資料

低線量CT肺がん検診の現状

五味志穂・中村義正¹⁾・村松禎久²⁾論文受付
2004年12月24日論文受理
2005年3月29日

Code No. 251

国立がんセンターがん予防・検診研究センター総合検診部

1)財団法人東京都予防医学協会診療放射線部

2)国立がんセンター東病院放射線部

はじめに

自覚症状のない集団を対象にしたがん検診を行ううえでの基本条件は、当該がんの罹患率・死亡率が高いこと、疾患の早期発見による治療効果があること、検査の精度が高いこと、検査による偶発症や放射線被ばくが受診者の健康上の不利益を起こさないこと、経済性が優れていること、集団に適したスクリーニング法であることとされる¹⁾。本稿では、低線量CT肺がん検診(検査)の現状について、前述の項目に沿って検証を試みたい。

1. 肺がん死の予防について

1-1 早期発見による治療効果

がんの主要部位別・年次別・性別・年齢調整死亡率をFig. 1に示す。肺がんは、現在男性死亡のトップであり、女性でも上位に入っている。また、肺がんは今後、罹患率においても増加が予想されている²⁾。このように増加している肺がんの対策は、極めて重要である。肺がんの予防は大別すると、禁煙対策(一次予防)と検診(二次予防)に分けられる^{3, 4)}。二次予防である肺がん検診の最大の利益は、肺がんの早期発見・早期

Screening for Lung Cancer by Low-dose Computed Tomography

SHIHO GOMI, YOSHIMASA NAKAMURA,¹⁾ and YOSHIHISA MURAMATSU²⁾

Department of Screening, National Cancer Research Center for Cancer Prevention and Screening

1)Department of Radiology, Tokyo Health Service Association

2)Department of Radiology, National Cancer Center Hospital East

Received Dec. 24, 2004; Revision accepted March 29, 2005; Code No. 251

Summary

The primary screening method for lung cancer in Japan is the chest x-ray, although it is not the accepted international standard because its accuracy is lower than that of procedures used to detect other types of cancer. Since the incidence and mortality rate of lung cancer are higher than in many other cancers, more effective screening modalities need to be developed. Lung cancer screening was improved about ten years ago through the introduction of computed tomography (CT) scanning techniques. CT provides a higher level of accuracy in detecting early lung cancers and there have been reports of improvement in the five-year survival rate, although its effect on decreasing the mortality rate has not been demonstrated as yet. There are two significant disadvantages, however, associated with using CT for the detection of lung cancer. First, CT scanning results in a considerably higher level of radiation exposure than chest x-ray. Secondly, CT scanning is so sensitive that it can reveal shadows unrelated to lung cancer, resulting in additional, but unnecessary CT scans being performed for further examination. Accordingly, this report reviews the basic points that should be considered when conducting CT scanning for lung cancer screening purposes.

Key words: Computed tomography, Lung cancer, CT screening, Preventive medicine

別刷資料請求先：〒104-0045 東京都中央区築地5-1-1

国立がんセンターがん予防・検診研究センター総合検診部 五味志穂 宛

治療により、肺がん死の減少が期待できること、またQOLの向上である。肺がんのStage別5年生存率は、国立がんセンターの治療成績²⁾によれば、Stage Iでは77.4%と高率で、Stage II～Vではそれぞれ52.3%，30.3%，32.8%，15.4%となっている。このように肺がんは、早期であるほど5年生存率が高く、早期での発見が重要である。

1-2 肺がんの種類と有効性評価

従来、肺がん検診は、喀痰細胞診、胸部単純X線によって施行されてきた。喀痰細胞診では「肺門部肺がん」を、X線を使った検査では、「末梢部肺がん」を指摘できる可能性が大きいとされる^{1, 5)}。これらのがんの比率は、肺門部肺がんが約30%，肺野型肺がんは約70%である⁶⁾。肺門部肺がんは、扁平上皮がん(squamous cell carcinoma)がその大部分を占め、高齢の男性に多く、高喫煙者がほとんどを占める⁶⁾。肺野型肺がんの大部分は、腺がん(adenocarcinoma)で、女性に多く、自覚症状に乏しく、喫煙との関連性は肺門部肺がんに比べ低いとされる⁶⁾。

現行の肺がん検診は、「胸部単純X線検査と高危険度群に対する喀痰細胞診の併用」である¹⁾。このシステムの死亡率減少効果については、海外の研究^{7, 8)}では否定的であるが、わが国においては適切に行うことができれば効果が認められるとされ、推奨されている¹⁾。しかし、胸部間接X線では、2cm以下の肺がんの検出は困難とされ⁹⁾、早期の肺がんを検出するのに十分な検査とはいえないとも指摘されている^{6, 10)}。また、他臓器の検診に比べ精度が劣るとされ⁶⁾、検診方法の改善や新しい検査法の開発等による感度の向上が望まれている。なかでもCTは、胸部X線と比較して小病変を検出するのに優れているため¹¹⁾、新しい検診方法として注目されている。しかし、「らせんCTと高危険度群に対する喀痰細胞診」による検診システムは、着手されたばかりで判定保留とされ、有効性はまだ証明されていないと報告されている^{1, 12)}。

2. 低線量CT肺がん検診

2-1 SSCTからMSCTによる肺がん検診へ

濃度分解能が良く、死角が少ないCT検査が、従来法に比べて小型陰影の発見において優位であることはすでに明らかである。しかし、コンベンショナルCTでは1回の息止め下の全肺撮影は難しく、低線量撮影も不可能な状況であった。その後、それらを可能にするヘリカルCTが開発され、館野らの尽力^{6, 10, 13-15)}により肺がん検診に導入する気運が高まった。基礎研究の一つとして、大谷¹⁶⁾らにより低線量、high pitchで撮影された画像の検討が行われ、大松らによって読影実

Fig.1 がんの主要部位別・年次別・性別・年齢調整死亡率(1970～2000年)

資料：厚生労働省大臣官房統計情報部「人口動態統計」

験がなされた¹⁷⁾。それらを受け、低線量CT肺がん検診が1993年に会員制肺がん検診組織「東京から肺がんをなくす会」(財団法人東京都予防医学協会)で開始され¹⁸⁾、胸部単純X線と比較して5年生存率の向上等の良好な成績が報告されている¹⁹⁾。

CT装置は、single slice helical CT(SSCT)からmulti slice CT(MSCT)へと検出器の多列化が進み、MSCTが肺がん検診にも取り入れられるようになった。MSCTであれば、一度の呼吸停止下で全肺の薄いスライス厚(1～2mm)撮影も可能である。Fig. 2はSSCTと16DAS-MSCTのコロナル像である。MSCTでは、薄いスライス厚、low pitchで撮影することにより、SSCTと比較して鮮明な画質が得られている。このような、薄いスライスの画質が一回の検査で得られることにより、精検率を下げる事が可能との報告もされている²⁰⁾。

2-2 撮影条件

検診は自覚症状のない人を対象とするため、通常の臨床よりも被ばく線量に対する管理が厳しくなければならないとされる²¹⁾。そのため、診断に支障が生じない範囲での低い線量でCT検診を施行するべきである。SSCTの撮影条件等については、胸部CT検診マニュアル^{22, 23)}が胸部CT検診研究会のホームページ(<http://www.thoracic-ct-screening.org/jpn/index.html>)に掲載されている。このマニュアルには、具体的な撮影条件、表示条件などの技術的な側面、被ばく線量の測定方法や装置のメンテナンスなどの精度管理面、接遇や撮影等の基本的な面に至るまで、詳細に述べられている。マニュアルに掲載されているSSCTの撮影条件は、120kV、20～30mA、スライス厚10mm、beam pitch(BP)2、再構成間隔10mmである。また、4DAS-

Fig. 2 single slice helical CT (SSCT)と16DAS-multi slice CT (MSCT)

(a) SSCT : 120kV, 50mA, slice thickness 10mm, beam pitch 2, 1sec/rot
資料提供：東京から肺がんをなくす会 (ALCA), 1993年

(b) 16DAS-MSCT : 120kV, 30mA, slice thickness 1mm, beam pitch 0.7, 0.5sec/rot
資料：国立がんセンターがん予防・検診研究センター, 2002年

a | b

MSCTについては、肺癌取り扱い規約²⁴⁾の推奨条件より、120kV, 10~30mA, スライス厚2~5mm, helical pitch 3, 5.5 (BP 0.75, 1.38), 再構成間隔2~8mmとされている。その他のMSCTにおいては、推奨条件が決められていないのが現状である。他のMSCTで、撮影条件を決定する際は、胸部CT検診専用ファントム (LSCT-001: 京都科学社) を用いることにより、画質の評価や線量測定が簡易に行える²⁵⁾。

胸部CT検診に求められる画質を決定する際のターゲットについては、いまだ明確なエビデンスはない。しかし、柿沼ら¹¹⁾によれば、ターゲットの大きさは暫定的に5mm以上の限局するスリガラス陰影、あるいは、充実型の結節陰影であるとの報告が、また中村ら¹⁸⁾によれば、低コントラスト陰影は10mm, 高コントラスト陰影は5mmの描出が目標サイズであると報告されている。それらの腫瘍が描出でき、なおかつできるだけ低被ばくのバランスが取れた撮影条件設定が望ましいとされる²⁶⁾。

2-3 CT-AECを用いた撮影条件

CT用自動露出機構 (CT-AEC: CT automatic exposure control) が、適切な照射を制御するツールとして注目されている。この方法を用いることにより、肺野全域のスライス間、また被写体の大小を問わず、同ノイズとなり均一な画像が得られる。Fig. 3は、LSCT-001を30mA一定のdose length product (DLP) (air中: 36.845mGy) と、CT-AECを使用したときのDLPが同等になるように条件設定し撮影した画像例である。

Fig. 3(a), (c)は、30mA一定で、Fig. 3(b), (d)は、CT-AEC使用の画像である。 coronal像で比較するとCT-AECでは30mA一定に比べて、肺尖部と肺底部の画像上のノイズが少なく、画質の向上がみられる。肺尖部の3D像で比較すると30mA一定では、4mm径の模擬腫瘍の確認が困難であるが、CT-AECを用いた撮影条件では確認できる。また、CT-AECを用いることにより細身の人の被ばく線量は、一定管電圧で撮像する場合よりも劇的に減少するとされる⁶⁾。

2-4 画質

LSCT-001を用いて再構成関数を変化させた画像をFig. 4に示す。このように、肺がん検診の推奨撮影条件下で一般的な胸部撮影に用いられる肺野用再構成関数を使用すると、ノイズが非常に目立ってしまうことが分かる。ノイズが多くなると、小さな所見を検出できない可能性があるが、低線量撮影ではエッジを強調し過ぎない画像処理 (再構成関数) を選択することで、ノイズの低減が可能である。さらに、これから普及していくであろうcomputer aided diagnosis (CAD)においても、ノイズの少ない画像が偽陽性、偽陰性を減らし、診断能の向上につながるとされる²⁷⁾。また、画質に影響を及ぼす因子として、吸気不足がある。中村ら¹⁸⁾によると、吸気の違いによって所見の見え方は異なり、吸気の安定化には、撮影前の説明と練習が効果的であるとされる。また、常に最大吸気による撮影を心がけることにより、画像の再現性も保たれ、読影医やCADによる過去画像との比較読影もスムーズに行

Fig. 3 低管電圧一定とCT-AECの画像
 (a) 30mA一定 肺尖部
 (b) CT-AEC 肺尖部
 (c) 30mA一定 全肺
 (d) CT-AEC 全肺

Fig. 4 再構成関数を変化させた画像
 撮影条件：120kV, 30mA, slice thickness 5mm, beam pitch 0.7, 0.5sec/rot
 (a) 再構成関数 FC57：Standard Lung Algorithms (Lung Sharp)
 (b) 再構成関数 FC01：Body Algorithms with BHC* (Body Average)
 *BHCはストリークアーチファクトを低減する効果がある。

うことができると指摘されている¹⁸⁾。

2-5 精度管理

がん検診においては十分な精度管理が有効性の鍵となる。精度管理項目としては、撮影法(撮影条件の設定, 撮影情報の表示等)や、品質管理等(機器の保守・

点検等)が挙げられる^{22), 23)}。X線CT装置の品質管理としては、故障を未然に防ぐため装置に定められた環境を維持することが日常保全の中心とされ、X線管のウォーミングアップや、ガントリおよび寝台の動作チェック、水ファントムのテストスキャン等が日常保全項目として挙げられている²²⁾。また、メーカーが行う

定期点検時には必ず共同で作業を行うことで保全技術のレベルを高めること、そして、各施設に応じた点検レベルを定めていくことも重要とされる²²⁾。また、周辺機器管理の一つとして重要な項目に、レーザープリンタの調整がある。これには、胸部CT検診用リニアリティファントムを使用することで、施設間やCTシステムの違いに左右されない濃度スケールの規格化が可能であるとされる²⁵⁾。

3. 被ばくと経済性

3-1 被ばく

X線を用いた検査では、被ばくが最大のリスク要因の一つであるとされる²⁸⁾。CTによる被ばくの問題は、国外の論文^{29, 30)}で発表されたものが、新聞に掲載され世論に影響を及ぼした。また、日本医学放射線学会が過剰な検査を防ぐ指針作成に乗り出すなど、国内でも議論が活発化している。がん検診に対する不要な不安を招くことがないように、撮影条件を考慮し、画質と被ばくの最適化をする必要があり、それと同時に、不安を払拭するための、適切な情報提供を進める必要がある。

飯沼によるリスク・ベネフィット分析^{28, 31)}によると、40歳以上の男性においては低線量肺がんCT検診の線量は妥当であるとされ、40歳代前半の女性においてはリスクが利益を上回るものの、50歳以上を対象にすると女性の場合も利益がリスクを上回り正当化される²⁸⁾。ただし、この評価は低線量(120kV, 50mA, 2sec/rot, 10mm-slice, BP2)で検診を行う場合が想定されている。そこで、CTによる被ばく線量は撮影条件に依存するため、WinDose³²⁾(線量計算シミュレーションソフト: TOYO MEDIC)を用いて各撮影条件とCT装置機種間での実効線量を算出し、検討した(Table 1)。現行法である間接X線検査と、SSCTとを比較すると、SSCTの被ばく線量は30mAs時で約10倍、100mAsでは約36倍となっている。pitchの違いによる差は、16DAS-MSCTをみると、pitchが1/2になると線量は2倍となる。16DAS, BP1ではSSCT(30mA)と同等の線量であるが、BP0.7にするとSSCT(30mA)より被ばく線量が多くなっている。また、4DAS-MSCTの場合、撮影スライス厚2mmと5mmを比較すると、ほとんど変わらない。被ばく線量は、mAs値とpitchに依存し、撮影スライス厚の違いではさほど変わらないことが分かる。また、現在はCTの管球回転速度の向上や、より低管電流が設定できるようになったことから、SSCTで肺がん検診が開始された当初と比べ、被ばくは低減されている。このように、被ばくが低減されることにより、ベネフィットがリスクを上回る年齢、つまり検診対象年齢は、今後低下していくとされ

る²⁸⁾。

3-2 経済性

集団を対象とするがん検診の場合、公共財源を投入することから特に経済性に優れた方法が要求される。飯沼⁹⁾による費用効果分析での効果比は、70歳以上を除き、胸部X線よりCTの方が良好であるとされる。しかしながら、この費用効果分析は1994年に行われたものであり、現在では装置単価等も大幅に低下している。したがって筆者は、現在の価格・機種で費用効果比の算出を試みた。Table 2は、SSCT, 4DAS-MSCT, 16DAS-MSCTを使用した場合の費用効果分析を飯沼の式を用いて算出した結果である。計算に用いたCT本体の価格は、2004年自治体病院共済会ニュース³³⁾からの概算を使用した。一人にかかる検診のコストは、依然として胸部間接X線検査が安い。費用効果から見ると16DAS-MSCTで撮影スライス厚を2mmにしたときに、安価であるとの結果であった。これは、今回の計算では一人当たりにかかるコストには、X線管のコストが大きく関与し、一検査当たりの回転数が少ない方が管球の劣化が遅く、費用効果が良くなったためと考える。したがって、Table 2のようにMSCTでは撮影スライス厚を厚く設定することにより、費用効果が良くなる。今後、MSCTによるCT検診を行う場合は、費用効果を踏まえた撮影条件の設定も必要になってくるのではないかと考える。また、多列化することで、CT本体の価格は高くなるものの、精密検査を省くことができれば、その分の医療費が節約され有意であるとされる²⁰⁾。また、胸部X線装置と比較してCT装置は高価であるので、「肺がんCT検診専用装置」として必要な機能を備え、価格を抑えた機種の開発が望まれる³¹⁾。

4. CT検診の問題点と対策

MSCTを使用した検査では大量の画像が得られることから、読影医師の負担増、大量のデータによるサーバの圧迫、画像保管等の作業負担増などが指摘されており¹⁸⁾、より効率的な検診システムの構築が期待される。

読影の負担については、CADによる診断支援が早くから検討されている³⁴⁾が、CADを保有しない施設も多いことが予想される。そこで、撮影にかかわっている診療放射線技師が、cost savingのためにも一次読影に支援協力できる可能性があるとの報告がある³⁵⁾。診療放射線技師が一次読影の診断支援を行う観点で、胸部CT検診専門認定技師制度の構築を考えていくのも、一つの対策となりうるであろう。

CT検診(特にMSCT)では、薄いスライス厚で鮮明な画像が得られることにより、10mm以下の結節も指

Table 1 シミュレーションソフトを用いた胸部CT被ばく線量

	voltage in kVp	current * time in mAs per 360°	slice thickness (mm)	beam pitch	dose (mSv) ICRP60
間接胸部X線 ^{*1}					0.05
SSCT (SOMATOM Plus4)	120	200 100 30	10	2	3.66 1.83 0.55
4DAS-MSCT (SOMATOM Volume Zoom)	120	15	2 5	1 1	0.64 0.61
16DAS-MSCT (Sensation16)	120	15	1	1.5 1 0.7	0.40 0.59 0.81

Software: WinDose (TOYO MEDIC), scan length 31cm (cranial 72cm-caudal 41cm), sex male

*1: 参考文献13より

Table 2 費用効果分析

	CT device+power supply etc. Total cost (tube cost)	slice thickness (mm)	費用(円/人)	費用/救命人(万円/人)	
				50~54age (male)	60~64age (male)
胸部間接X線			1500	4680	576
1994年SSCT	1億2000万円 (600万円)	10	4200	3660	472
SSCT	8000万円 (800万円)	10	3844	3371	413
4DAS-MSCT	1億1000万円 (1400万円)	2 5	5234 2633	4489 2397	645 210
16DAS-MSCT	1億8000万円 (1800万円)	1 2	5633 2533	4810 2317	712 194

CT装置本体・管球価格は自治体病院共済会ニュースより引用した。すべて車載(電源+車載コストは6000万円)とし、可能スキャン数 3×10^5 で計算した。装置償却期間を6年とし、1日60人の受診者で200日稼働(1万2000人/年)とした。

摘が可能であるとされる^{11, 36)}。そのため、胸部X線と比較して要精検率は増加することが報告されている³⁷⁾。過剰な精密検査は医療費の増大を招くことも予想され、同時に、精密検査が必要ということで受診者への心理的影響も大きいと考えられる。また精密検査による合併症が、気管支鏡では1.3%、針穿刺では5.8%程度発生すると報告されていることも留意し、要精検率は適切に制御せねばならないとされる¹⁾。

最後に

わが国におけるCT肺がん検診は、現段階では有効性は明らかにされていないが³¹⁾、米国では5万人規模のランダム化比較試験(randomized controlled trial: RCT)が進行中である³⁸⁾。そのようななか、われわれ

診療放射線技師に課せられた今後の課題は、被ばくを低減しつつ画質とのバランスを最適化する²⁶⁾ことである。また、精度管理²²⁾を行い、機器の保守管理等を行うことも重要な業務の一つである。さらに、CT検診を普及させるにあたり、新しい検診システムとして診療放射線技師による一次読影協力も必要ではないかと考える。CT装置においては、検診コストを抑えることができるよう、肺がん検診に特化し、必要な機能のみを持った「低線量肺がん検診専用CT装置」がCT検診普及のうえで必要になるであろう。

日本のCT稼働数は1万台を超え、世界の1/3がわが国で稼働している³⁹⁾現状を踏まえると、有効性が証明された後に、機器数的にはCT検診を受け入れられる下地ができていることは確かなようだ。

謝 辞

本論文執筆に際し、データ掲載を承諾してくださいました放射線医学総合研究所の館野之男先生に感謝を

申し上げます。本研究の一部は、第3次対がん10カ年戦略総合研究事業の森山班と土屋班より援助を受けた。

参考文献

- 1) 久道 茂, 鈴木隆一郎: 肺がん検診. 平成12年度厚生労働省老人保険事業推進費等補助金がん「新たながん検診手法の有効性の評価」, 227-304, (2001).
- 2) がんの統計編集委員会: がんの統計 <2003年版> (財)がん研究振興財団, 東京, (2003).
- 3) 富永祐民: がん予防 今後の課題(1)ー新しいがん戦略の構築ー. 癌の臨床, 39(4), 352-360, (1993).
- 4) 平山 雄: がん予防 今後の課題(2)ーライフスタイル改善によるがん予防ー. 癌の臨床, 39(4), 361-371, (1993).
- 5) 斎藤泰紀, 菅間敬治, 安部二郎, 他: 肺がん検診における喀痰細胞診の意義. 日胸, 58(11), S25-S31, (1999).
- 6) 村田喜代史, 上甲 剛, 池添潤平: 胸部のCT 第2版. メディカル・サイエンス・インターナショナル, (2004).
- 7) 金子昌弘: [検証]がん検診の有効性 肺がん検診. からの科学増刊, 81-84, 日本評論社, (1997).
- 8) Fontana RS, Sanderson DR, Woolner LB, et al.: Screening for lung cancer: A critique of the Mayo Lung Project. Cancer, 67(4), 1155-1164, (1991).
- 9) 飯沼 武: 肺がん検診の費用効果分析ーLSCT検診も含めてー. 総合臨床, 43(8), 1464-1469, (1994).
- 10) Sone S, Takashima S, Li F, et al.: Mass screening for lung cancer with mobile spiral computed tomography scanner. Lancet, 351(9111), 1242-1245, (1998).
- 11) 柿沼龍太郎, 大松広伸, 金子昌弘, 他: 末梢性微小肺がんをどう診断するか. 日胸, 56(7), 547-553, (1997).
- 12) 館野之男: 胸部CT検診2000ー肺がん検診としての有効性評価を中心に. 胸部CT検診, 7(2), 27-28, (2000).
- 13) 館野之男: 胸部CT検診の立ち上げー放射線リスクの克服を中心に. 日胸, 58(11), S88-94, (1999).
- 14) 館野之男, 飯沼 武, 松本 徹, 他: 肺がん検診のためのX線CTの開発ーリスク/ベネフィット, コスト/ベネフィットの事前評価も含めて. 新医療, 190, 28-32, (1990).
- 15) 飯沼 武, 館野之男, 松本 徹: 肺癌検診用CT (LSCT) の基本構想とその事前評価. 日本医放会誌, 52(2), 182-190, (1992).
- 16) 大谷匡史, 田仲 隆, 花井耕造, 他: 螺旋状スキャン方式 (ヘリカルスキャン方式) を用いた胸部CTスクリーニングに関する研究. 日放技学誌, 48(10), 1828-1835, (1992).
- 17) 大松広伸, 西脇 裕: ヘリカルCTを用いた肺野主流性陰影の診断ー存在診断能の評価と3次元再構成画像ー. 映像情報, 26(4), 155-161, (1994).
- 18) 中村義正, 塚越伸介, 村松禎久, 他: 胸部CT検診. 日放技学誌, 57(9), 1089-1097, (2001).
- 19) Kaneko M, Eguchi K, Ohmatsu H, et al.: Peripheral lung cancer, screening and detection with low-dose spiral CT versus radiography. Radiology, 201(3), 798-802, (1996).
- 20) 丸山雄一郎: マルチスライスCTでの胸部CT検診の現状. 新医療, 10, 101-103, (2004).
- 21) 飯沼 武: 癌の集団検診と放射線. 日本医師会雑誌, 124(3), 361-366, (2000).
- 22) 胸部CT検診研究会 技術部会, 日本放射線技術学会 学術委員会研究調査班, 日本医学物理学会 課題別研究会: 胸部検診用CT撮影マニュアルーシングルスライスヘリカルCTを対象にしてー, (2004).
- 23) 中村義正, 伊藤茂樹, 岡本英明, 他: 胸部CT検診撮影精度管理マニュアル作成班報告. 日放技学誌, 60(5), 686-688, (2004).
- 24) 日本肺癌学会/編: 肺癌取扱い規約 2003年10月【改訂 第6版】.
- 25) 村松禎久: 胸部CT検診専用ファントムによる精度管理. 肺癌, 43(7), 1006-1012, (2003).
- 26) 村松禎久, 中村義正, 久保 満, 他: 肺癌検診の立場からー肺癌検診CT (LSCT) における画質と線量のバランスー. 日放技学誌, 55(12), 1156-1161, (1999).
- 27) 吉原信幸, 松本 徹, 福久健二郎, 他: 検診用CT画像を対象とした画質の線量依存性. 第8回胸部CT検診研究会原著論文集 2, 8(3), 252-259, (2001).
- 28) 飯沼 武: ラセンCTによる肺癌検診のリスク利益と費用効果分析. 癌の臨床, 45(10), 1097-1104, (1999).
- 29) Herzog P, and Rieger CT: Risk of cancer from diagnostic X-rays. Lancet, 363(9406), 340-341, (2004).
- 30) Brenner DJ, and Elliston CD: Estimated Radiation Risks Potentially Associated with Full-Body CT Screening. Radiology, 232(3), 735-738, (2004).
- 31) 村松禎久, 秋山典子, 花井耕造: 螺旋状 (ヘリカル) スキャンを用いた肺がんスクリーニングCTの医療被曝について. 日放技学誌, 52(1), 1-8, (1996).
- 32) Kalender WA: PCソフトウェアを使用したCTにおける臓器線量および実効線量の計算. WinDose線量計算ソフトウェアヘルプ, TOYO MEDIC, OM-SC-119, (2003).
- 33) 自治体病院共済会ニュース: 314, 6-23, (2004).
- 34) 仁木 登: CT肺がん検診の現状ーヘリカルCT像を用いた肺がん検診支援システム. 日胸, 58(11), S123-128, (1999).
- 35) Friedenber RM: The Role of the Supertechnologist. Radiology, 215(3), 630-633, (2000).
- 36) 近藤哲郎, 森 清志, 萩原芳弘, 他: マルチスライスCTによる肺がん検診ー10mmスライス画像と2mmスライス画像との比較ー. 胸部CT検診研究会原著論文集, 10(2), 216-220, (2002).
- 37) 飯沼 武, 金子昌弘, 森山紀之, 他: ラセンCTによる肺癌検診の費用効果分析ー東京から肺がんをなくす会の場合ー. 日胸, 58(8), 591-596, (1999).
- 38) NCI-PDQ. Lung Cancer: Screening and Testing. Updated 6/2002, http://www.nci.nih.gov/cancer_information/testing/
- 39) 日本放射線技術学会: LANCET論文に関する一連のマスコミ報道について, Vol.60 No.3, <http://www.jsrt.or.jp/news040220.html>