

LSCT 肺癌検診における利益リスク分析の再評価

- マルチスライス CT(4 列検出器)の場合 -

Benefit-Risk Analysis for Mass Screening of Lung Cancer by Lung Cancer Screening CT(LSCT) using Multi-slice(4 detector row) CT

放射線医学総合研究所 飯沼 武、松本 徹、宮本忠昭、西澤かな枝、館野之男

[この演題にご質問の方は飯沼 : we76gfs5@mtg.biglobe.ne.jp](mailto:we76gfs5@mtg.biglobe.ne.jp) ご連絡下さい

[Abstract]

LSCT による肺癌検診はシングルスライス CT(SDCT)からマルチスライス CT(MDCT)による検診に変わりつつある。前回の 2005 年の第 12 回胸部 CT 検診研究会で筆者らが報告した利益リスク分析は SDCT を対象としていた。今回は 4 列 MDCT に関する新しい線量が報告されたので、これを用いる LSCT 肺癌検診の利益リスク分析を行った。3 種類の 4 列 MDCT の実効線量は男女とも、1.12、1.41 および 1.72mSv と報告されている。この数値を使って、前回と同じ LNT モデルを用いてリスクを損失余命として算出した。

一方、検診の利益は筆者の癌検診モデルと最新のデータを用いた計算を行い、獲得余命を求め、損失余命と比較した。その結果、4 列 MDCT では 40 歳以上の男女で利益がリスクを超え、適応の条件を満足していることが明らかとなった。今後、肺癌以外の疾患による利益が加わった場合には、さらに利益の増加が見込まれる。

[Abstract]

Multi-slice CT(MDCT) is increased to be employed for lung cancer screening CT(LSCT) in stead of single-slice CT(SDCT) in Japan. We reported the benefit-risk analysis for mass screening of lung cancer using SDCT in 2005. Recently the effective doses of 4 row MDCT are measured by Nishizawa et al. We have re-estimated risk of LSCT using these data. The effective doses are reported to be 1.12, 1.41 and 1.72 mSv for three kinds of 4 row MDCT in LSCT mode. LNT model of radiation risk is used to calculate life-years lost.

On the contrary, benefit of the screening is obtained by using a mathematical model of cancer screening with recent data from literature. It is calculated as life-years saved which are compared with life-years lost. Thus it is found that benefit/risk ratio is over 1.0 from age of 40 years old and more for both men and women. So the justification criteria are satisfied from age of 40 for both men and women. The benefit of the screening is expected to increase, if other diseases than lung cancer are detected simultaneously.

[キーワード] 4 列 MDCT、放射線被曝、実効線量、損失余命、獲得余命

[Key Words] 4 row MDCT, radiation exposure, effective dose, life-years lost, life-years saved

[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適応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。今回は 2005 年の胸部 CT 検診研究会で報告した LSCT 検診(シングルスライス:SDCT)の利益

リスク分析 1) に続いて、最新のマルチスライス CT(MDCT:4 列検出器)を用いる場合のリスク計算を行い、利益と比較する。

[2]方 法

まず、放射線被曝のリスクは文献 1) で利用した ICRP の LNT モデルを用いて計算を試みる。その方法は LSCT の実効線量を求め、それ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・年齢階級別の致死性発癌の生涯リスクを得、それに各性・年齢階級別の平均余命の 1/2 の乗ずることによって**損失余命**を計算するものである。ここで最もクリティカルである MDCT(4 列)の線量については西澤らの文献の数値を利用する 2)。

一方、検診の効果である利益の算出は文献 1) で詳述した筆者の癌検診定常モデルを利用し、性・年齢階級別の肺癌罹患率 3) と平均余命 4) は最新のデータを代入する。利益は性・年齢階級別の**獲得余命**として計算され、最終的に上述のリスクと比較して、利益がリスクを上回る年齢は何歳であるかを明らかにする。計算は 5 歳階級別を実施する。

[3]結 果

[3-1]リスク(損失余命)の算出

[3-1-1]LSCT の実効線量(4 列 MDCT の場合)

今回は 4 列 MDCT の線量を利用する。文献 2) によると、4 列 MDCT の同一機種 3 種類の測定を行なっているが、表 1 の胸部の撮影条件を用いている。

表 1 胸部撮影条件

	条件 1	条件 2
管電圧(kV)	120	120
管電流(mA)	200	30
照射時間(sec/rot)	0.75	0.75
Feed(mm/rot)	20	27.5
全スキャン時間	14.2	11.25
ビーム幅(mm)	16	20
ピッチ	1.25	1.375
使用検出器(mm x 列)	4mm x 4	5mm x 4
撮影範囲(全肺野)	30cm	30cm

これらのうち、条件 1 は通常の精密診断における条件であり、条件 2 は LSCT 検診の診断モードである。この条件の下で、3 機種(A,B,C)について各部位の線量が mGy で測定され、組織係数を用いて実効線量が求められた。

詳しい経過は文献 2) を参照して頂くとして、結果を表 2 と 3 に示す。

表 2 条件 1 による実効線量(mSv)

	機種 A	機種 B	機種 C
実効線量(男)	13.3	11.2	8.99
実効線量(女)	13.3	11.1	8.96

表 3 条件 2 による実効線量(mSv)

	機種 A	機種 B	機種 C
実効線量(男)	1.72	1.41	1.12
実効線量(女)	1.71	1.41	1.12

そこで、以下のリスク計算には表 3 の値を利用する。

[3-1-2] 致死性発癌のリスク係数

上で求められた実効線量に対して、致死性発癌の生涯リスク係数を乗ずる。表4参照。これは下記の文献で与えられている5)。男女共通である。

表4: Fatal cancer risk coefficient by age at exposure (%/Sv)

年齢(年)	0-20	21-40	41-60	61-80	>80
リスク(%/Sv)	11.5	5.5	2.5	1.2	0.2

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。

[3-1-3] 死亡率の算出

致死性発癌により死亡率はリスク係数に実効線量に乗ずることによって求められる。今回は3種の線量のうち、男女共通で最大の1.72mSvと最小の1.12mSvのケースを計算する。対象は年齢30-84歳男女とする。

(a) 1.72mSv の場合

表5に被曝時の年齢(歳)と致死性発癌による死亡率(%)を示す。E-03は 10^{-3} である。

表5 年齢と死亡率(1.72mSvの場合)

年齢	21-40	41-60	61-80	>80
死亡率	9.46E-03	4.3E-03	2.06E-03	0.34E-03

(b) 1.12mSv の場合

結果を表6に示す。

表6 年齢と死亡率(1.12mSvの場合)

年齢	21-40	41-60	61-80	>80
死亡率	6.16E-03	2.8E-03	1.34E-03	0.22E-03

[3-1-4] 損失余命の計算

平均余命を乗じて、性・年齢別の損失余命を求める。平均余命は2005年の簡易生命表4)より引用。損失余命=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。

(a) CTの実効線量1.72mSvの場合

例として、40-44歳男性の損失余命を計算する。この男性の場合、死亡率4.30E-05であり、平均余命は38.04年であるので、 $4.30 \times 38.04 \times 0.5 = 81.8E-05$ (人・年) $=0.30$ (人・日)。すなわち、この男性は平均して、0.30日の余命を失う可能性があることを示す。

30-80歳の性・年齢階級別の結果を表7に示す。

表7 性・年齢別の損失余命：1.72mSvの場合

年齢(歳)	(男性)			(女性)		
	平均余命(年)	死亡率(人E-05)	損失余命(人・日)	平均余命(年)	死亡率(人E-05)	損失余命(人・日)
30-34	47.56	9.46	0.82	54.23	9.46	0.94
35-39	42.77	9.46	0.74	49.35	9.46	0.85
40-44	38.04	4.30	0.30	44.51	4.30	0.35
45-49	33.42	4.30	0.26	39.73	4.30	0.31
50-54	28.93	4.30	0.23	35.03	4.30	0.27
55-59	24.64	4.30	0.19	30.45	4.30	0.24
60-64	20.57	2.06	0.077	25.94	2.06	0.098
65-69	16.69	2.06	0.063	21.54	2.06	0.081

70-74	13.15	2.06	0.049	17.32	2.06	0.065
75-79	10.03	2.06	0.038	13.40	2.06	0.050
80-84	7.40	0.34	0.0050	9.90	0.34	0.0064

(b)1.12mSv の場合 結果を表 8 に示す。

表 8 損失余命：1.12mSv の場合

年齢 (歳)	(男性)			(女性)		
	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	損失余命 (人・日)	平均余命 (年)	死亡率 (人 E-05)	損失余命 (人・日)
30-34	47.56	6.16	0.53	54.23	6.16	0.61
35-39	42.77	6.16	0.48	49.35	6.16	0.55
40-44	38.04	2.80	0.19	44.51	2.80	0.23
45-49	33.42	2.80	0.17	39.73	2.80	0.20
50-54	28.93	2.80	0.15	35.03	2.80	0.18
55-59	24.64	2.80	0.13	30.45	2.80	0.16
60-64	20.57	1.34	0.050	25.94	1.34	0.063
65-69	16.69	1.34	0.041	21.54	1.34	0.053
70-74	13.15	1.34	0.032	17.32	1.34	0.042
75-79	10.03	1.34	0.025	13.40	1.34	0.033
80-84	7.40	0.22	0.0030	9.90	0.22	0.0040

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、損失余命は死亡率に平均余命の1/2を乗じたもので、1人当りの日数(人・日)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、ICRPの発癌リスクの値がこの年代で大きく変化しているためである。

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、損失余命は男女で異なり、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。

[3-1-5] リスクに関する考察

今回は前報 1) と同じ計算法を用いて、4列 MDCT のリスクを計算した。文献 2) による 4列 MDCT の実効線量は前報 1) の SDCT のそれよりもむしろ、低くなっている。本報では3種の MDCT の実測値のうち、最大値と最小値を用いて計算を行なった。従って、結果としての損失余命は小さくなっている。

また、この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、ICRP のもとのデータがそのようになっているためである。

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損失余命を LSCT 検診の利益、すなわち獲得余命と直接、比較することである。

[3-2] 利益(獲得余命)の算出

ここでは4列 MDCT による LSCT 検診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、今回も 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 6) 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。

[3-2-1]利益計算の対象と方法

対象は平均的な日本人男女の30 - 84歳の5歳年齢階級各20万人とし、肺癌罹患率は1999年の数値³⁾を利用する。この20万人の集団が無作為に分けられた各10万人とし、一方はLSCT検診を逐年で全員が受診している、2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)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。リスク差はnetの救命数を表わすので、これを性・年齢階級別に求め、それに対して肺癌からの救出余命とも言うべき値を乗ずることにより、獲得余命を算出する。救出余命は肺癌の場合、当該年齢の平均余命より2年少ないと仮定した。

(a)理論式

不介入群の死亡数： $A_o=P*D*U_o$ ----- [1]

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

CT群と不介入群間の相対リスク(RR)：

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

CT群と不介入群間のリスク差(RD)

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

RDを性・年齢階級別に求め、救出余命を乗ずると、獲得余命が得られる。獲得余命をPYと表わす。

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

(b)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 OD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:救出余命

A_s:検診(CT)群の死亡数 A_o:不介入群の死亡数

RR:相対リスク=A_s/A_o RD:リスク差=A_o-A_s PY:獲得余命=RD*T

(c)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前報¹⁾が主としてSDCTによる成績を参考にしており、MDCTではこの数値が変わる可能性を否定できないが、データがないので、そのまま前報と同じ文献⁶⁾のデータを用いる。ただし、罹患率と平均余命については最新の数値に更新する。

(1)集団数P:10万人(2)罹患率D:性・年齢階級別に表8(男)と9(女)に示す³⁾。

(3)損失余命T:性・年齢階級別に表8(男)と9(女)に示す⁴⁾。これは平均余命-2年である。

(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)CT群の致命率U_s:CT群:25%

(8)不介入群の致命率U_o:不介入群:90%

(9)OD群の割合:1.20すなわち、OD群は20%存在すると仮定。

[3-2-2]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。

罹患率は118.1/10万人、救出余命は18.57年である。

不介入群死亡数 [1]式より、 $A_o=118.1*0.9=106.3$ 人/年

CT群死亡数 [2]式より、

$A_s=118.1*0.9+118.1*0.95*0.90*0.95(1.2*0.25-0.9)=118.1(0.9-0.487)=48.7$ 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

$$RD=118.1*0.95*0.9*0.95(0.9-1.2*0.25)=57.6 \text{ 人/年}$$

獲得余命(PY) [5]式より、 $PY=57.6*18.57=1070E-05(\text{人}\cdot\text{年})=3.90(\text{人}\cdot\text{日})$

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 8 に、女性は表 9 に示す。

表 8 : LSCT 肺癌検診の獲得余命(男)

年齢 (歳)	罹患率 (人 E-05)	救出余命 (年)	リスク差 (人 E-05)	獲得余命 (人・日)
30-34	1.4	45.56	0.68	0.11
35-39	4.0	40.77	1.95	0.29
40-44	10.5	36.04	5.12	0.67
45-49	19.5	31.42	9.50	1.09
50-54	37.2	26.93	18.1	1.78
55-59	68.6	22.64	33.4	2.76
60-64	118.1	18.57	57.6	3.90
65-69	235.3	14.69	114.8	6.16
70-74	398.8	11.15	194.4	7.91
75-79	507.7	8.03	247.4	7.25
80-84	593.1	5.40	289.0	5.70

表 9 : LSCT 肺癌検診の獲得余命(女)

年齢 (歳)	罹患率 (人 E-05)	救出余命 (年)	リスク差 (人 E-05)	獲得余命 (人・日)
30-34	1.4	52.23	0.68	0.13
35-39	2.2	47.35	1.07	0.18
40-44	4.7	42.51	2.29	0.36
45-49	12.1	37.73	5.90	0.81
50-54	18.6	33.03	9.06	1.09
55-59	32.3	28.45	15.7	1.63
60-64	43.0	23.94	21.0	1.84
65-69	64.0	19.54	31.2	2.23
70-74	90.2	15.32	44.0	2.46
75-79	120.2	11.40	58.6	2.44
80-84	150.1	7.90	73.2	2.11

[3-2-3]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、罹患率(D)と救出余命(T)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が、今回は考慮しなかった。

一方、リスク差(RD)と獲得余命(PY)は両群間の死亡数の差の絶対値であるから、D と T

に依存して大きく変化する。RD は 30 歳から 80 歳までは年齢とともに、単調に増加するが、PY は男が 70 歳代、女が 75 歳代でピークを持ち、それ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。男女を比較すると、男性の獲得余命は女性のそれに比して大きい。

[4]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獲得余命を用い、リスクは損失余命を用いる。これらはいずれも人・日を単位で表しているので、直接、比較できる数値である。

LSCT(4 列 MDCT)の実効線量が 1.72mSv と 1.12mSv の 2 つのケースについて、30-84 歳男女における結果を表 10 と表 11 に示す。

表 10：利益とリスク：実効線量 1.72mSv の場合

年齢	(男)			(女)		
	獲得余命	損失余命	利益/リスク	獲得余命	損失余命	利益/リスク
30-34	0.11	0.82	0.13	0.13	0.94	0.14
35-39	0.29	0.74	0.39	0.18	0.85	0.21
40-44	0.67	0.30	2.2	0.36	0.35	1.03
45-49	1.09	0.26	4.2	0.81	0.31	2.6
50-54	1.78	0.23	7.7	1.09	0.27	4.0
55-59	2.76	0.19	14.5	1.63	0.24	6.8
60-64	3.90	0.077	50.6	1.84	0.098	18.8
65-69	6.16	0.063	98.0	2.23	0.081	27.5
70-74	7.91	0.049	161	2.46	0.065	37.8
75-79	7.25	0.038	191	2.44	0.050	48.8
80-84	5.70	0.0050	1140	2.11	0.0064	330

表 11：利益とリスク：実効線量 1.12mSv の場合

年齢	(男)			(女)		
	獲得余命	損失余命	利益/リスク	獲得余命	損失余命	利益/リスク
30-34	0.11	0.53	0.21	0.13	0.61	0.21
35-39	0.29	0.48	0.60	0.18	0.55	0.33
40-44	0.67	0.19	3.5	0.36	0.23	1.6
45-49	1.09	0.17	6.4	0.81	0.20	4.0
50-54	1.78	0.15	11.5	1.09	0.18	6.1
55-59	2.76	0.13	21.2	1.63	0.16	10.2
60-64	3.90	0.050	78.0	1.84	0.063	29.2
65-69	6.16	0.041	150	2.23	0.053	42.1
70-74	7.91	0.032	247	2.46	0.042	58.6
75-79	7.25	0.025	290	2.44	0.033	73.9
80-84	5.70	0.0030	1900	2.11	0.0040	528

LSCT 肺癌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、4 列 MDCT によるスクリーニング検査を想定して利益リスク分析を行っ

た。3機種の実効線量のうち、最大の1.72mSvと最小の1.12mSvを利用した結果では、いずれも30歳男女ではリスクが利益を上回り、正当化されないことが判明した。しかし、1.72mSvの場合でも、40歳以上では男女とも利益/リスク比は1.0を上回ることが示された。

また、利益/リスク比を見ると、60歳以上の高齢者では男性が女性に比して大きい。それは両者の罹患率の差によると考えられる。

前報¹⁾のSDCTの場合と比較しても、今回の結果は実効線量が低下しているため、利益/リスク比は改善しており、MDCTになったからといって線量が問題になることはないことが明らかとなった。

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⁷⁾⁸⁾。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。また、最近のイタリアの文献⁹⁾では、始めてCT検診の利益リスク分析を行っている。そこでは喫煙者では利益/リスク比が1.0を上回るものの、平均的な人では上回らないという。ただし、この結果は使ったデータが全く異なるため、日本のケースには当てはまらない。

第2に、利益の計算に当っては文献¹⁾と同じ、SDCTの結果を使っている。MDCTに変更されることにより、検査の精度は向上すると予想されるが、まだ、利用できる数値がないため、同じ値を使ったが、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。

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。このような疾患の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2007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。

第5に最近の研究によると、GEの64列MDCTとCT-AEC(Automatic Exposure Control)との併用により、1mSvで肺癌検診のスクリーニング検査を行なえるという報告もあり、MDCTの登場によって被曝線量が増加することはないと考えられる。

[5] 結 論

本研究ではLSCTとして使われている4列マルチスライスCT(MDCT)の実効線量を利用した肺癌検診の利益リスク分析を行った。方法は文献¹⁾で発表したと同様に、リスクはLNTモデルに基づく発癌による損失余命であらわし、利益は肺癌からの救命による獲得余命であらわし、両者の比から利益/リスク比を算出した。

実効線量は文献²⁾より、最大1.72mSv、最小1.12mSvを使った。その結果、1.72mSvの場合で、最もクリティカルである40歳代女性でも利益/リスク比は1.0を上回り、適応性が確保された。それ以上の年齢では男女とも利益がリスクを大幅に上回った。ただし、30歳代では男女とも1.0を下回り、非適応となることがわかった。

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、検診の適応性を確かめることが不可欠である。その結果、少なくとも、40歳を越える男女に対する4列MDCTによる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：LSCT 肺癌検診における利益リスク分析の再評価
<http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=296>
- 2) 西澤かな枝、和田真一、岡本英明、伊藤茂樹、津田雪裕、花井耕造、松本政雄、中村正義、松本 徹：MDCT による胸部検診時の受診者の線量測定 .CT 検診.2006;13:39-40,2006
- 3) がんの統計編集委員会：がんの統計(2005)、がん研究振興財団 p.46-47
- 4) 厚生省の指標 2005 年 52 巻 9 号 国民衛生の動向 第 20 表:簡易生命表
- 5) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP . 1991,21(1-3)(ICRP Publication 60)
- 6) 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
- 7) Brenner DJ. Radiation risks potentially associated with low-dose CT screening of adult smokers for lung cancer. Radiology 2004;231:440-445
- 8) Brenner DJ, Elliston CD. Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. Radiology 2004;232:735-738
- 9) Mario Mascalchi, Giacomo Belli, Maroco Zappa, Giulia Piccozzi et al: Risk-Benefit Analysis of X-ray Exposure Associated with Lung Cancer Screening in the Italung-CT Trial. AJR 2006;187:421-429