

# がん検診における放射線安全の担保 - 低被曝 CT 肺癌検診を中心に -

放射線医学総合研究所名誉研究員 飯沼 武(医学物理士)

## 1. 問題の背景

福島原発の事故 - 放射線への国民の関心高まる  
医療被曝における放射線防護 - 線量限度なし  
とくに健康人を対象とする健診における放射線被曝

## 2. 目的

低被曝 CT 検診における正当性の証明  
検診の利益 > 放射線被曝のリスク  
検診の基礎を構成する重要な概念

## 3. 方法

CT スクリーニング検査における放射線被曝  
LNT 仮説に基づく致死的発癌による損失余命  
検診による肺癌からの救命と獲得余命  
獲得余命と損失余命の比較 ; 1.0 を超えるか ?

## 4. 胸部 CT の撮影条件 西澤らによる

4 列 MDCT の胸部の条件

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

条件 1 : 精密診断 条件 2 : CT 検診の低被曝モード

## 5. 実効線量の測定 西澤らによる

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

## 6. ICRP による致死発癌のリスク係数

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。

男女間の差はない

## 7. 死亡率の算出

低被曝モードに限る

### (a) 1.72mSv の場合

表 5 に被曝時年齢(歳)と致死発癌による死亡率(%). 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

## 8. リスク(損失余命)の計算-1

損失余命=死亡率 \* 平均余命 \* 1/2 生涯リスクのため平均余命の 1/2

表 6 性・年齢別の損失余命 : 1.72mSv の場合

(男性)

(女性)

年齢(歳)	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	48.16	9.46	0.83	54.68	9.46	0.95
35-39	43.35	9.46	0.75	49.80	9.46	0.86
40-44	38.60	4.30	0.30	44.96	4.30	0.35
45-49	33.94	4.30	0.27	40.18	4.30	0.32
50-54	29.42	4.30	0.23	35.47	4.30	0.28
55-59	25.08	4.30	0.20	30.84	4.30	0.24
60-64	20.96	2.06	0.079	26.32	2.06	0.099
65-69	17.07	2.06	0.064	21.88	2.06	0.082
70-74	13.41	2.06	0.050	17.61	2.06	0.066
75-79	10.17	2.06	0.038	13.63	2.06	0.051
80-84	7.48	0.34	0.0050	10.06	0.34	0.0062

## 9. リスク(損失余命)に関する考察

死亡率は 10 万人当たりの数値

損失余命は 1 人当たりの失われる日数

LNT による致命的発癌リスク係数：生涯リスク

40 歳、60 歳、80 歳でリスク係数が大きく変化

## 10. 利益(獲得余命)の算出

罹患数モデルによる新しい方法論を利用する

不介入群の肺癌死亡数 日本人男女 30-84 歳 5 歳階級別 10 万人

性・年齢階級別肺癌罹患率\*10 万人\*不介入群早期肺癌割合\*早期肺癌死亡率 +  
性・年齢階級別肺癌罹患率\*10 万人\*不介入群進行肺癌割合\*進行肺癌死亡率

CT 検診群の肺癌死亡数 対象は不介入群と同じ

性・年齢階級別肺癌罹患率\*10 万人\*CT 検診群早期肺癌割合\*早期肺癌死亡率 +  
性・年齢階級別肺癌罹患率\*10 万人\*CT 検診群進行肺癌割合\*進行肺癌死亡率

ただし、CT 検診群早期肺癌割合と進行肺癌割合は検診間隔によって変化

## 11. 救命数と獲得余命

救命数：性・年齢階級別不介入群肺癌死亡数-同 CT 検診群肺癌死亡数

獲得余命：性・年齢階級別救命数 \* 同平均余命

相対リスク(RR):CT 検診群肺癌死亡数/不介入群肺癌死亡数

## 12. 数式に代入する数値

肺癌罹患率は 2005 年の数値 3) を利用し、平均余命は 2008 年の数値 4) を利用する。

(1)不介入群集団数(性・年齢 5 歳階級別)：10 万人

(2)CT 検診群集団数(性・年齢 5 歳階級別)：10 万人

(3)肺癌罹患率(性・年齢 5 歳階級別) 2005 年の数値 3) 表 7 に男女別に示す。

(4)平均余命(性・年齢 5 歳階級別) 2008 年の数値 4) 表 7 に男女別に示す。

(5)不介入群早期肺癌割合：20% (6)不介入群進行肺癌割合：80%

(7)早期肺癌死亡率：30% (8)進行肺癌死亡率：90%

(9)CT 検診群早期肺癌割合：85% (10)CT 検診群進行肺癌割合：15%

## 13. 計算の一例

日本人男性 60 64 歳の例に計算してみる。

不介入群の肺癌死亡数=145.6\*0.2\*0.3+145.6\*0.8\*0.9=8.7+104.8=113.5 人

CT 検診群の肺癌死亡数=145.6\*0.85\*0.3+145.6\*0.15\*0.9=37.1+19.7=56.8 人

救命数=113.5-56.8=56.7 人/10 万人 相対リスク(RR)=56.8/113.5=0.50

獲得余命=20.96\*(113.5-56.8)=20.96\*56.7=1188 人・年/10 万人=4.34 人・日

## 14. 肺癌罹患率と平均余命

表 7 : 肺癌罹患率と平均余命(男・女)

年齢 (歳)	罹患率(男) (人 E-05)	平均余命(男) (年)	罹患率(女) (人 E-05)	平均余命(女) (年)
30-34	1.4	48.16	1.9	54.68
35-39	4.7	43.35	1.7	49.80
40-44	9.5	38.60	6.5	44.96
45-49	20.7	33.94	11.6	40.18
50-54	43.1	29.42	22.2	35.47
55-59	80.4	25.08	42.2	30.84
60-64	145.6	20.96	61.2	26.32
65-69	208.6	17.07	77.7	21.88
70-74	364.5	13.41	107.6	17.61
75-79	560.5	10.17	138.3	13.63
80-84	634.3	7.48	156.1	10.06

## 15. 利益(獲得余命)の算出

上記の計算式より、性・年齢 5 歳階級別の獲得余命を求める。

表 8: 救命数と獲得余命(男・女)

年齢 (歳)	救命数(男) (人 E-05)	獲得余命(男) (人・日)	救命数(女) (人 E-05)	獲得余命(女) (人・日)
30-34	0.55	0.097	0.74	0.15
35-39	1.83	0.29	0.66	0.12
40-44	3.71	0.52	2.54	0.42
45-49	8.07	1.00	4.52	0.66
50-54	16.8	1.80	8.66	1.12
55-59	31.4	2.87	16.5	1.86
60-64	56.8	4.35	23.9	2.30
65-69	81.1	5.05	30.3	2.42
70-74	142.2	6.96	42.0	2.70
75-79	218.6	8.11	53.9	2.68
80-84	247.4	6.75	60.9	2.24

## 16. 利益(獲得余命)に関する考察

相対リスク(RR):CT 検診群/不介入群=0.50

救命数:男女とも年齢とともに増加、罹患率の影響

獲得余命:年齢とともに増加 男 75 歳 女 70 歳ピーク

男性の方が女性よりも獲得余命が大きい

## 17.利益とリスクの比較

利益リスク比：獲得余命/損失余命

表9：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	0.097	0.83	0.12	0.15	0.95	0.16
35-39	0.29	0.75	0.39	0.12	0.86	0.14
40-44	0.52	0.30	1.7	0.42	0.35	1.2
45-49	1.00	0.27	3.7	0.66	0.32	2.1
50-54	1.80	0.23	7.8	1.12	0.28	4.0
55-59	2.87	0.20	14.4	1.86	0.24	7.8
60-64	4.35	0.079	55.1	2.30	0.099	23.2
65-69	5.05	0.064	78.9	2.42	0.082	29.5
70-74	6.96	0.050	139	2.70	0.066	40.9
75-79	8.11	0.038	213	2.68	0.051	52.5
80-84	6.75	0.0050	1350	2.24	0.0062	361

## 18.利益リスクに関する考察

利益(獲得余命)は年齢とともに増加、リスク(損失余命)は低下する年齢で、利益とリスクが交差する。

4列 MDCT の低被曝モード；1.72mSv を利用。

40歳以上：利益リスク比は1.0を超える。

それ以下の年齢では正当化されない。

利益リスク比：60歳以上では男性>女性

## 19.今後の課題

LNT 仮説の信頼性：過大評価の可能性を否定できない。

獲得余命の算出におけるデータの信頼性：年齢、喫煙歴など

肺癌以外の重大な疾患の寄与；心疾患、内臓脂肪など

技術の進歩に伴うCTの線量の低下：CTAEC など

## 20.結論

4列 MDCT の低被曝モードにおける利益リスク分析

リスクはLNT 仮説に基づく損失余命

利益は罹患数モデルに基づく獲得余命

利益リスク比：獲得余命/損失余命 > 1.0

逐年検診では40歳男女で1.0を超え、正当化が達成。

今後、各施設に特化した利益リスク分析の必要性

検診間隔、実効線量、集団特性(性別、喫煙歴など)

肺癌以外の重大な疾患による寄与