単価費用を抑えるため、CADシステムなど検診に有益なシステムの積極的な導入や構築が望まれる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、データ収集に快くご協力いただきました各健診機関の担当者の皆様、またデータ整備にご助言いただきました愛媛県保健所放射線技師会の皆様に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 高瀬 昭, 徳地清六, 増山英則: 胸部X線写真の読み方, 財団法人結核予防会, pp.1-164, (2001).
- 2) 厚生統計協会: 保健と医療の動向 健康増進, 国民衛生の動向, 51(9), 77-83, (2004).
- 3) Nagata-Kobayashi S, Shimbo T, and Fukui T: Cost-effectiveness analysis of screening for osteoporosis in postmenopausal Japanese women. JBMM, 20, 350-357, (2002).
- 4) 松永 弦, 八重樫伸生: 子宮頸癌検診の実態, 問題点と解決策, 産科と婦人科, 69(9), 1161-1166, (2002).
- 5) 経済産業省(社)産業環境管理協会: 有害大気汚染物質対策の経済性評価報告書, アンケートに基づく経済性解析—経済性評価の考え方—, pp.44-46, (2003).
- 6) Berrington de Gonzalez A, and Darby S: Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. Lancet, 363(9406), 345-351, (2004).
- 7) 池田 概: 診断X線によるがん発生のリスクについて, 新医療, 4, 66-69, (2004).
- 8) 有賀賢司・浅田恭生・猪岡由行, 他: X線診断領域における撮影条件の実態調査検討報告, 日放技学誌, 60(7), 948-959, (2004).
- 9) 西澤かな枝, 松本雅紀, 岩井 一男, 他: CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定, 日本医放会誌, 64(3), 67-74, (2004).
- 10) 保健衛生ニュース: 生活習慣予防の重点, 社会保険実務研究所, 1273, 2-5, (2004).
- 11) 中谷真樹, 大森 芳, 鈴木寿則, 他: がん検診の実施状況に関する市区町村実態調査, 日本公衛誌, 51(7), 530-539, (2004).
- 12) 黒川徳子, 川又裕子, 渡邊朋子, 他: 超音波検査を用いた乳がん検診について, 予防医学ジャーナル, 399, 16-20, (2004).
- 13) 畑中裕司, 松原友子, 原 武史, 他: 医師のマンモグラム読影自習における乳がん検出とCADシステムの検出結果との比較, 日放技学誌, 58(3), 375-382, (2002).
- 14) Hung JC: Comparison of Various Requirements of the Quality Assurance Procedures for ¹⁸F-FDG Injection. J Nucl Med, 43(11), 1495-1506, (2002).

図表の説明

Fig. エックス線検診車の平面(配置)図

Table 1 検診車の種類および保有台数について

Table 2 検診車の購入価格について

Table 3 撮影時の管電圧について

Clinical Evaluation of Pulmonary Nodules with Dual-exposure Dual-energy Subtraction Chest Radiography

Masahiko Uemura,¹ Masao Miyagawa,¹ Yoshifumi Yasuhara,² Tadashi Murakami,¹
Hirohiko Ikura,¹ Kana Sakamoto,¹ Hiroyuki Tagashira,¹
Kenji Arakawa,¹ and Teruhito Mochizuki¹

Purpose: The purpose of this study was to assess the effect of dual-exposure dual-energy (DE) subtraction chest radiography with flat-panel detector.

Materials and Methods: One hundred patients underwent dual-exposure DE subtraction chest radiography and chest CT for evaluation of pulmonary nodules. Fifty-two patients with pulmonary nodules and 48 patients with normal lungs were selected for receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. Ten radiologists who were unaware of the CT results evaluated chest radiography alone and chest radiography with DE subtraction images in the detection of pulmonary nodules. For each radiologist, we calculated the areas under the ROC curve (Az) for chest radiography alone and chest radiography with DE subtraction images.

Results: The average detectability of dual-exposure DE subtraction chest radiography was statistically significantly higher than that of chest radiography without subtraction images (mean Az value increased from 0.784 to 0.815, $p < 0.001$).

Conclusion: Dual-exposure DE subtraction chest radiography improves diagnostic accuracy of pulmonary nodules.

Key words: diagnostic radiology, chest radiography, dual-energy subtraction, pulmonary nodule

INTRODUCTION

CHEST RADIOGRAPHY STILL REPRESENTS THE MOST common tool in diagnostic radiology due to its low cost, low dose, and simple implementation. However, it has been shown to have relatively low sensitivity for the detection of pulmonary nodules. Previous authors have indicated that overlying bone structures may obscure pulmonary lesions.^{1,2} Dual-energy (DE) techniques are one of the possible methods to reduce anatomical noise. DE chest radiography involves taking an exposure of the patient using different energy x-ray beams. By exploiting the difference in the energy dependence of attenuation between bone and soft tissue, the contrast of the bone can be eliminated, producing a soft-tissue-only image, or the contrast of the soft tissue

can be reduced to produce a bone image.³

Two approaches have been developed and evaluated by research groups: a single-exposure technique and a dual-exposure technique. In the single-exposure technique, one x-ray exposure is used to expose two stacked detectors that may be separated by a filter. The dual-exposure technique, such as that described in this study, employs two separate exposures: a high-energy exposure and a low-energy exposure that are subsequently applied to the same detector.⁴ In previous studies, single-exposure DE techniques employing a storage phosphor system have proven advantageous in the detection of pulmonary nodules.^{2,5-8} Despite these promising results, the single-exposure technique has not gained wide acceptance because of inconsistent image quality and difficulties in the handling and processing of images.^{5,7}

Recently, full-field digital amorphous silicon flat-panel x-ray detector radiography systems based on cesium iodide (CsI) and amorphous silicon have become commercially available. These systems promise rapid access to the image for diagnosis, improved image quality relative to that of screen-film and storage phosphor systems, and possibilities for reduced radiation

Received January 5, 2005; revision accepted March 4, 2005.

¹Department of Radiology, Ehime University School of Medicine

²Department of Radiology, Ehime National Hospital

Reprint requests to Masahiko Uemura, M.D., Department of Radiology, Ehime University School of Medicine, Shitsukawa, Toon, Ehime 791-0295, JAPAN.

exposure.⁹ Development of a fast, high-efficiency flat-panel detector enables the dual-exposure DE technique to be integrated into the traditional workflow. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effectiveness of the dual-exposure DE technique in flat-panel chest radiography for pulmonary nodule detection.

MATERIALS AND METHODS

Patients

From August to October 2004, 100 consecutive patients (57 men and 43 women; mean age, 60.2 years; range, 18-89 years) from different clinical departments underwent chest CT and dual-exposure DE chest radiography in our hospital. Chest CT was performed within one month before or after the time of chest radiography. Fifty-two of the 100 patients had one or more pulmonary nodules. The median size of the pulmonary nodules was 1.0 cm (range 0.4-5 cm). The other 48 patients had no pulmonary nodules.

Chest radiography

Chest radiographs were acquired using a flat-panel digital chest system (Revolution XR/d, GE Medical Systems, Milwaukee, WI). The chest system includes a CsI scintillator and an amorphous silicon photodiode-transistor array. The detector has an image size of 41×41 cm and pixel dimension of 0.2×0.2 mm.

The DE examination consisted of the standard digital PA radiograph as well as the soft-tissue image and the bone image. DE images were acquired in a dual-exposure technique with 200 msec between the high- and low-energy exposures. The imaging parameters included a 140-kV image at a speed equivalent of approximately 250, and a 60-kV image at a speed equivalent of approximately 1,000 (Figs. 1A-C).

CT

CT examinations were performed using a multidetector CT (LightSpeed Ultra 16, GE Medical Systems) at 120 kV, 180 mA; collimation, 20 mm; table speed, 35 mm/rotation; scan time, 0.6 sec/rotation; reconstruction interval, 10 mm, or a single helical CT (Xvigor, Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japan) at 120 kV, 160 mA; collimation, 10 mm; table speed, 12 mm/rotation; scan time, 1 sec/rotation; reconstruction interval, 10 mm (Figs. 1D, E).

Display

All digital images were sent to a picture archiving and communication systems (PACS) workstation (SYNAPSE, FujiFilm Medical Co., Ltd., Tokyo, Japan). All digital images were viewed on a 21-inch (53 cm)

monochrome liquid crystal display (LCD) monitor (FC2090, Eizo Nanao Corp., Ishikawa, Japan) with a resolution of 1,536×2,048.

Quality of subtraction images

Before the reading test, the quality of subtraction images was evaluated on the basis of consensus of two experienced chest radiologists (M.U. and Y.Y.). Subtraction images were evaluated as fitting one of the following four grading descriptions: "excellent": few mismatch artifacts of pulmonary structures; "good": some mismatch artifacts of pulmonary structures, but the image is still suitable for diagnosis; "acceptable": in spite of the presence of some severe mismatch artifacts of pulmonary structures, an excess of 50% of the lung fields is suitable for diagnosis; and "not acceptable": there is poor matching of the whole lung, and the results are not acceptable for diagnosis.

Image evaluation

Ten radiologists participated in this study as observers: 5 residents with 4 or fewer years of experience and 5 experienced radiologists with 6 or more years of experience. CT examination served as the gold standard to determine the exact size and location of pulmonary nodules. Two other experienced chest radiologists (M.U. and Y.Y.) reviewed the CT images with consensus. Observers were not given any clinical information, including diagnoses and results of CT examination, except for patients' age and sex. The chest radiographs were presented as standard PA images alone or as standard PA radiographs in conjunction with DE subtraction images. Standard and DE sets were viewed in two sessions separated by one week. Images were presented in random order. No limit was imposed on reading time. The reading time was recorded in each session. A continuous rating scale of 0-100 was used to represent each observer's confidence level regarding the presence or absence of pulmonary nodules. The lungs were divided into two fields (right and left) for observation of pulmonary nodules.

Data and statistical analysis

Data are expressed as means \pm standard deviation (SD). A total of 4,000 observations (100 patients \times 2 fields \times 2 sessions \times 10 observers) were evaluated. Observer performance for the detection of pulmonary nodules with and without subtraction images was tested by using receiver operating characteristic (ROC) analysis of individual and averaged reader data.¹⁰ Detection accuracy was measured according to the area under the ROC curve (Az), or Az value determined by ROCKIT (Metz CE, Department of Radiology, University of

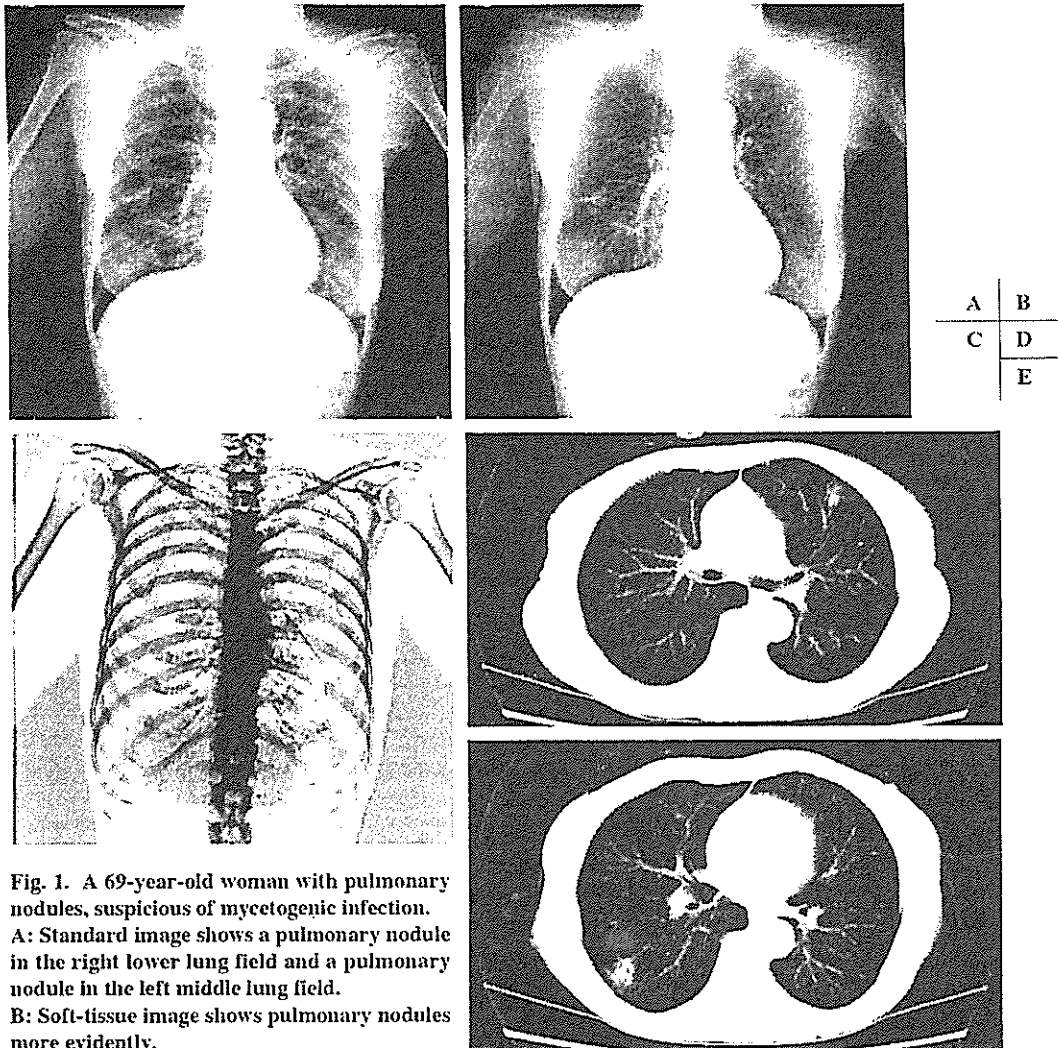


Fig. 1. A 69-year-old woman with pulmonary nodules, suspicious of mycetogenic infection.
A: Standard image shows a pulmonary nodule in the right lower lung field and a pulmonary nodule in the left middle lung field.
B: Soft-tissue image shows pulmonary nodules more evidently.
C: Bone image shows no calcification in pulmonary nodules.
D: CT image shows pulmonary nodule 1.5 cm in diameter in the upper lobe of the left lung.
E: CT image shows pulmonary nodule 2.1 cm in diameter in the lower lobe of the right lung.

Chicago, IL). The statistical significance of difference between the Az value with and without subtraction images and that between the reading time with and without them were determined with Student's two-tailed t-test for paired data. In addition, the statistical significance of the difference between the Az value for residents and that for experienced radiologists was determined with Student's two-tailed t-test. Probability values <0.05 were considered statistically significant.

RESULTS

Results of visual evaluation of the quality of subtraction images are summarized in Table 1. Ninety-eight percent

of the images of the right lung and 94% of the images of the left lung were evaluated to be excellent or good. Almost all images were assessed as acceptable for the reading test in both lung fields.

The observer study results are shown in Table 2. All ROC curves are illustrated in Figs. 2-5. The average Az value for the 10 observers increased significantly from 0.784 ± 0.029 without subtraction images to 0.815 ± 0.021 with subtraction images. The average Az value for residents increased significantly from 0.762 ± 0.016 without subtraction images to 0.803 ± 0.015 with subtraction images. Similarly the average Az value for experienced radiologists increased significantly from 0.805 ± 0.023 without subtraction

Table 1. Evaluation of the quality of subtraction images

Grade	Right lung	Left lung
	Number (%)	Number (%)
Excellent	88 (88)	68 (68)
Good	10 (10)	26 (26)
Acceptable	1 (1)	5 (5)
Not acceptable	1 (1)	1 (1)

Table 2. Az values of ROC curves for detection accuracy

Observer number	Az value	
	Without subtraction images	With subtraction images
Residents		
1	0.753	0.796
2	0.790	0.822
3	0.764	0.811
4	0.751	0.805
5	0.755	0.783
Mean Az value	0.762±0.016	0.803±0.015
Radiologists		
1	0.778	0.797
2	0.808	0.841
3	0.790	0.821
4	0.812	0.821
5	0.838	0.854
Mean Az value	0.805±0.023	0.827±0.022
All observers		
Mean Az value	0.784±0.029	0.815±0.021

images to 0.827 ± 0.022 with subtraction images. In the comparison between residents and experienced radiologists, the average Az value for the experienced radiologists was significantly higher than that for the residents in the reading test without subtraction images ($p=0.010$). However, there was no significant difference between the Az value for residents and radiologists with subtraction images ($p=0.083$).

Meanwhile, for both subgroups of residents and experienced radiologists, there was no significant difference between the mean reading time per session without and with subtraction images (74.2 min vs. 75.0 min, $p=0.796$ for residents, 63.2 min vs. 68.2 min, $p=0.261$ for experienced radiologists). There was no significant difference between the mean reading time per session without and with subtraction images (Table 3, $p=0.251$).

DISCUSSION

In the present study, we showed significant improvement

in pulmonary-nodule detection by the addition of DE images for the first time with a flat-panel detector system. Significant improvement in nodule detection was obtained by the addition of DE images in all observers and in the subgroups of residents and experienced radiologists. Above all, the improvement of detectability of nodules was more pronounced in residents. With additional DE subtraction images, the nodule detectability of residents was improved to nearly the same level as that of experienced radiologists. This means that the DE technique would compensate for experience-dependent differences in diagnostic accuracy in the detection of pulmonary nodules. Considering that chest radiography is usually the first screening method for chest diseases and that the reader of chest radiographs is not usually an experienced chest radiologist, we conclude that the subtraction technique would be useful for reducing missed detection of pulmonary nodules in routine clinical practice.

Full-field digital amorphous silicon flat-panel x-ray

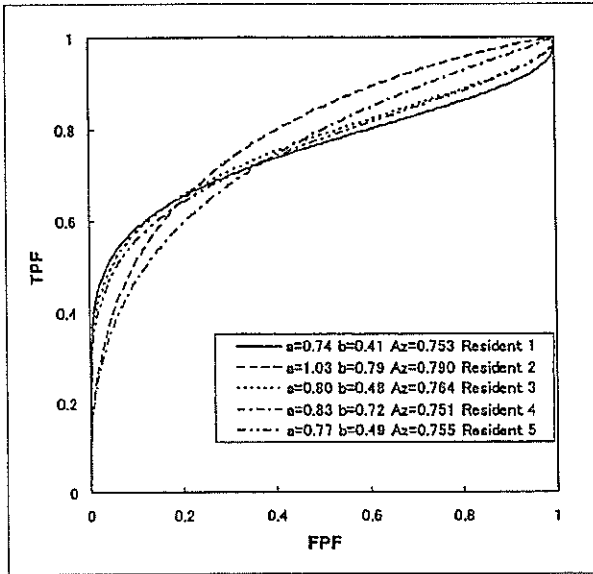


Fig. 2. Without subtraction images, ROC curve shows the detection accuracy of individual residents.
 TPF: true-positive fraction, FPF: false-positive fraction.

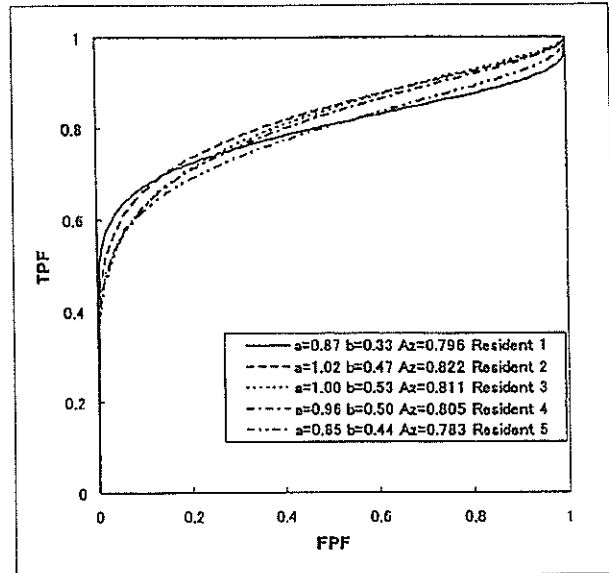


Fig. 3. With subtraction images, ROC curve shows the detection accuracy of individual residents.
 TPF: true-positive fraction, FPF: false-positive fraction.

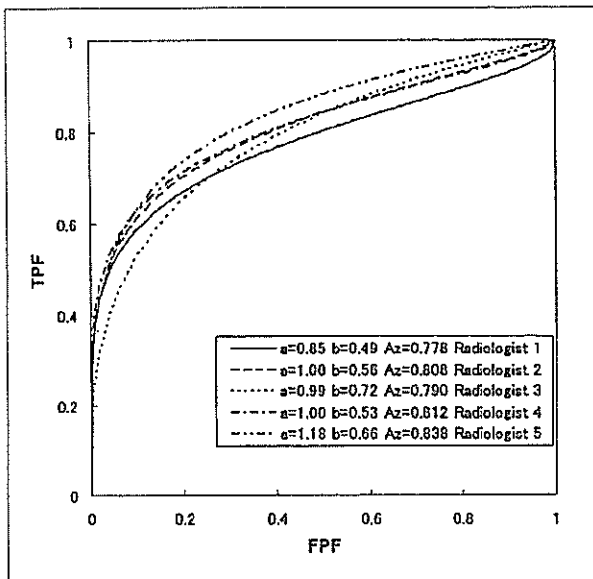


Fig. 4. Without subtraction images, ROC curve shows the detection accuracy of individual radiologists.
 TPF: true-positive fraction, FPF: false-positive fraction.

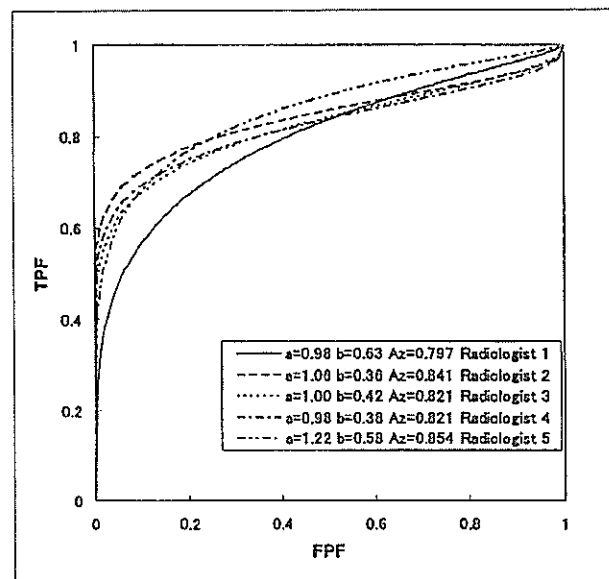


Fig. 5. With subtraction images, ROC curve shows the detection accuracy of individual radiologists.
 TPF: true-positive fraction, FPF: false-positive fraction.

detector radiography systems based on CsI and amorphous silicon have recently become commercially available. Previous experimental and clinical studies have shown that excellent image quality is achieved with the silicon flat-panel x-ray detector radiography system compared with the image quality produced by conven-

tional film-screen radiography and computed radiography systems.¹¹⁻¹³ Recent development of a fast, high-efficiency flat-panel detector enables the dual-exposure DE technique to be integrated into the traditional workflow. In this study, DE chest radiographs were acquired using a flat-panel digital chest system with

Table 3. Reading time of each observation

Observer number	Reading time (minutes)	
	Without subtraction images	With subtraction images
Residents		
1	99	92
2	80	80
3	54	54
4	81	81
5	57	68
Mean reading time	74.2 ± 18.7	75.0 ± 14.5
Radiologists		
1	90	86
2	39	55
3	58	68
4	61	58
5	68	74
Mean reading time	63.2 ± 18.4	68.2 ± 12.5
All observers		
Mean reading time	68.7 ± 18.4	71.6 ± 13.3

the dual-exposure technique. To our knowledge, there have been no conclusive studies using this system with the DE technique, and having a relatively large number of patients.

An important characteristic of the flat-panel detector radiography system is that its detective quantum efficiency (DQE) is higher than those of computed radiography and film-screen radiography systems.^{12,14} A higher DQE provides improved capability to reveal an object in a noisy background,¹⁴ in addition to the possibility of reducing patient radiation dose with no loss of diagnostic information. In previous studies, the flat-panel detector radiography system showed marked and significant dose reduction compared with that possible with computed radiography or film-screen radiography systems.^{13,15,16} The flat-panel detector radiography system had equal image quality with approximately half the radiation dose, compared with computed radiography systems or film-screen radiography systems. Therefore, the dual-exposure technique with flat-panel detector does not increase radiation dose compared with these systems.

The quality of subtraction images was good. In the comparison between the right and left lung, mismatch artifacts were seen more frequently in the left lung. These were seen mostly in the left middle and lower fields. We considered that this would be influenced by heart beat. Although misregistration is one of the disadvantages of the dual-exposure technique, subtraction images of almost all cases were acceptable for reading.

Reading with subtraction images including soft-tissue and bone images did not require extended reading time compared with that without subtraction images. This would be caused by an increase in the confidence level of pulmonary nodule detection. Moreover, evaluation by the LCD monitor may take effect. Even without hard-copy films, observers could read images efficiently.

There are several limitations to our study. First, patients with relatively large masses or multiple nodules were included in the study. They could be easily detected without subtraction images. Subtraction images would be more beneficial for the detection of subtle lesions. In this regard, we may have underestimated the effectiveness of using the DE subtraction technique. Second, we evaluated only the detectability of pulmonary nodules, and did not evaluate qualitative diagnosis. The improvement in differential diagnosis between benign and malignant nodules with use of this method was not evaluated. Further studies should address the effect of this technique on the efficacy of pulmonary lesion classification.

In conclusion, dual-exposure DE subtraction chest radiography significantly improves the detection of pulmonary nodules without extending the reading time. The results indicate that the use of DE subtraction images is beneficial both for subgroups of residents and for experienced radiologists. Thus, this technique would be useful for reducing missed detection of pulmonary nodules in routine clinical practice.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Dr. Seishi Kumano, Dr. Masaaki Hirata, Dr. Takatoshi Senba, Dr. Teruhito Kido, Dr. Noriko Hirose, Dr. Yuma Inoue, and Kohei Hosokawa, for participating as observers. We thank Mr. Yoshio Moribe, GE Yokogawa Medical Systems, for technical advice.

REFERENCES

- 1) Kundel HL. Predictive value and threshold detectability of lung tumors. *Radiology*, 139: 25–29, 1981.
- 2) Kelez F, Zink FE, Pepler WW, Kruger DG, Ergun DL, Mistretta CA. Conventional chest radiography vs. dual-energy computed radiography in the detection and characterization of pulmonary nodules. *AJR Am J Roentgenol*, 162: 271–278, 1994.
- 3) Brody WR, Butt G, Hall A, Macovski A. A method for selective tissue and bone visualization using dual energy scanned projection radiography. *Med Phys*, 8: 353–357, 1981.
- 4) Avinash GB, Jabri KN, Uppaluri R, *et al*. Effective dose reduction in dual-energy flat panel X-ray imaging: technique and clinical evaluation. *Proceedings of SPIE*, 4684: 1048–1059, 2002.
- 5) Niklason LT, Hickey NM, Chakraborty DP, *et al*. Simulated pulmonary nodules: detection with dual-energy digital versus conventional radiography. *Radiology*, 160: 589–593, 1986.
- 6) Ishigaki T, Sakuma S, Ikeda M. One-shot dual-energy subtraction chest imaging with computed radiography: clinical evaluation of film images. *Radiology*, 168: 67–72, 1988.
- 7) Oestmann JW, Greene R, Rhea JT, *et al*. “Single-exposure” dual energy digital radiography in the detection of pulmonary nodules and calcifications. *Invest Radiol*, 24: 517–521, 1989.
- 8) Kido S, Ikezoe J, Naito H, *et al*. Clinical evaluation of pulmonary nodules with single-exposure dual-energy subtraction chest radiography with an iterative noise-reduction algorithm. *Radiology*, 194: 407–412, 1995.
- 9) Chotas HG, Dobbins JT 3rd, Ravin CE. Principles of digital radiography with large-area, electronically readable detectors: a review of the basics. *Radiology*, 210: 595–599, 1999.
- 10) Metz CE. ROC methodology in radiologic imaging. *Invest Radiol*, 21: 720–733, 1986.
- 11) Rong XJ, Shaw CC, Liu X, Lemacks MR, Thompson SK. Comparison of an amorphous silicon/cesium iodide flat-panel digital chest radiography system with screen/film and computed radiography systems—a contrast-detail phantom study. *Med Phys*, 28: 2328–2335, 2000.
- 12) Garmer M, Hennigs SP, Jager HJ, *et al*. Digital radiography versus conventional radiography in chest imaging: diagnostic performance of a large-area silicon flat-panel detector in a clinical CT-controlled study. *AJR Am J Roentgenol*, 174: 75–80, 2000.
- 13) Fink C, Hallscheidt PJ, Noeldge G, *et al*. Clinical comparative study with a large-area amorphous silicon flat-panel detector: image quality and visibility of anatomic structures on chest radiography. *AJR Am J Roentgenol*, 178: 481–486, 2002.
- 14) Floyd CE, Warp RJ, Dobbins JT 3rd, *et al*. Imaging characteristics of an amorphous silicon flat-panel detector for digital chest radiography. *Radiology*, 218: 683–688, 2001.
- 15) Strotzer M, Gmeinwieser JK, Volk M, Frund R, Seitz J, Feuerbach S. Detection of simulated chest lesions with normal and reduced radiation dose: comparison of conventional screen-film radiography and a flat-panel X-ray detector based on amorphous silicon. *Invest Radiol*, 33: 98–103, 1998.
- 16) Bacher K, Smeets P, Bonnarens K, De Hauwere A, Verstraete K, Thierens H. Dose reduction in patients undergoing chest imaging: digital amorphous silicon flat-panel detector radiography versus conventional film-screen radiography and phosphor-based computed radiography. *AJR Am J Roentgenol*, 181: 923–929, 2003.

一般演題 14

車載型らせん CT を用いた胸部検診における経過観察例の CT 所見

潤間隆宏¹ 鈴木公典² 大平尚子² 佐藤由梨²
小野崎郁史² 長尾啓一³ 猪狩英俊⁴ 天野佳子⁵
渡辺哲⁶ 滝口裕一⁶ 栗山喬之⁶

[目的] 車載型らせん CT を用いた胸部検診において、経過観察と判定された群と、肺癌・異型腺腫様過形成と確定診断された群との間で thin-section CT 所見の比較検討をおこなった。

[対象と方法] 一自治体住民 849 名を対象として、車載型らせん CT を用いた一次検診を行った。精密検査が必要と判定された例に thin-section CT を施行し、確定診断が必要な例は精査医療機関受診を推奨した。

[結果] 要精査 100 例中 83 名に、精査 CT を撮像した。CT ガイド下生検・胸腔鏡下肺生検・開胸肺生検などの診断的検査により肺癌 5 例、AAH1 例が診断された。2 年間の経過観察継続および終了例は 18 例であった。経過観察継続例で他部位の陰影出現と消失が 1 例に、陰影の増大が 1 例に認められた。肺癌・AAH6 名 6 病変の C 群と経過観察継続・終了群 18 名 22 病変につき、thin-section CT 所見の比較検討を行い、辺縁不整・辺縁不鮮明・内部のすりガラス濃度・air bronchogram・静脈関与が、各群間において所見の比率に有意な差がみられた。

[結論] 辺縁不整・辺縁不鮮明・すりガラス濃度・air bronchogram・静脈関与の所見が悪性病変を示唆する所見と考えられた。

キーワード： 車載型らせん CT、thin-section CT、肺癌、経過観察、胸部検診

はじめに

低線量 CT を用いた胸部検診により、より小さなそしてより早期の肺癌を発見することが可能になり、肺癌死亡率の低下への寄与が期待されている。しかし、検出した肺野結節は、thin-section CT 所見でも良悪性の鑑別が難しく経過観察を行う例も多い。今回我々は、車載型らせん CT を用いた胸部検診におい

て精査 CT で経過観察と判定された例と、肺癌・異型腺腫様過形成と確定診断された例の thin-section CT 所見の比較検討をおこなった。

方法

2001 年度に、千葉県内一自治体住民 849 名を対象として、ちば県民保健予防財団が、車載型らせん CT を用いた一次検診を行った。CT 装置は、日立メディコ社製 CT-W950SR を用い、撮像条件は、120 kV, 50mA, スライス幅 10 mm, テーブル移動速度 20 mm/sec, 2 秒/回転であった。読影は、比較読影支援システムを用いて CRT 上で用い、一症例につき 2 名の読影医が独立して読影を行った。2 名の読影医のうち、いずれか 1 名以上が要精査とした症例について、合同判定を施行し、B 判定(異常なし) C 判定(異常所見を認めるが精査を必要としない)、D1 判定(活動性肺結核を強く疑う)、

¹ 千葉県立東金病院
(〒283-8588 千葉県東金市台方 1229)

e-mail:uruma-1@umin.ac.jp

² ちば県民保健予防財団

³ 千葉大学総合安全衛生管理機構

⁴ 千葉大学医学部附属病院感染症管理治療部

⁵ 千葉大学医学研究院加齢呼吸器病態制御学

D2 判定(活動性非結核病変を強く疑う)、D3 判定(循環器疾患)、D4 判定(縦隔腫瘍、胸壁腫瘍など)、E1 判定(肺癌の疑いを否定できない)、E2 判定(肺癌を強く疑う)のいずれかに判定した。要精査例は、ちば県民保健予防財団結核予防センター受診を推奨した。同センターで精査 CT として conventional CT および thin-section CT を撮像し、確定診断が必要な例は精査医療機関に紹介し、経過観察とされた症例は同センターにて継続受診し、24 ヶ月間の経過観察の経過を検討した。

結果

判定結果は B 判定 418 名、C 判定 319 名、D1 判定 3 名、D2 判定 1 名、D3 判定 3 名、D4 判定 5 名、E1 判定 36 名、E2 判定 64 名であった。D1 および D2 判定で結核予防センターを受診したのは 3 例で 1 例は肺結核の診断がなされた。E1 および E2 判定とされた計 100 名に結核予防センター受診を推奨し、83 名が同センターを受診、13 名が他医療機関を受診し、精査未受診は 4 名であった。

結核予防センター受診者 83 名の精査判定結果は、異常なしが 12 名、肺癌以外の呼吸器疾患で精査の必要なしは 35 名、他医療機関を紹介し診断確定は 9 名、他医療機関紹介で診断未確定は 5 名、経過観察例は 22 名であった。他医療機関を紹介し診断確定した 9 名の内訳は肺癌 5 名、異型腺腫様過形成 1 名、炎症性病変 2 名、肺真菌症 1 名であった。肺癌 5 名、異型腺腫様過形成 1 名は、CT ガイド下生検・胸腔鏡下肺生検・開胸肺生検により診断された。経過観察例 22 名は、2 年間の経過観察中に、経過観察が患者都合により中断が 4 名、経過観察終了としたのが 8 名、経過観察を継続した例が 10 名であった。経過観察継続例での所見の変化がみられたのは、経過中他部位に結節影出現し縮小が見られた例と、胸膜直下の多角形の結節影で、経過中間質性肺炎の悪化と結節影の増大が見られた例であった。

経過観察終了および継続例の 18 名 22 病変の F 群と肺癌・異型腺腫様過形成と診断された 6 名 6 病変の C 群の 2 群に分類して、初診時における thin-section CT 所見の比較を行

った(表 1)。各所見の有無による各群間の比率の差異について、Fisher's exact probability test を用いて検定を行った。辺縁不整・辺縁不鮮明・内部のすりガラス濃度・air bronchogram・静脈関与が、各群間において所見の比率に有意な差がみられた。形としては不整形および多角形を呈する陰影が経過観察群にのみ認められた。

考察

肺結節における CT 所見として、辺縁不整・境界不鮮明や spiculation は、悪性の特徴とされ[1]、辺縁整や境界鮮明な結節は良性であることが多いとされているが、辺縁の性状だけでは良悪性の鑑別が困難である例も多い。

近年、スクリーニング検査や胸部検診で行われる CT で発見される小さな肺結節影の評価には、thin-section CT による辺縁や内部構造の所見の解析により良悪性の鑑別診断が行われている。内部濃度の評価では、すりガラス濃度を呈する結節は、炎症の消退過程もしくは、腺癌・異型腺腫様過形成であることが多いとされている。結節の形や胸膜との関係では、松本らの検討では、1cm 以下で多角形や扁平な結節、胸膜に接した半円形の結節は良性の所見とされている[2]。

近年、肺野の小結節影を呈する肺内リンパ節が、微小肺癌との鑑別診断が難しい例もあることで注目されている。肺内リンパ節は、悪性腫瘍との鑑別上重要であるが、多くは胸膜から 15mm 以内の距離にあり、形は円形ないしは楕円形で分葉を示す場合があり気管分岐部より下部に存在し、大きさは 15mm 以下であるとされている[3]。また、松本らによれば、円形、多角形の結節から、短い spiculation とは異なる長い線状陰影を認める場合があると報告されている[2]。また、兵頭らは、結節影から連続する線状影を認める例を 12 例中 11 例に認め[4]、胸膜陥入像や notch, spicula を伴ったり、新たに出現を認めたり[5]、増大を認める例[6]もある。今回の検討では、多角形を呈するないしは胸膜に接する陰影は F 群のみに 5 例認められ、肺内リンパ節を疑わせる所見であった。

確定診断が得られない場合は、2年間の胸部X線やCTによる経過観察で増大が見られないことを確認する必要がある。経過観察継続例で結節影の増大が認められた例は、胸膜直下の多角形と結節影から連続する線状影を示し、肺内リンパ節が疑われたが、経過中間質性肺炎の悪化に伴い結節影の増大が見られた。良性病変と考えられるF群とC群のthin-section CT所見の比較では、辺縁不整・辺縁不鮮明・内部のすりガラス濃度・air bronchogram・静脈関与が、C群において所見の比率が有意に高値であった。今回対象とした例が少ないため、今後、より多くの症例での検討が必要と考えられた。

まとめ

24ヶ月の経過観察では他部位の陰影出現と消失が1例に、陰影の増大が1例に認められた。F群とC群では、thin-section CT所見で、辺縁不整・辺縁不鮮明・内部のすりガラス濃度・air bronchogram・静脈関与の有無に差が見られ、これらは悪性病変を示唆する所見と考えられた。

本論文は平成14年度結核予防千葉基金医学研究助成による助成を受けた。

文献

- [1] Zwirowich CV, Vedal S, Miller RR et al: Solitary pulmonary nodule: high-resolution CT and radiologic-pathologic correlation. *Radiology*, 1991; 79: 469-476
- [2] 松本常男: 肺結節の存在診断と鑑別診断について. *肺癌* 2002; 42: 686-697
- [3] Malsuki M, Noma S, Kuroda Y, et al: Thin-section CT features of intrapulmonary lymph nodes. *Journal of Computer Assisted Tomography*. 2001; 25: 753-756
- [4] 兵頭剛、河野良寛、芝本健太郎、他: 肺内リンパ節のHRCT所見12症例の検討. *臨床放射線* 2002; 47: 135-139
- [5] 常塚宣男、斎藤 裕、増田信二、他: び慢性汎細気管支炎経過観察中に画像上出現した胸膜下肺内リンパ節の1症例. *日胸* 1994; 53: 278-283
- [6] 花岡孝臣、西村秀紀、高砂敬一郎、他: 胸腔鏡下肺生検で判明した胸膜下肺内リンパ節の2例. *日本臨床外科学会雑誌* 2000; 61: 2936-2939

CT findings of follow-up case in chest screening with mobile CT unit

Takahiro Uruma¹, Kiminori Suzuki², Naoko Odaira², Yuri Sato²,
Ikushi Onozaki², Keiichi Nagao³, Hidetoshi Igari⁴, Yoshiko Amano⁵,
Satoshi Watanabe⁵, Yuichi Takiguchi⁵, Takayuki Kuriyama⁵

Chiba prefectural Togane Hospital¹,
Chiba Foundation for Health Promotion and Disease Prevention²,
Safety and health organization, Chiba University³,
Department of Control and Treatment of Infectious Diseases, Chiba University Hospital⁴,
Department of respiratory, graduate school of medicine, Chiba University⁵

Purpose

In thoracic screening with mobile CT unit, thin-section CT findings were compared between lesion judged to be follow-up and lesion diagnosed as lung cancer or adenomatous hyperplasia.

Subjects and methods