



Title	肺癌検診用CT(LSCT)の基本構想とその事前評価
Author(s)	飯沼, 武; 館野, 之男; 松本, 徹 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1992, 52(2), p. 182-190
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15633
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

肺癌検診用 CT（LSCT）の基本構想とその事前評価

放射線医学総合研究所臨床研究部

飯沼 武 館野 之男 松本 徹

豊橋技術科学大学知識情報工学系

山 本 真 司

群馬大学医学部

松 本 満 臣

（平成3年4月24日受付）

（平成3年6月14日最終原稿受付）

Preliminary Specification of X-ray CT for Lung Cancer Screening (LSCT) and its Evaluation on Risk-Cost-Effectiveness

Takeshi Iinuma, Yukio Tateno and Toru Matsumoto

Division of Clinical Research, National Institute of Radiological Sciences

Shinji Yamamoto

Knowledge-Based Information Engineering, Toyohashi University of Technology

Mitsuomi Matsumoto

Department of Radiology, School of Medicine, Gunma University

Research Code No. : 506.1

Key Words : Lung cancer screening CT,
Cost-effectiveness analysis, Risk-benefit analysis

In Japan mass screening for lung cancer is widely performed by chest X-ray film of 10×10 cm, with sputum cytology for high-risk groups. However, the effectiveness of the present mass screening program for lung cancer has been less than expected, although some data have shown improvement of the survival rate as a result of mass screening. We propose a new X-ray CT method of screening for lung cancer called Lung Cancer Screening CT (LSCT). The preliminary specifications for LSCT are as follows: scan speed is within 10 sec for a 40 cm length with a 1 cm slice thickness, and the absorption dose for lung is less than 1 cGy. A computer-assisted diagnostic system is necessary for image reading.

The risk-benefit analysis of LSCT indicates that Japanese men and women over 45 years old can be screened in 1992 and thereafter. The cost per person · year of LSCT screening is estimated to be 1.4×10^6 yen for a population incidence rate of 50×10^{-5} person/year and average life expectancy of 30 years. In 1992 the above condition will be satisfied by men aged 55 years old and above, but not by women of any age. We believe that LSCT should be developed further and tested in the high-risk group of men with an incidence rate of 100×10^{-5} persons/year or more.

1. 緒 言

肺癌の集団検診が広く行われているが、第1次スクリーニング検査として胸部単純撮影と喀痰細

胞診を利用している。ところが、現在のX線検査は早期肺癌に対する検出精度が十分とは言えず、また、X線の所見の見逃し率も相当に大きいこと

が分かっている¹²⁾。我々は激増する肺癌の死亡の減少を目指して新しいスクリーニング検査法として、現在的手段に代わり肺癌検診用 CT (以下、Lung Cancer Screening CT: LSCT という) を提案した³⁾。本論文では LSCT のもつべき基本性能を論じ、それが導入された時点でのリスク利益と費用効果の両面を事前に評価することを試みる。

2. 肺癌早期発見の意義と

LSCT の基本性能

非小細胞肺癌の $T_1N_0M_0$ の治療成績は成毛ら⁴⁾によると 5 年生存率で 75.5% であり、生存率は病理組織によっても大きく変わらないことが示されている。また、森田ら⁵⁾による I 期非小細胞肺癌の放射線治療成績でも $T_1N_0M_0$ は 5 年生存率 50% を得ている。これらの事実をもし、何らかの手段によってこれらの肺癌を 100% 近く発見できれば病理組織に関係なく、高い生存率が達成される筈である。

目標としては 2cm 以下、可能ならば 1cm の肺癌を第 1 次スクリーニング検査で全て検出できる方法として考えられるものは何かという問題になる。胸部単純 X 線検査の欠点は 2 次元画像であるため、肺癌の早期像は前後の重なりのため濃度的に分解できなくなってしまうことにある。そこで新しい方法は肺の 3 次元像を高速に撮像できるものでなければならないが、X 線 CT、MRI および SPECT および PET が考えられる。しかし、空間分解能、濃度分解能および撮像時間などから現実的には X 線 CT が最有力候補である。そこでまず、X 線 CT の基本性能を考察する。第 1 に、CT の密度分解能は 2cm 以下の肺癌を十分に分解できると考えられる。しかし、第 1 次スクリーニングに用いるには呼吸停止下で肺野の全領域を 3 次元に撮像しなければならない。また、2cm 以下の癌を十分見つけるためにはスライス厚 1cm 以下である必要があり、全肺野 40cm として連続的に 40 スライスが可能ならば 10 秒程度で撮像できなければならない。

次に X 線被曝の問題であるが、肺専用であるとして、線量を可能な限り低減して 1cGy 以下で撮

像可能とする必要がある。これは後述するリスク利益解析と関係することになる。

集検に使うためには撮像時間だけでなく、CT の場合には画像構成処理も十分に高速でなければならない。撮像は 40 スライスであるが、スライス画像としては 2~5mm 間隔の再構成も考えられるので、80~200 スライス画像の処理という可能性もある。

さらに医師による読影も 1 人につき 80~200 画像を対象とすることになるので、それを支援する診断支援システムの開発が不可欠となる。これについては今回は詳しく触れない。

ハードウェアとして LSCT に使える方式は次の 3 つがある。

① 第 3 世代または第 4 世代方式で連続回転が可能なもの。(所謂スパイラル CT)

② 電子スキャンの超高速 XCT

③ Dynamic Spatial Reconstructor (DSR)

この中で DSR は最も高性能であるが、値段が高く使いものにならない。②の電子スキャン方式は現在、Imatron 社の Ultrafast CT として商品化されており、これを改造すれば肺を高速にスキャンできる可能性がある。しかし、これは今直ぐには困難であるし、価格も DSR 程ではないにしても高い。

①の連続回転方式の CT が最も可能性が大きい。現在、2、3 のメーカーが本方式の CT を商品化しており、CT の高級機に位置づけられるものである。今のままでは撮像速度、線量とも上記の LSCT の仕様は満足しないが、技術的には射程距離内にあると推測される。当然のことであるが、前述の高速の再構成や簡単な診断支援システムの実装も必要であり、集検車への搭載も考えておかねばならない。高級な計算機支援診断の問題を除けば、これらはいずれも近い将来に実施可能なもの許りである。

3. リスク利益分析

さて、上記のよう LSCT が開発されたとして集検に投入される場合、少なくとも 2 つの問題点がクリアされていなければならない。その第 1 はリスク利益比であり、第 2 は費用効果比である。

第1は集検によって生ずる利益がそれによって生ずるリスクを上まわっていることを保証することであり、第2は集検の効果が妥当な費用で得られることを保証することである。

本節ではリスク利益について分析を行う。まず、LSCTを用いて対象集団に逐年検診を行った場合を想定し、その利益(効果といってもよい)を算出する。筆者らはすでに癌集検の数学モデル⁶⁾を報告してあるので、それを利用する。それによると、利益としては集検を実施することによって生じるNetの救命数(N)または救命人・年(N・T)を用いる。

逐年検診の場合は次式で表わされる。

$$N = \alpha(1) \cdot D_{ij} \cdot f_s \cdot s \cdot f_D \cdot [W_M(1) - W_0] \quad \dots\dots(1)$$

$$N \cdot T = \alpha(1) \cdot D_{ij} \cdot f_s \cdot s \cdot f_D \cdot [W_M(1) - W_0] \cdot T_{ij} \quad \dots\dots(2)$$

上式で使われている記号は以下の通り。

iは性、jは年齢階級を表す添字。Dは肺癌の罹患率(人/10⁵/年、性、年齢階級別)、 $\alpha(1)$ は逐年検診において発見可能な肺癌患者のDに対する比率、 f_s は第1次スクリーニング検査の有病正診率、sは精検受診率、 f_D は精密検査の有病正診率、 $W_M(1)$ は逐年検診で発見治療される肺癌患者の5年生存率、 W_0 は一般外来における肺癌患者の5年生存率、Tは平均余命(年)である。

次にLSCTによるX線被曝の結果生じるリスク(S_X)について計算する⁷⁾。

$$S_X = (E_B \cdot R_B \cdot \Delta M_B + \sum_K E_K \cdot R_K \cdot \Delta M_K) \times \frac{1}{d} \quad \dots\dots(3)$$

E_B はLSCT検査による平均骨髄線量当量(S_V)、 E_K はLSCT検査による肺およびその他の臓器の平均線量当量(S_V)、 R_B は骨髄線量当量当たりの白血病の発生率(人/ S_V)、 R_K は肺およびその他の臓器の線量当量当たりのその部位の癌の発生率(人/ S_V)、 ΔM_B は白血病の発生によって失われる余命の平均(年)、 ΔM_K は肺癌およびその他の癌によって失われる余命の平均、dは線量率効果係数(Dose Rate Effectiveness Factor)である。

(1)、(2)、および(3)式に具体的な数値を代入し

てリスク利益の比較を行って見よう。まず、罹患率Dについては1985年の値を利用する。 $\alpha(1)$ はLSCTではinterval cancerはないとして、 $\alpha(1)=1.0$ とおく。

LSCTスクリーニングの有病正診率は90%とし、 $f_s=0.9$ 。精検受診率は80%とし、 $s=0.8$ 。

精密検査の有病正診率はほぼ100%とし、 $f_D=1.0$ 。問題のLSCTによる逐年検診発見肺癌患者の5年生存率であるが、主として1cmの $T_1N_0M_0$ 肺癌が多く発見できるとし、その5生率を80%とし、その8割が集検で拾われるとし、 0.8×0.8 で約0.65、すなわち、 $W_M(1)=0.65$ とした。

一般外来の肺癌患者の5年生存率は10%とし、 $W_0=0.1$ 。平均余命(T_{ij})は別に示す。

リスクの算出のための数値は以下のようにおいた。問題のLSCTの肺部の線量当量は吸収線量1cGyに対応して、10mSvとした、すなわち、 $E_{lung}=10mSv$ とした。

女性の場合には乳房も被曝するので、吸収線量はCTの場合は肺とほぼ同じとし、1cGyとする。したがって、 $E_{breast}=10mSv$ 。骨髄線量当量は肺の1/3とし、 $E_B=3.3mSv$ 。リスク係数は国連科学委員会の報告⁸⁾を使って、

$$R_{Lung} = 5.9 \times 10^{-3} Sv^{-1},$$

$$R_{breast} = 4.3 \times 10^{-3} Sv^{-1},$$

$$R_B = 9.3 \times 10^{-3} Sv^{-1} \text{とした。}$$

これらはいずれも相加的リスク予測モデルの値である。 ΔM_B と ΔM_K は相加モデルによる計算より算出するが、平均余命(T)の関数である⁷⁾。総量率効果係数(d)は2とした。

(2)式に上述の数値を代入して整理すると、次のようになる。

$$N \cdot T = 1.0 \times D_{ij} \times 0.9 \times 0.8 \times 1.0 \times (0.65 - 0.1) \cdot T_{ij} = 0.396 \cdot D_{ij} \cdot T_{ij} \quad \dots\dots(2')$$

一方、(3)式の S_X は男・女で異なるので、次のようになる。まず、男の場合、その他の癌として肺癌のみを考慮する。

$$S_X = \left[\text{白 血 病} \right] \{ 3.3 \times 10^{-3} \times 9.3 \times 10^{-3} \cdot \Delta M_B$$

$$\begin{aligned} & \left[\text{肺 癌} \right] \\ & + 10 \times 10^{-3} \times 5.9 \times 10^{-3} \cdot \Delta M_K \} \times \frac{1}{2} \\ & = 1.53 \times 10^{-5} \cdot \Delta M_B + 2.95 \times 10^{-5} \cdot \Delta M_K \\ & \dots\dots\dots(3') \end{aligned}$$

女性の場合、乳房も含める。

$$\begin{aligned} S_x &= \{ 3.3 \times 10^{-3} \times 9.3 \times 10^{-3} \cdot \Delta M_B \\ & + 10 \times 10^{-3} \times 5.9 \times 10^{-3} \cdot \Delta M_K \\ & + 10 \times 10^{-3} \times 4.3 \times 10^{-3} \cdot \Delta M_K \} \times \frac{1}{2} \\ & \left[\text{乳 癌} \right] \\ & = 1.53 \times 10^{-5} \cdot \Delta M_B + 5.1 \times 10^{-5} \cdot \Delta M_K \\ & \dots\dots\dots(3'') \end{aligned}$$

(2'), (3') および (3'') 式より算出した結果を Table 1 (a) と (b) および Fig. 1 に示す。これらは1985年におけるリスクと利益の関係を男・女別に示したものである。Table 1 における罹患率(D)は国立がんセンターの資料⁹⁾より引用したもので、平均余命(T)は人口問題研究所の推定値¹⁰⁾である。ΔM_B, ΔM_Kとも文献⁷⁾によって計算した。

利益は(N・T)若年群から男・女とも急激に立ち上がり、40歳までは男女ともほぼ同じであるが、40歳を越えると男の利益がより大きくなるのがわかる。これは男の罹患率が高年で女より数倍大きいためである。一方、リスク(S_x)の方は女が乳癌の影響が加わるため男よりも大きくなる。全体としては若年側から高年側に移るに従って減少する。その理由は年齢とともにΔM_BとΔM_Kが小さくなるためである。利益とリスクが交叉する年齢は男が37歳、女が42歳頃である。

次に、リスク利益関係に大きく影響するのは罹患率(D)であるから、その点からバランス点を求めて見ると、Table 1 から見られるように T=35年とし、男では D=6×10⁻⁵、女で D=8×10⁻⁵ の点でリスク利益がバランスしている。従って、年齢40歳以上で、10×10⁻⁵以上の集団であれば、男・女ともリスク利益比はクリヤーすることになる。

また、本計算は相加的リスク予測モデルによるものであるが、相乗的リスク予測モデルによる計

Table 1 Benefit and risk of LSCT screening for lung cancer as a function of age
(a) Japanese men in 1985 (b) Japanese women in 1985. D: incidence rate of lung cancer, T: average life expectancy, N・T: prolonged life by performing the mass screening, ΔM_B: average life expectancy lost due to radiation induced leukemia (Additive model), ΔM_K: average life expectancy lost due to radiation induced cancers other than leukemia (Additive model), S_x: shortened life due to radiation exposure from the LSCT screening

Table 1 (a)

Age	D (Person× 10 ⁻⁵)	T (Year)	N・T (Person Year×10 ⁻⁵)	ΔM _B (Year)	ΔM _K (Year)	S _x (Person Year×10 ⁻⁵)
20-24	0.3	54.00	6.4	39.00	24.00	150
25-29	0.2	49.20	3.9	34.20	19.20	124
30-34	1.2	44.39	21.1	29.39	14.40	99.0
35-39	4.4	39.62	69.0	24.62	10.10	75.6
40-44	7.7	34.93	106.5	19.93	6.62	55.3
45-49	15.6	30.38	187.7	15.38	3.94	38.3
50-54	36.4	26.03	375.2	11.03	2.03	24.5
55-59	82.2	21.90	712.9	7.14	0.79	13.9
60-64	140.5	17.95	998.7	4.19	0.15	6.97
65-69	232.2	14.24	1,309	2.13	0	3.26
70-74	328.1	10.88	1,414	0.86	0	1.32
75-79	428.7	8.07	1,370	0.24	0	0.37
80-84	470.3	5.85	1,089	0.02	0	0.03

Table 1 (b)

Age	D (Person× 10 ⁻⁵)	T (Year)	N·T (Year×10 ⁻⁵)	ΔM _B (Year)	ΔM _K (Year)	S _x (Year×10 ⁻⁵)
20-24	0	59.41	0	44.41	29.41	380
25-29	0.2	54.51	4.3	39.51	24.51	321
30-34	1.6	49.63	31.4	34.63	19.63	261
35-39	2.3	44.78	40.8	29.78	14.78	203
40-44	7.3	39.98	115.6	24.98	10.40	149
45-49	9.2	35.25	128.4	20.25	6.83	104
50-54	11.5	30.61	139.4	15.61	4.06	67.3
55-59	22.9	26.07	236.4	11.07	2.04	38.9
60-64	35.4	21.66	303.6	6.94	0.74	18.7
65-69	58.6	17.44	404.7	3.87	0.10	7.12
70-74	89.8	13.51	480.4	1.81	0	2.84
75-79	117.2	10.02	465.0	0.63	0	0.99
80-84	143.3	7.14	405.2	0.11	0	0.17

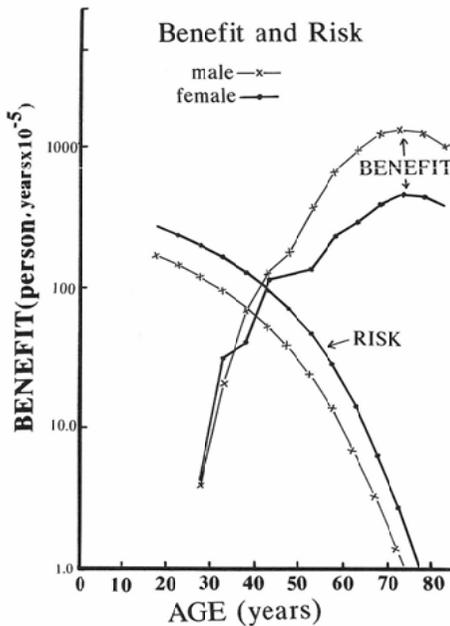


Fig. 1 Change of benefit and risk relationship with age in the case of LSCT screening for lung cancer. Both benefit and risk are given in person-years×10⁻⁵. Risk of women is higher than that of men due to breast cancer incidence. Benefit of women is lower than that of men due to low incidence rate at higher age.

算も行って見た。結果は潜伏期間を同じにすればリスクは相乗的モデルの方が小さくなった。従って Table 1 の結果はよりリスクが大きい方の値をとったものである。

4. 費用効果分析

本節では LSCT が実用になった時の費用効果比を事前に予測する。まず、効果は前節の (1), (2) 式で示した Net の救命数 (N) および救命人・年 (N·T) とする。

次に費用 (Y) は次式で表される⁶⁾。ただし、逐年検診の場合のみを計算する。

$$Y = C_s + r \cdot s \cdot C_D + D_{ij} \cdot f_s \cdot s \cdot f_D \cdot [B_M(1) - (B_0 + C_0)] \dots (4)$$

(4)式で新しく使われている記号は次の通りである。

C_sはスクリーニング検査としてのLSCTのコスト(円)で、これがいくらになるかが最大の問題である。rは要精検率、C_Dはスクリーニング後になされる精密検査のコスト(円)、B_M(1)は逐年検診で発見された肺癌患者の平均治療費(円)、B₀は一般外来の肺癌患者の平均治療費(円)、C₀は一般外来の肺癌患者の平均診断費(円)である。その他は前節で説明した。

(4)式を(1)または(2)式で除すことによって救

命数 (N) または救命人・年 (N・T) 当りの費用が求められる。

$$Y/N = \frac{1}{[W_M(1) - W_0]} \left\{ \frac{C_s + r \cdot s \cdot C_D}{D_{ij} \cdot f_s \cdot s \cdot f_D} + [B(1) - (B_0 + C_0)] \right\} \dots\dots(5)$$

(5)式を平均余命 (T) で除すことによって、Y/N・T が求められる。

(5)式に代入すべき具体的な数値を考えて見よう。最も問題となる LSCT によるスクリーニング検査のコストをいくらに見積もるかであるが、現在の造影 CT 検査のコスト 15,000 円の半分として、 $C_s = 7,500$ 円とした。次に要精検率 (r) は LSCT の場合、どのようになるかわかっていない。r と有病正診率 (f_s) とはトレードオフの関係にあり f_s を増やすと r も増えることが知られていたため、(1)式で $f_s = 0.9$ としたのに対し $r = 0.1$ とした。これは現在の間接 X 線による集検の値の約 5 倍である。集検スクリーニングでは有病率が極めて低いので要精検率が無病誤診率 (FPR) と等しくなることも言及しておく。また、スクリーニング後の精密検査のコスト (C_D) については 15,000 円とした。

(5)式の $B_M(1)$ と B_0 、 C_0 については、絶対値はわからなくとも差額が判明すればよいことが式から明らかである。そこでその差が 100 万円であると仮定した。

以上を整理すると、(5)式に代入すべき数値は次の通りである。

$$\begin{aligned} C_s &= 7,500 \text{円}, r = 0.1, s = 0.8, \\ C_D &= 15,000 \text{円}, W_M(1) = 0.65, W_0 = 0.1, \\ f_s &= 0.9, f_D = 1.0, \\ [B_M(1) - (B_0 + C_0)] &= -10^6 \text{円} \end{aligned}$$

これらの値はいくつかの場合を想定して計算することが簡単にできることに注意して頂きたい。上の数値はあくまで 1 例である。

(5)式に代入して計算を行うと次式を得る。

$$Y/N = \frac{22,000}{D_{ij}} - 1.82 \times 10^6 \text{ (円/人)} \dots\dots(5')$$

$$Y/N \cdot T = \frac{1}{T_{ij}} \left\{ \frac{22,000}{D_{ij}} - 1.82 \times 10^6 \right\} \text{ (円/人・年)} \dots\dots(5'')$$

まず、ハイリスク群の検診を行うことを前提とし、罹患率が 10×10^{-5} から $1,000 \times 10^{-5}$ まで変化し、平均余命が 30 年の集団の場合を計算する。Table 2 にその結果を示す。

救命 1 人当たりのコスト (Y/N) は 218×10^6 円から 0.38×10^6 円へと変化し、人・年当たりのコスト (Y/N・T) は 72.7×10^6 円から 0.13×10^6 円に変わる。リスク利益比が $D = 10 \times 10^{-5}$ でクリヤーするので、費用面からは $D = 50 \times 10^{-5}$ 以上で可能となるのではないかと考えられる。

次に Table 3 (a), (b) には 1985 年現在における罹患率⁹⁾をもとに男・女別、年齢階級別に Y/N, Y/N・T を求めてある。男では 40 歳始めが人・年当たり 100×10^6 円 (1 千万円) 台であるが、70 歳台で

Table 2 Cost per person saved (Y/N) and cost per person・year saved (Y/N・T) as a function of incidence rates of lung cancer and a fixed life expectancy of 30 years. D, T and N・T are explained in Table 1

D (Person $\times 10^{-5}$)	T (Year)	N・T (Person・Year $\times 10^{-5}$)	Y/N (Yen/Person $\times 10^6$)	Y/N・T (Yen/Person・Year $\times 10^6$)
10	30	119	218	72.7
50	30	594	42.2	14.1
100	30	1,188	20.2	6.73
500	30	5,940	2.6	0.86
1,000	30	11,880	0.38	0.13

Table 3 Cost per person saved (Y/N) and cost per person · year saved (Y/N · T) as a function of age.

(a) Japanese men in 1985 and (b) Japanese women in 1985. N · T is explained in Table 1

Table 3 (a)

Age	N · T (Person · Year) $\times 10^{-5}$	Y/N (Yen/Person) $\times 10^6$	Y/N · T (Yen/Person · Year) $\times 10^6$
40-44	106.5	284	81.3
45-49	187.7	139	45.8
50-54	375.2	58.6	22.5
55-59	712.9	24.9	11.4
60-64	998.7	13.8	7.71
65-69	1,309	7.65	5.38
70-74	1,414	4.89	4.49
75-79	1,370	3.31	4.10
80-84	1,089	2.86	4.89

Table 3 (b)

Age	N · T (Person · Year) $\times 10^{-5}$	Y/N (Yen/Person) $\times 10^6$	Y/N · T (Yen/Person · Year) $\times 10^6$
40-44	115.6	300	74.9
45-49	128.4	237	67.3
50-54	139.4	189	61.9
55-59	236.4	94.2	36.2
60-64	303.6	60.3	27.9
65-69	404.7	35.7	20.5
70-74	480.4	22.7	16.8
75-79	465.0	17.0	16.9
80-84	405.2	13.5	19.0

は 4×10^6 円に減少している。

女では40歳台の前半では 100×10^6 円のオーダーであるが、70歳台では 17×10^6 円と男より高い。これは罹患率が高くないためである。

次に2節で述べた予想されるハードウェアのうち最も実現の可能性が大きいスパイラルCTを例としてコスト計算を行って見た。

1) CT システムのコスト

- a) 本体価格 160×10^6 円
 - b) バス組込み 20×10^6 円
 - c) 電源その他 20×10^6 円
- 計 200×10^6 円

償却を6年とすると、年間償却費

34×10^6 円となる。

このCTの稼働率を以下のように見る。1日当たり50人の検査として、年間150日稼働とすると、 $50 \times 150 = 7,500$ 人/年。

従って1人当たりの償却費用 $4,534$ 円/人である。

2) 運営費

- a) フィルムその他 $1,000$ 円/人
 - b) 線管球代 6×10^6 円
- $60,000$ スキャンが可能とすると、 100 円/人。
- c) 人件費 7.5×10^6 円/年 · 人

$$7.5 \times 10^6 / 7,500 = 1,000 \text{ 円/人}$$

以上を合計すると、次のようになる。

$$4,534 + 1,000 + 100 + 105 + 1,000 = 6,739 \text{ 円/人}$$

一応、上で仮定した7,500円/人を下回ることになるが、上の計算では画像診断を行う医師の件数や画像診断のための装置の償却費は入っていない。これらは全て集検システムのコストとして負担する必要はないと思われるが、上記のコストはあくまでも仮の計算であることをお断りしておきたい。

5. 考 察

老健法の肺癌の集団検診で用いられている間接胸部単純撮影に代わって肺癌検診用 CT (LSCT) の導入を提案するのが本論文の目的である。

胸部の単純撮影に比して X 線 CT の早期肺癌の検出率が高いことはその濃度分解能の高さから見て十分予想されるところであり、現在の薄スライスの高分解能の CT と単純撮影の比較を見ても明白である。また、胸部単純 X 線のデジタル画像処理によっても肺癌の検出能はほとんど変化しないという報告もある¹¹⁾。

一方、X 線 CT を肺癌集検の第 1 次スクリーニングに持ち込むためには今のままの性能では不十分であるので、2 節でその基本仕様を提案した。将来的には体軸方向の分解能をあげるためには大型 2 次元 X 線検出器と X 線錐ビームを回転させる 3 次元の高速 CT が考えられる。これには良質な X 線検出器の開発と 3 次元画像再構成アルゴリズムの改良が不可欠となるが、これらはあまり遠くない将来に実現される可能性がある¹²⁾。肺の吸収線量についてはもし肺専用とすれば線量は 1 cGy でいけそうであるという報告があり¹³⁾、今後線量と画質の面からの研究が必要であるが、見通しは明るいと考え、d) で述べた診断支援システムについてはまだ不確定な要素が多いが、最初は極く単純なものから始めて将来は計算機スクリーニングシステムまで進めて行くことがよいと考える。この意味で LSCT の技術的可能性は明るいを見た。

そこでこのような新技術を医療に導入するに当たり、事前に技術のインパクトを評価することを

試みた。このような評価は今までにほとんど行われたことがなかった。事前評価は肺癌集検の数学モデルを利用し、実際に LSCT が投入された場合の X 線被曝によるリスクが集検で生ずる救命という利益とどのような関係にあるかを調べ、もし、利益がリスクを上まわる時には救命がどの位の費用で得られるのかを定量的に求めたものである。事前評価にはこの他にも多くの要素があげられるが、上の 2 つは基本的な条件となるであろう。

上の計算で代入した数値のうち最もクリティカルなものは LSCT による逐年検診によって発見され治療される肺癌患者の 5 年生存率 ((1) 式の $W_M(1)$) で 65% としてある。第 2 は肺の吸収線量 (E_R) を 1 cGy としたこと、第 3 は LSCT のコスト (C_S) を 7,500 円/人としたこと、第 4 は LSCT による肺癌集検の要精検率 (r) を 10% としたこと、第 5 は精密検査のコスト (C_D) を 15,000 円としたことの 5 つである。実際にはこれらの値は試作機を作ってフィールドテストで実証データを得ることで精度が高まっていく。とくにコストは C_S も、 C_D も今後の問題であり、最も大きな難問となる $W_M(1)$ や r の問題についても 1 つの仮定である。 r については 10% としたが、これは現行の肺癌集検の 2% の 5 倍としたものである。また、LSCT を利用する場合でも肺門部の早期肺癌の検出は困難と思われるので喀痰細胞診は現行のまま残す必要がある。

筆者の結果では罹患率 $50 \sim 100 \times 10^{-5}$ 人/年のハイリスクグループを設定すれば LSCT による肺癌集検はリスク利益比は勿論、費用効果の面からも十分妥当なものと考えられ、装置の開発を進めるべきものと考えている。ここで示した費用は逐年検診の場合のみであるが、検診間隔をあげることによって LSCT の場合には費用は下がることが予想される。勿論、LSCT の導入は厳密な評価の下に慎重を行うべきであることは言うまでもない。

最後に救命当たりどの位の費用をかけてもよいかという課題については本論文で解答をだすことはできないが、例えば原子力分野で放射線被曝の低減に使っているコストを見てみると、1 人の

救命当りに数億円の費用をかけていることがわかっている。医療分野での健康を守るための費用はこれよりもはるかに少ないのが現状である。

6. 結 論

肺癌検診用 CT (LSCT) の導入の必要性を論じ、LSCT がもつべき基本的性能を明らかにした。

それは1cm 以下の T₁N₀M₀ の非小細胞肺癌を多く検出することを目的にしたので、呼吸停止下で全肺野を1cm スライスで撮像できる 3次元 CT である。線量は肺専用として1cGy 以下を目標とする。重要なソフトウェアとして医師の読影を補助する計算機支援システムも装備していなければならない。

次に LSCT が肺癌集検の第 1 次スクリーニングに投入された場合の事前評価として集検による救命という利益と X 線被曝によるリスクを比較するリスク利益分析と救命人・年当たりの費用を求める費用効果分析を筆者らの数学モデルを用いて行った。結果は代入する数値によって大きく異なるが、現時点での推定値に基づけば LSCT は罹患率 50~100×10⁻⁵ 人/年のハイリスク群に対して、リスク利益関係をクリアするのは勿論、費用効果比も妥当なものであるという結論を得、LSCT の開発を進めるべきとの確信を得た。

筆者らが用いた数値には大いに御批判のある読者もおられると思うが、そのために数学モデルを提示してあるので、自分の適切な数値を代入して計算して見て頂きたい。また、LSCT が製作された後はパイロット・スタディを実施して、用いられた数値の妥当性を検討しリスク利益と費用効果の再評価を行いつつ慎重に前進すべきものと考え。本論文が今後増え続けるであろう肺癌死亡減少のきっかけとなることがとくに期待される。

本研究は厚生省がん研究助成金佐久間班、河野班によって一部援助されたことを記し、謝意を表す。

文 献

- 1) 田中利彦, 柚田勝彦, 小林洋三, 他: 肺癌の集団検診の見落としと誤診例の検討, 日胸, 43: 832-838, 1984
- 2) 小田純一, 秋田真一, 島田克己, 他: 肺癌集団検診の比較読影段階における見落とし例の検討, 肺癌, 29: 271-278, 1989
- 3) 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 1990 年 10 月, p28-32
- 4) Naruke T, Goya T, Tsuchiya R, et al: Prognosis and survival in resected lung carcinoma based on the new international staging system. J Thorac Cardiovasc Surg 96: 440-447, 1988
- 5) 森田皓三, 不破信和: 非小細胞肺癌における放射線治療の予後因子としての原発巣の大きさ, 肺癌, 30: 231-238, 1990
- 6) 飯沼 武, 館野之男: 癌集団検診評価のための数学モデルの一試案, 癌の臨床, 36: 2427-2433, 1990
- 7) 飯沼 武, 館野之男, 橋詰 雅: 診断用放射線被曝における個人のリスクの定量的評価, 日医放会誌, 40: 476-484, 1980
- 8) United Nations Scientific Committee: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Annex F Radiation Carcinogenesis in Man, 1988 Report, United Nations, New York
- 9) 末舛恵一 監修: 数字でみるがん 90. 総合医学社, 東京, 1990
- 10) 人口問題研究編: 日本の将来推計人口. 厚生統計協会, 東京, 1987
- 11) 徳田 均, 青木昌生, 杉木孝次, 他: 肺野小型肺癌の検出における DIGITAL 処理画像の有効性に関する研究 (2), 私信, 1990
- 12) Kudo H, Saito T: Feasible cone beam scanning methods for exact reconstruction in three-dimensional tomography. J Opt Soc Amer A 7: 2169-2183, 1990
- 13) Naidich DP, Marshall CH, Gribbin C, et al: Low-dose CT of the lungs: Preliminary observations. Radiology 175: 729-731, 1990