

LSCT 肺癌検診における利益リスク分析の再評価

放射線医学総合研究所 飯沼 武

本資料は 2005 年 2 月 11 日、岡山県衛生会館において行なわれた第 12 回胸部 CT 検診研究会大会において発表した演題に追加、訂正を加え、論文としたものであります。

本資料について質問やコメントのある方は we76gfs5@mtg.bi.globe.ne.jp にメールを頂ければ幸いです。また、この論文はご自由に利用して下さい構いません。皆様のご研究の一助となれば幸いです。

[Abstract]

LSCT による肺癌検診は少しずつ、普及しているが、その検診の基礎となる課題は LSCT による被曝のリスクと検診の利益を比較して、利益がリスクを上回ることを保証する利益リスク分析である。筆者らは 1992 年に LSCT 検診を始める段階で、利益リスク分析を行い、予想としては 50 歳以上の男女で、利益がリスクを超えることを明らかにしたが、今回の研究では、最近の新しい線量データと ICRP の LNT モデルを用いたリスクを算出し、利益の方も最新の知見を用いた計算を行い、両者を比較した。その結果、現状では、50 歳以上の男女で利益がリスクを超え、正当化の条件を満足していることを示す。さらに線量の最適化が進めば、40 歳でも正当化の条件をクリアーする可能性があることも明らかにした。

(1)はじめに

近年、わが国の医療被曝と発癌の関連をめぐる問題が大きな話題を呼んでいる。とくに、わが国は放射線を使う検診が盛んな国でもあり、医療被曝の観点から、検診の利益とリスクについて明確なエビデンスを示す必要がある。すなわち、利益がリスクを上回る正当性を定量的に提示することである。

筆者らは 1992 年から、LSCT 肺癌検診の利益と被曝によるリスクの比較を行ってきたが、今回は従来、用いてきたモデルとは異なる ICRP の実効線量を利用するリスク計算を行い、最新のデータを加味した利益と比較することによって再評価を行う。

[]リスクの算出

(1)今回のリスク計算の考え方

筆者らは文献 1)において、LSCT の部位別吸収線量と発癌係数を用いたリスク計算を行い、50 歳以上の男女で利益がリスクを上回ることを明らかにした。

しかし、そのモデルはやや特殊なものであるので、今回の研究では現在の標準的な方法論と思われる ICRP の LNT モデルを用いて計算を試みる。その方法は LSCT の実効線量に対し、年齢別の致死性発癌のリスク係数を乗ずることにより、性・年齢別の余命損失(人年)を計算するものである。

(2)LSCT の実効線量

LSCTの実効線量についてはいくつかの報告がある。

(2-1)まず、西澤ら²⁾は放医研が開発したLSCTによる実効線量を報告している。装置はCT-W950SR(日立メディコ社製)のシングルスライス・ラセンCT(SDCT)で、撮影条件の詳細は文献にゆずるが、管電圧120KV、管電流50mAで、実際の検診の条件と同じである。部位別の吸収線量から計算された実効線量は男性3.64mSv、女性3.61mSvで、男女とも**3.6mSv**としてよい。

(2-2)次に、松本らは下記の条件で測定されたLSCT(SDCT)の実効線量を報告している³⁾。装置と撮影条件は以下の通り；

[1] WR950SR(日立メディコ) 管電圧120KV、管電流25mA、Scan time/slice 2sec
Bed speed 10mm/sec。実効線量:**1.16mSv**。

[2] RADIX(日立メディコ)管電圧120kV、管電流50mA、Scan time/slice 1sec、
Bed speed 20mm/sec。実効線量:**1.20mSv**。

(2-3)第3に、岡本ら⁴⁾は大阪成人病センターに設置されたLSCT(SDCT)について実効線量を測定している。装置と撮影条件は以下の通り；CT-W950SR、管電圧(Nominal)120KV 実効エネルギー49KV、管電流25mA、スライス厚10mm X線管回転速度2秒/回転、テーブル速度10mm/秒 再構成画像ピッチ:10mm 肺尖部から肺底部までの男性30cm、女性26cm。実効線量は男性**1.40mSv**、女性**1.15mSv**。

(2-4)以上のデータはLSCT(SDCT)のものであるが、最近ではマルチスライスCT(MDCT)がLSCTとして利用されている。その一つに丸山らによるMDCTの報告がある⁵⁾。丸山らは同じ文献⁵⁾で、SDCTについても報告している。

[1] MDCT: LightSpeed QX/i (GE Medical Systems)、撮影条件: 管電圧120KV 管電流10mA 検出器幅2.5mm ビーム幅10mm テーブル移動速度7.5mm/回転 回転速度0.8秒/回転 ヘリカルピッチ3 撮影時間 平均26秒 酸素吸入下 肺底から肺尖一回呼吸、被曝線量: CT-DIw=1.02mGy DLP=30.9mGycm

実効線量=**0.43mSv**

[2] SDCT ソニックスキャン(日立) CT 検診車搭載、撮影条件: 管電圧120KV 管電流25mA ビーム幅10mm テーブル移動速度15mm/回転

被曝線量: CT-DIw=0.85mGy DLP=25.6mGycm 実効線量=**0.60mSv**

以上の結果を見ると、実効線量は装置や撮影条件に依存するものの、SDCTでは西澤らの3.6mSvから、丸山らの0.6mSvに分布しており、MDCTは丸山らのデータだけなので、0.43mSvである。そこで、SDCTとして最大値の**3.6mSv**、平均値として**1.2mSv**を使い、MDCTには**0.43mSv**を使う。

(3) 致死的発癌のリスク係数

上で求められた実効線量に対して、致死的発癌の生涯リスク係数を乗ずる。これは下記の文献で与えられている⁶⁾。

(Fatal cancer risk coefficient by age at exposure)

被曝時の年齢(年)	0-20	21-40	41-60	61-80	>80	Workers(18-65)
生涯リスク(%Sv ⁻¹)	11.5	5.5	2.5	1.2	0.2	4.0

このリスク係数には低線量効果係数 DDREF (1/2) は含まれている

(3-1) 死亡率の算出(1) : 3.6mSv の場合

被曝時の年齢(年)を N、致死性的発癌による死亡率(%)を R で示す。

N	21-40	41-60
R	$5.5 \times 3.6E-03 = 19.8E-03$	$2.5 \times 3.6E-03 = 9.0E-03$
N	61-80	>80
R	$1.2 \times 3.6E-03 = 4.3E-03$	$0.2 \times 3.6E-03 = 0.72E-03$

(3-2) 死亡率の算出(2) : 1.2mSv の場合

N	21-40	41-60
R	$5.5 \times 1.2E-03 = 6.6E-03$	$2.5 \times 1.2E-03 = 3.0E-03$
N	61-80	>80
R	$1.2 \times 1.2E-03 = 1.44E-03$	$0.2 \times 1.2E-03 = 0.24E-03$

(3-3) 死亡率の算出(3) : 0.43mSv の場合

N	21-40	41-60
R	$5.5 \times 0.43E-03 = 2.37E-03$	$2.5 \times 0.43E-03 = 1.08E-03$
N	61-80	>80
R	$1.2 \times 0.43E-03 = 0.52E-03$	$0.2 \times 0.43E-03 = 0.086E-03$

(4) 余命損失の計算

平均余命を乗じて、性・年齢別の余命損失を求める。

平均余命は 2004 年の簡易生命表 7) より引用。

余命損失 = 死亡率 * 平均余命 * 1/2 とした。

死亡率は生涯リスクであるため、平均余命の 1/2 が失われるのが妥当であると考えた。

表 1 余命損失 : 3.6mSv の場合

年齢 (歳)	(男性)			(女性)		
	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	余命損失 (人年 E-05)	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	余命損失 (人年 E-05)
30-34	47.31	19.8	468	54.01	19.8	535
35-39	42.52	19.8	421	49.13	19.8	486
40-44	37.79	9.0	170	44.29	9.0	199
45-49	33.18	9.0	149	39.51	9.0	178
50-54	28.70	9.0	129	34.81	9.0	157
55-59	24.44	9.0	110	30.22	9.0	136
60-64	20.38	4.3	43.8	25.70	4.3	55.3
65-69	16.51	4.3	35.5	21.30	4.3	45.8
70-74	13.00	4.3	28.0	17.10	4.3	36.8
75-79	9.90	4.3	21.3	13.19	4.3	28.4
80-84	7.26	0.72	2.61	9.72	0.72	3.50

表 2 余命損失：1.2mSv の場合

(男性)

(女性)

年齢 (歳)	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	余命損失 (人年 E-05)	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	余命損失 (人年 E-05)
30-34	47.31	6.6	156	54.01	6.6	178
35-39	42.52	6.6	140	49.13	6.6	162
40-44	37.79	3.0	56.7	44.29	3.0	66.4
45-49	33.18	3.0	49.8	39.51	3.0	59.3
50-54	28.70	3.0	43.1	34.81	3.0	52.2
55-59	24.44	3.0	36.7	30.22	3.0	45.3
60-64	20.38	1.44	14.7	25.70	1.44	18.5
65-69	16.51	1.44	11.9	21.30	1.44	15.3
70-74	13.00	1.44	9.36	17.10	1.44	12.3
75-79	9.90	1.44	7.13	13.19	1.44	9.50
80-84	7.26	0.24	0.87	9.72	0.24	1.17

表 3 余命損失：0.43mSv の場合

(男性)

(女性)

年齢 (歳)	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	余命損失 (人年 E-05)	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	余命損失 (人年 E-05)
30-34	47.31	2.37	56.1	54.01	2.37	64.0
35-39	42.52	2.37	50.4	49.13	2.37	58.2
40-44	37.79	1.08	20.4	44.29	1.08	23.9
45-49	33.18	1.08	17.9	39.51	1.08	21.3
50-54	28.70	1.08	15.5	34.81	1.08	18.8
55-59	24.44	1.08	13.2	30.22	1.08	16.3
60-64	20.38	0.52	5.30	25.70	0.52	6.68
65-69	16.51	0.52	4.29	21.30	0.52	5.54
70-74	13.00	0.52	3.38	17.10	0.52	4.45
75-79	9.90	0.52	2.57	13.19	0.52	3.43
80-84	7.26	0.086	0.31	9.72	0.086	0.42

表の死亡率は発癌による死亡率で、10万人当りの数である。また、余命の損失はリスクに平均余命を乗じたもので、10万人当りの人年で示した。30歳代と40歳代、50歳代と60歳代で数値が大きく異なるのは不自然であるが、今のところ発癌リスクの値がこの年代で大きく変化するので仕方がない。

死亡率は若年ほど高くなり、男女とも同じ値である。これは実効線量とリスク係数が男女によって変化しないためである。一方、余命損失は男女で

異なり、同じ年齢では女性の方が大きい。平均余命が長いためである。

(5) リスクに関する考察

筆者らは以前、LSCT 検診による被曝のリスクを ICRP の相加モデルのリスク係数を使って求め、検診による利益と比較した [1\)](#)。今回はそれとは別の ICRP の実効線量モデルを利用して、LSCT 検診のリスクの再計算を試みた。

本計算では文献 [2\)](#) で求められた LSCT の実効線量のほか、数種類の CT で求められた線量を使い、これに対して致命的発癌のリスク係数を乗ずることによって余命損失を計算した。また、致命的発癌リスクは生涯リスクであることから、平均余命の半分が失われると仮定した。旧モデルによるリスクと比較すると、今回のモデルによるリスクは男性で大きくなっている。女性の場合も増加はしているが、その程度は男性よりは小さい。それは旧モデルでは女性の相加モデルによる発癌リスク係数が男性よりも高く見積もられているのに対し、新モデルでは実効線量が男女でほとんど変わらないためである。また、新モデルはリスク係数が 40 歳、60 歳、80 歳で急激に変化することになっており、やや不自然ではあるが、もとのデータがそのようになっているので致し方ない。

このリスク計算は LNT 仮説に基づくものであり、低線量域における LNT 仮説の妥当性については議論があるところであるが、世界標準として認められているこの仮説による被曝リスクを求めておくことは必要であると考えられる。

次のステップとしてはこの余命損失を LSCT 検診の利益、すなわち余命延長と直接、比較することである。旧モデルとどの程度一致するか興味のあるところである。

[] 利益の算出

ここでは LSCT の被曝リスクの新しいモデルによる計算に合わせて、利益の再評価を行う。利益は逐年検診モデルを使って求める。ただし、今回は LSCT 発見肺癌に overdiagnosis (OD) 群が含まれるというモデルを利用する。この方が真実に近い可能性が高いからである。その詳細な理論は文献 [8\)](#) に示してあるが、本モデルではある集団が LSCT 検診を逐年で長く受診しており、定常状態になっていることを仮定している。

(1) 利益計算の対象と方法

平均的な日本人男女の 40 - 84 歳の 5 歳年齢階級各 20 万人とし、肺癌罹患率は 1998 年の数値を利用する。この 20 万人の集団が無作為に分けられた 10 万人ずつとし、一方は LSCT 検診を逐年で全員が受診して、5 年以上経過している (CT 群)。他方は検診を全く受診していない (不介入群: 0 群) とする。この両群間の肺癌死亡数の減少を相対リスク (RR) とリスク差 (RD) で表わす。また、リスク差に平均余命 [7\)](#) を乗じて余命延長 (救命人年) を計算する。方法論は筆者が開発した OD 群の存在を考慮した逐年検診定常モデルを用いる。

(2) 理論式

不介入 (0) 群の死亡数: $A_0 = P * D * U_0$ ----- [1]

$$CT \text{ 群の死亡数} : A_s = P * D * U_o + P * D * F_s * S * F_d (U_s - U_o) \text{ ----- [2]}$$

CT 群と 0 群間の相対リスク (RR) :

$$RR = A_s / A_o = 1 - F_s * S * F_d (1 - U_s / U_o) \text{ ----- [3]}$$

CT 群と 0 群間のリスク差 (RD)

$$RD = A_o - A_s = P * D * F_s * S * F_d (U_o - U_s) \text{ ----- [4]}$$

RD を性・年齢階級別に求め、平均余命を乗ずると、余命延長(救命人年)が得られる。救命人年を PY と表わす。

$$PY = RD * T = P * D * F_s * S * F_d (U_o - U_s) * T \text{ ----- [5]}$$

(3) 変数の定義

以下に、上の理論式の変数を定義する。

P: 集団数 D: 罹患率 : 0D 群の割合 1.0

F_s: スクリーニング検査の感度 S: 精密検査受診率 F_d: 精密検査感度

U_s: 検診発見治療群の致命率 U_o: 不介入群の致命率 T: 平均余命

A_s: 検診 (CT) 群の死亡数 A_o: 不介入 (0) 群の死亡数

RR: 相対リスク (A_s/A_o) RD: リスク差 (A_o-A_s) PY: 救命人年 (RD*T)

(4) 変数に代入する数値

まず、モデルの変数に代入する数値は文献 8) のデータを用いる。

(1) 集団数 P: 10 万人 (2) 罹患率 D: 性・年齢階級別に表 4(男)と 5(女)に示す 9)。

(3) 平均余命 T: 性・年齢階級別に表 4(男)と 5(女)に示す 7)。

(4) スクリーニング検査の感度 F_s: CT 群: 95%

(5) 精密検査受診率 S: CT 群: 90%

(6) 精密検査の感度 F_d: CT 群: 95%

(7) 検診群の致命率 U_s: CT 群: 25%

(8) 検診不介入群の致命率 U_o: 0 群: 90%

(9) 0D 群の割合 : 1.20 すなわち、0D 群は 20% 存在すると仮定。

(5) 計算結果

まず、代表例として、60-64 歳男性(各 10 万人)について、計算結果を示す。

不介入群死亡数 [1]式より、A_o=120.9*0.9=108.8 人/年

CT 群死亡数 [2]式より、

$$A_s = 120.9 * 0.9 + 120.9 * 0.95 * 0.90 * 0.95 (1.2 * 0.25 - 0.9) = 49.9 \text{ 人/年}$$

相対リスク (RR) [3]式より、

$$RR = 1 - 0.95 * 0.9 * 0.95 (1 - 1.2 * 0.25 / 0.9) = 0.46$$

リスク差 (RD) [4]式より

$$RD = 120.9 * 0.95 * 0.9 * 0.95 (0.9 - 1.2 * 0.25) = 58.9 \text{ 人/年}$$

救命人年 (PY) [5]式より、PY=58.9*20.38=1200 人年/年

上記の結果のうち、RR は P と D に依存しないので、年齢に関係せず、一定の値となる。また、RD と PY は性・年齢によって異なるので、その結果を男性は表 4 に、女性は表 5 に示す。

表 4 LSCT 肺癌検診の余命延長(救命人年) : (男)

年齢	罹患率	平均余命	リスク差	救命人年
40-44	9.8	37.79	4.78	180.5
45-49	20.4	33.18	9.94	329.9
50-54	34.8	28.70	17.0	486.7
55-59	67.4	24.44	32.8	802.8
60-64	120.9	20.38	58.9	1201
65-69	246.1	16.51	119.9	1980
70-74	397.2	13.00	193.6	2516
75-79	491.0	9.90	239.3	2369
80-84	611.5	7.26	298.0	2164

罹患率：人 E-05 平均余命：年 救命人年：人年 E-05

表5 LSCT 肺癌検診の余命延長(救命人年)：(女)

年齢	罹患率	平均余命	リスク差	救命人年
40-44	5.1	44.29	2.49	110.1
45-49	11.4	39.51	5.56	219.5
50-54	18.4	34.81	8.97	312.1
55-59	32.9	30.22	16.0	484.5
60-64	40.5	25.70	19.7	507.3
65-69	64.5	21.30	31.4	669.5
70-74	88.3	17.10	43.0	732.0
75-79	121.9	13.19	59.4	783.6
80-84	156.5	9.72	76.3	741.3

罹患率：人 E-05 平均余命：年 救命人年：人年 E-05

(6)利益に関する考察

まず、検診群と不介入群間の相対リスク(RR)はこのモデルでは性・年齢に依存しないので、一定となり、RR=0.46であった。大きな死亡率減少効果である。勿論、PとD以外の変数も年齢によって変化することはありえるので、RRが年齢によって変化することは十分に考えられる。

一方、リスク差(RD)と救命人年(PY)は両群間の死亡数の差の絶対値であるから、Dに依存して大きく変化する。RDは40歳から80歳までは年齢とともに、単調に増加するが、PYは75歳代でピークを持ち、その以上では減少することがわかった。これは平均余命が短くなり、罹患率の増加の効果を打ち消すためである。いずれにしても男女とも、年齢とともに利益が増加するのは罹患率が増加するためで、リスクとは逆の関係にある。

[]利益とリスクの比較

最後に目的である利益リスク分析を行なう。検診の利益は前節の余命延長(救命人年)を用い、リスクは余命損失を用いる。これらはいずれも人年/10万人を単位で表しているため、直接、比較できる数値である。

LSCTの実効線量が3.6mSv, 1.2mSvと0.43mSvの3つのケースについて、結果を示す。

表6 利益とリスク：実効線量3.6mSvの場合

年齢	(男)			(女)		
	救命人年	余命損失	利益/リスク	救命人年	余命損失	利益/リスク
40-44	180.5	170	1.06	110.1	199	0.55
45-49	329.9	149	2.21	219.5	178	1.23
50-54	486.7	129	3.77	312.1	157	1.99
55-59	802.8	110	7.30	484.5	136	3.56
60-64	1201	43.8	27.4	507.3	55.3	9.17
65-69	1980	35.5	55.8	669.5	45.8	14.6
70-74	2516	28.0	89.9	732.0	36.8	19.9
75-79	2369	21.3	111	783.6	28.4	27.6
80-84	2164	2.61	829	741.3	3.50	212

表7 利益とリスク：実効線量1.2mSvの場合

年齢	(男)			(女)		
	救命人年	余命損失	利益/リスク	救命人年	余命損失	利益/リスク
40-44	180.5	56.7	3.18	110.1	66.4	1.66
45-49	329.9	49.8	6.62	219.5	59.3	3.70
50-54	486.7	43.1	11.3	312.1	52.2	5.98
55-59	802.8	36.7	21.9	484.5	45.3	10.7
60-64	1201	14.7	81.7	507.3	18.5	27.4
65-69	1980	11.9	166	669.5	15.3	43.8
70-74	2516	9.36	269	732.0	12.3	59.5
75-79	2369	7.13	332	783.6	9.50	82.5
80-84	2164	0.87	2487	741.3	1.17	634

表8 利益とリスク：実効線量0.43mSvの場合

年齢	(男)			(女)		
	救命人年	余命損失	利益/リスク	救命人年	余命損失	利益/リスク
40-44	180.5	20.4	8.85	110.1	23.9	4.61
45-49	329.9	17.9	18.4	219.5	21.3	10.3
50-54	486.7	15.5	31.4	312.1	18.8	16.6
55-59	802.8	13.2	60.8	484.5	16.3	29.7
60-64	1201	5.30	227	507.3	6.68	75.9
65-69	1980	4.29	462	669.5	5.54	121
70-74	2516	3.38	744	732.0	4.45	164
75-79	2369	2.57	922	783.6	3.43	228
80-84	2164	0.31	6980	741.3	0.42	1765

LSCT肺がん検診に関しては利益は年齢とともに増加するのに対し、リスクは年齢とともに減少するので、ある年齢で利益とリスクが交差する可能性がでてくる。今回の計算では、実効線量3.6mSvの場合に40歳代の女性で利益/リスクが1.0を下回り、正当化されない可能性がある。しかし、それ以外の線

量と年齢では利益が大幅にリスクを上回ることが明らかとなった。少なくとも、LSCT 検診を 50 歳以上に限定すれば、正当化の条件は十分に満足する。

さて、リスクに関しては根本的な問題がある。それはこの計算の基礎となっている LNT モデルそのものの信頼性である。LNT モデルでは低線量領域においても発癌のリスクは線量に正比例しているとして計算を行なっているが、この仮定は過大評価の可能性を否定できない。従って、筆者の考えは利益/リスクが 1.0 を越えていれば、医療被曝問題はクリアーしていると解釈している。Brenner らは LNT モデルを用いて、近年、アメリカで行なわれている CT による肺癌検診のリスクを発表している (10)(11)。基本的には筆者の方法論と同じであるが、彼らは検診の利益については全く触れていないので、問題である。医療被曝は利益対リスクで判断されるべきである。

第 2 に、利益の計算に当っては現在多く使われている SDCT の数値を利用しているが、今後は MDCT による数値が得られるようになると、利益が増加する方向に変化するかもしれない。しかも、実効線量は丸山らの文献に見られるように増えないかもしれない。

第 3 に、LSCT 検診の利益として、本研究では肺癌からの救命効果だけを勘定に入れているが、実は肺癌以外の重大な疾患が同じ検査で一緒に検出されることがわかってきた。このような疾患に発見による利益を加えることによって、利益は大きく増加する可能性があることを指摘しておきたい。筆者はこの問題についても研究を進める積りである。

第 4 に ICRP は 2005 年に新しい勧告を発表し、組織加重係数の改訂を行なうとの情報がある。その場合は実効線量の数値が変化するため、改めて計算をやり直す必要があると思われる。

【 】 結 論

LSCT の実効線量 3.6mSv から 0.43mSv の範囲で、検診の利益との比較を行なった。リスクは LNT モデルに基づく発癌による余命損失であらわし、利益は肺癌からの救命による余命延長であらわし、両者の比から利益/リスク比を算出した。3.6mSv の場合、40 歳代の女性で 1.0 を下回り、正当性が満足されないことがわかった。しかし、それ以外の性、年齢では利益がリスクを上回った。現時点では LNT モデルの信頼性に問題があるにしても、このモデルを使った利益リスク分析を実施して、検診の正当性を確かめることが不可欠である。その結果、少なくとも、50 歳を越える男女に対する LSCT 肺癌検診は利益がリスクを大きく上回ると考えられる。また、LSCT では同じ検査の情報から、肺癌以外の疾患も高率に発見されることがわかっており、さらに利益が増えることが予想される。

文 献

- 1) 飯沼 武、館野之男、松本 徹、他：肺癌検診用 CT(LSCT)の基本構想とその事前評価. 日医放会誌 52: 182-190, 1992
- 2) Nishizawa K, Iwai K, Matsumoto T et al. Estimation of the exposure and a risk-benefit analysis for a CT system designed for a lung cancer mass

screening. *Radiation Protection Dosimetry* 1996;67:101-108

- 3) 松本 徹、宮本忠昭、神立 進、吉川京燦他：らせんCT肺癌検診システムの開発評価に関する研究、NIRS-R-48 グループ研究「高度診断機能研究」(平成8-12年度)最終報告書、放射線医学総合研究所：59-65．2002年3月
- 4) 岡本英明、宮崎正義、米田晃敏ほか．CT肺癌検診の被曝線量．日本放射線技術学会誌 2001;57:939-946
- 5) 丸山雄一郎、山本 洋、山口敏之 ほか：MDCTを用いた低線量薄層CTによる胸部検診とCT検診車を用いた低線量CTによる胸部検診の比較検討．胸部CT検診 2002;9(2):116-121
- 6) Efficacy and radiation safety in interventional radiology, World Health Organization 2000, Geneva
- 7) 厚生省の指標 2004年51巻9号 国民衛生の動向 第20表:簡易生命表
- 8) 飯沼 武．CTの肺癌検診は有効か？数学モデルによる評価．臨床放射線 2004；49：361-368
- 9) がんの統計編集委員会:がんの統計(2003)、がん研究振興財団 p.46-47
- 10) Brenner DJ. Radiation risks potentially associated with low-dose CT screening of adult smokers for lung cancer. *Radiology* 2004;231:440-445
- 11) Brenner DJ, Elliston CD. Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology* 2004;232:735-738