

診断用放射線被曝線量測定の意義

加藤 一生 梶間 敏男

広島県立保健福祉大学放射線学科

2003年9月10日受付

2003年12月3日受理

抄 録

診断用 x 線装置と撮影法については最近、目覚ましい技術的発展が見られる。技術的発展がどのように被曝線量の低減化に寄与しているか検証するために、広島と長崎の1991年以前の診療用放射線被曝線量推定値を最近報告されている推定値と比較した。比較は主にCT検査と一般撮影について行った。最近の全国的な調査・研究で報告された被曝線量平均値は類似の検査における1991年以前の広島・長崎における推定値とほぼ同じであった。そのことは、最近の技術的発展が被曝線量の低減化の実現に結びついていないことを示唆していると思われる。全ての施設で診療用被曝線量を最新の技術で可能な必要最小限な量にまで下げるには、診療用放射線の危険性について広く理解されること、そして診療放射線技師による定期的な被曝線量測定と公表が多くの施設で行われることが必要である。

キーワード：診断用放射線, CT, CR, 医療被曝線量, リスク

1 はじめに

戦後、診断用放射線装置は急速に普及し多くの診断に貢献してきた。人類はその誕生の時から少しずつ自然からの放射線を受けている。x線検査装置の普及は、人類が自然放射線とは比較にならないほど高い線量率で放射線に被曝する環境にいることを意味している。そのことによって医療上の大きな利益があることは明らかだが、どのような不利益があるのかについては不明な点も多い。他の放射線と同様に診断用放射線がどのように危険であるかを知る上で、広島と長崎の原爆放射線被曝線量と癌発生率などの疫学データは重要な役割を果たすと考えられる。しかし、広島と長崎において記録されている癌の中には診断用放射線被曝線量によるものも含まれている。それを差し引くことによって推定される発癌リスクが増えるのか減るのかはわからない。一般に、1検査あたりの診断用放射線被曝線量は原爆放射線と比べて少ない。しかし、その蓄積線量は原爆遠距離被曝線量と比べて無視できるほど小さくはない¹⁾。さらに、たとえば広島における一般撮影と透視検査の一人当たりの頻度は戦後急速に増加してきており、全国平均の増加傾向とは明らかに異なる増加傾向を示してきた^{2,3,4)}。治療用放射線だけでなく診断用放射線による安定型染色体異常の増加も明らかとなっている^{5,6)}。これらのことから考えて、原爆放射線の人体影響の研究において診断用放射線の寄与に関する広島と長崎の調査・研究の重要性は明らかである。現在、放射線が発癌および癌死の増加をもたらすことは明らかであるが、放射線の発ガンあるいは癌死のリスクに関する精度の高い結果を得るには長年にわたる診断用放射線被曝蓄積線量を記録していくことが必要である^{7,8)}。

コンピュータ断層撮影(CT)検査装置が急速に普及しはじめた1980年代前半までの広島・長崎における診断用放射線被曝における被曝線量は、それまでの実験的に推定された被曝線量データを用いて推定できる^{1,9,10)}。どのような検査を受けたのかは、放射線影響研究所の成人健康調査において詳細に調査・記録されている^{1,9,10)}。しかし、診断用放射線機器の性能は近年急激に変化している。もし機器の性能変化に伴って、1検査あたりの被曝線量が大きく変わるのであれば、(主として)広島と長崎でどのような機器が近年普及してきたか調査・記録しておくことが必要である。また、健康な若者に対しても広く使われる診断用放射線機器は将来における癌発生率の増加や遺伝的障害の増加を引き起こさないように慎重に使用されることが望まれる。診断用放射線機器の性能は著しく変化している。それによって被曝線量がどのように変化しているのか、どうすれば被曝線量を下げることができ

るのか、さらなる研究が必要であると思われる。今日まで、たくさんの研究が診断用放射線機器による被曝線量に関して行われている。それらの結果のうち主にCT検査と一般撮影について、診断用放射線機器の技術的な変化がどのように被曝線量の変化をもたらしているか検討し問題点を考察したので、その内容を以下に述べる。

2 最近の診断用放射線装置の技術的変化と被曝線量

2-1 CT検査

近年のCTに関する技術的変化は顕著である。CTの検査数はその高速検査が可能になった1980年代に急激に増えている¹⁾。1990年代に通常のCT装置から連続して螺旋階段状に検査していくSingle Slice Spiral-CT (SSSCT)に、そして、複数列のx線検出器を備えたMulti detector-row CT (MDRCT)が現れている。MDRCTは高速検査を可能にしているため、特に被検者の検査時の負担を減らすと同時に体動による誤った画像情報を得る可能性を減らす効果がある。MDRCTのように大量の画像情報が高速に処理できるようになった背景には、計算機技術の飛躍的な向上がある。

胸部、全腹部、上腹部のCT検査による被曝線量を表1に示す。実効線量は表中の“通常のCT”による被曝線量が測定されている臓器・組織に合わせるように、国際放射線防護委員会(ICRP)の1990年勧告における組織荷重係数の一部を修正して計算した¹¹⁾。実効線量とは臓器・組織別に評価した放射線照射のリスクを重み(組織荷重係数)として平均線量を求めたものである。使用した組織荷重係数を表1に示す。MDRCTならびにSSSCTにおいてICRPの1990年勧告における組織荷重係数に従って求められた実効線量は表の組織荷重係数を用いた結果とほぼ同じである^{12,13)}。なお、臓器別吸収線量は単位質量あたりに放射線から与えられたエネルギーであり、その単位には[Gy]を用いている。一方、実効線量は放射線の種類等によってきまる放射線防護上の重要性を加味した量であり、その単位に[Sv]を用いている。ただし、ここではICRPの1990年勧告に従って診断用x線の場合の1[Gy]は1[Sv]に相当するものとした¹¹⁾。

SSSCTもMDRCTも同じ種類の装置の中の型式による被曝線量の違いが大きい。たとえば、Nishizawaらは胸部MDRCT検査からの線量を求めるために3つの型式の異なるMDRCT装置を用いているが、その実効線量の標準偏差は7.8[mSv]とかなり大きい¹³⁾。一方、胸部CT検査における表1に示した3種類のCT装置による実効線量のばらつきは少なく、その標準偏差を求めると2.9[mSv]であった。Nishizawaらの用いた3

台のMDRCT装置による胸部CT検査においてスキャン面積はどれもほぼ同じであるが、もっとも高い実効線量（女性で27.3mSv）を示した装置においてヘリカルピッチは他よりも小さく、ビーム幅は逆に他よりも大きい¹³⁾。このことから、撮影条件を調整すればCTからの過剰に大きな被曝線量は避けられると思われる。

1991年以前の英国におけるCT検査に関して、胸部ルーチンで8.33[mSv]、腹部ルーチンで7.16[mSv]、骨盤ルーチンで7.26[mSv]の実効線量が報告されている。(Shrimpton P.C., et al. 1987, 1991: 参考文献14に引用された値を引用。実効線量の計算はICRPの1990年組織荷重係数による) これらと比較して、MDRCT検査による実効線量はかなり大きい。特に、胸部CT検査からの実効線量の平均値が英国の場合の2倍近くであることは注目に値する。1989年の日本人100万人あたりのCT装置数は45台であるが、これは1997年のギリシャの15台の3倍、1997年の英国の6台の7倍以上である¹⁵⁾。(ギリシャ以外の100万人あたりの台数も参考文献15に引用された値を引用)すでに述べたように、1979年から1992年にかけて広島と長崎でもCT検査数は急増していたと思われる¹⁾。ヘルスケアレベルの高い国々の中でも日本におけるCT普及率は飛びぬけて高いと思われる。

2-2 透視検査

透視検査における被曝線量は一般に大きい。特にCT-透視検査では、たとえば、最大表面線量で1.9[Gy]が報告されている¹⁹⁾。しかし、こうした透視は具体的な治療の必要性がある場合にのみ行われるもので、通常健康診断などを目的とした検査とは異

なる。一般に通常の透視検査装置の一部ではDigital Radiography (DR)が利用されるようになり、被曝線量の低減が可能になったと思われる。しかし、透視検査における被曝線量は診断の目的、透視時間ならびに画像の鮮明さと複雑に関係している。今後、幅広く調べなければDR装置の線量低減効果について明確なことは言えない。Katoらの報告によると、上部胃腸管検査における透視時間は1.3分から5.5分と大きくばらついていた¹⁰⁾。実際の検査では、もっと長時間になる場合もあるだろう。したがって、透視検査からの被曝線量の推定はかなり大きな誤差を見込むことが必要である。

3 診断用放射線の危険性

現在のところ放射線がどれだけ人体にとって危険であるのかを正確に推定することは難しい。しかし、将来十分な放射線リスクの研究の成果が得られるまで医療放射線を利用しないということではできない。かなり大きな不確定さがあるにしても、安全のためには診断用放射線被曝の危険性を評価しておくことが必要である。ICRPによる推定癌死リスクは、1977年の125癌死/(10⁴人・Sv)から1990年の500癌死/(10⁴人・Sv)へと変化した¹¹⁾。一方、Pierceらは1950年から1990年までの主として原爆被爆者からなる寿命調査参加者(60%の人の放射線被曝線量が0.005Sv以上)における癌死亡データの解析から、30歳での放射線被曝による生涯リスクを女性の全固形癌について1,400癌死/(10⁴人・Sv)、男性の全固形癌について1,000癌死/(10⁴人・Sv)と推定している⁸⁾。10歳の

表1 CT検査による臓器・組織別被曝線量 (mGy)と実効線量 (mSv)

	検査部位	胸部			全腹部		上腹部		組織荷重 係数
		CTの種類	通常のCT [§]	SSSCT ⁺	MDRCT [#]	通常のCT [§]	MDRCT [#]	通常のCT [§]	
被曝線量 (mGy)	活性骨髄	7.28	7.54	10.79	10.32	18.45	5.56	5.76	0.13
	結腸	0.83	0.87	10.15	38.14	33.23	5.39	19.96	0.12
	肺	42.97	25.93	28.60	6.66	4.58	6.99	3.42	0.17
	胃	5.32	9.60	30.03	42.06	33.33	35.33	30.73	0.17
	乳房	48.09	23.76	28.99	2.96	13.32	2.97	2.89	0.05
	甲状腺	6.67	6.31	34.59	0.40	0.44	0.47	0.29	0.05
	皮膚*	6.76	3.22	6.26	11.74	7.07	4.73	2.83	0.01
	その他**	4.60	7.94	7.97	35.20	21.12	13.72	16.42	0.05
女性における実効線量(mSv)		12.27	9.09	16.29	22.60	19.59	9.58	10.20	

§ ドイツSiemens社 Somatic Model DRH-CT装置¹⁰⁾

+ SSSCT: Single slice spiral-CT¹²⁾

MDRCT: Multi detector-row CT¹³⁾

* 通常のCTにおける、直接線があたる部分の割合は西澤、他^{12,13)}と同じ値を用いた。

** 通常のCTにおける、“その他”には胸部の場合、唾液腺の被曝線量を、腹部の場合は生殖腺線量、結腸線量ならびに胃線量の平均値を用いた。

女性について4通りの方法で推定された全癌のリスクは1300-2500癌死/ (10⁴人・Sv) である⁸⁾。たとえば、10万人が実効線量0.1[mSv]を受けた場合、癌死に関する生涯リスクを2,500癌死/ (10⁴人・Sv) と仮定すれば、そのことによる過剰癌死者数は2.5人と推定される。癌死以外の放射線影響、たとえば遺伝的影響などに関わるリスクの推定は困難である。ICRPの1990年勧告による公衆の線量限度は1年あたり1[mSv]である¹¹⁾。診断用放射線被曝は、被曝する個人が得る医療上の利益があるから、こうした線量限度と単純に比較することはできない。しかし、被曝による不利益について検討する上では参考になるかもしれない。その場合も診断用放射線被曝における線量率は一般に極めて高いことなどを注意深く考慮した上で比較する必要がある。

直接、診断用放射線の影響を調べた結果も報告されつつある。たとえば、1930年から1956年の間にマサチューセッツで結核の治療を受けた1742人における乳房線量と乳癌発生の関係は詳しく調べられている²⁰⁾。治療のために頻りに胸部透視検査を受けた1,044人の累積乳房線量の平均値は0.96[Gy]と推定されている²⁰⁾。1980年までの調査結果から得られた過剰発生率は5.5乳癌発生/ (10⁴人年・Gy) である²⁰⁾。これは、乳癌のみの年間発生率であり前述の全癌の生涯リスクではない。原爆被爆者における乳癌発生の過剰絶対リスクは6.7乳癌発生/ (10⁴人年・Gy) である⁷⁾。その95%信頼区間は4.9-8.7乳癌発生/(10⁴人年・Gy)であり、マサチューセッツの透視検査による乳癌過剰発生率の結果とほぼ一致している。どちらも、被曝時年齢が20歳未満できわめて高いリスクが見られている^{7,29)}。

診断用放射線はその検査に従事する人たちの健康を害する危険性も考えて慎重に扱うことが必要である。中国において1950年から1980年に雇用された27,011人の診療放射線作業従事者の発癌を調べた研究では、白血病発生率の相対リスク (25,782人の放射線を扱わない同じ病院の医療従事者における発生率に基づいて予想される値との比) は3.46、そして白血病以外の全癌発生率の相対リスクは1.38といずれも有意に1より大きいことが報告されている²¹⁾。特に、診断用放射線に関わる仕事を始めたのが20歳未満のグループにおける白血病発生率の相対リスクは9.55、20-24歳グループで5.81、25-29歳グループで2.61であり、30歳未満で医療放射線を扱う仕事についているグループで高い²¹⁾。ここで、診療放射線作業従事者はMedical diagnostic x-ray workersのことであり、radiologistsとtechniciansの両方を意味している。

日本においても、1968年から1975年の間に免許申請した12,195名の診療放射線技師に関する研究において白血病リスクの増加を示唆する結果がでていますが、

主な放射線被曝は十分な放射線防護体制が整えられていなかった初期の頃に起きたと考えられる²²⁾。現在では、低線量被曝の蓄積の危険性は認識されており、わずかな線量でも業務上の被曝がないように心がけている限り診療放射線技師の通常の業務によって白血病リスクが増加することは考えにくい。一方、前述のCT透視を伴う肺生検 (パイオプシー) , 等に従事する医師の被曝線量はきわめて大きい。たとえば、患者に近い右手の甲の平均線量が10.9 mGy/分であったという報告がある¹⁹⁾。1回の透視時間を10分とすれば、わずか10回の肺生検で右手の甲の被曝蓄積線量は1Gyに達する。そうした透視によって被検者と医師が将来深刻な放射線影響を受けないように私たちは最大限の努力を払わなければならない。

4 まとめ

1990年代のCT検査装置と一般撮影装置にかかわる技術的な大きな変化によって、検査を受けた人の被曝線量の平均値はほとんど変わっていないと思われる。しかし、頻りに行われる背腹方向胸部直接撮影の1995年調査の結果に見られるように、類似の検査でも施設によって大きく被曝線量が異なる。このことは、どのような検査を受けたのかという質問に対する回答だけから推定する被曝線量の誤差がかなり大きいことを意味している。広島と長崎における最近の診断用放射線被曝線量を推定するには、装置の型式だけでなく撮影条件に関する調査が必要であり、できれば入射表面線量の実測が望まれる。

日本以外のたとえば、オランダの25施設における背腹方向胸部直接撮影による入射表面線量は75%で0.13[mGy]以下であり、最大値でも0.21[mGy]である²³⁾。この研究では胸部模型と線量計を使って研究者らが直接線量測定しているため、調査に参加している施設では比較的注意深く撮影条件を整えているのかも知れない。オランダでも広範囲に調べるともっと大きな被曝線量の施設があるのかもしれない。しかし、逆にこのことは被曝線量が測定されるだけでも1995年の日本全国の調査で見られるような背腹方向胸部直接撮影による入射表面線量推定値が10[mGy]を超えるようなことはなくなる可能性を示唆している。もし、多くの施設で被曝線量を測定しその結果を一般に公開するようになれば状況は大きく変わるに違いない。診断用放射線の被曝線量は、異常の見落としを避けるための画質の向上だけを目指せばどんどん増えてくる。すべての施設で、検査の必要性をチェックし、検査による被曝を現在の技術において必要最小限と考えられる量にとどめるための活動をする必要がある。そのために診療放射線に関わる科学的事柄を深く学んでいる

表2 一般撮影による入射表面線量(mGy)

装置	S/F-1 [#]	S/F-2 [§]	CR ⁺	最大値 (日本) [♪]	平均値 (日本) [♪]
頭部 (腹背方向)	1.83	2.23	1.96	12.9	2.28
胸部 (背腹方向)	0.14	0.17	0.20	11.6	0.22
腰椎 (腹背方向)	3.00	3.59	2.29	25.8	3.59
腰椎 (側面)	14.9	10.9	9.3	64	12.8
骨盤 (腹背方向)	3.26	2.33	2.28	37.3	2.48

1991年以前, 増感紙フィルムシステム (Kato, K., et al., 1991) ⁹⁾

§ 1997年, 増感紙フィルムシステム (鈴木昇一, ほか, 1999) ¹⁷⁾

+ 1997年, CRシステム (鈴木昇一, ほか, 1999) ¹⁷⁾

♪ 1995年, 全国調査 (森剛彦, ほか, 2000) ¹⁸⁾

診療放射線技師が果たす役割は大きい。被検者の一人として、すべての施設で検査による過剰な被曝がなくなることを願う。

医療被曝による不利益がどれほどのものかは、いずれ疫学的調査・研究によって明らかになるだろう。日本における1人当たりの医療被曝線量は世界平均の約6倍であり、医療被曝大国「日本」と呼ばれる状況である^{14,24)}。その負の側面、特に遺伝上の不利益を可能な限り避けるために多くの研究が急いでなされなければならない。

参考文献

1) Kato, K., Russell, W. J. and Kodama, K.: Medical radiation exposures of atomic bomb survivors. In "Effects of Ionizing Radiation - Atomic bomb survivors and their children (1945-1995)" (edited by Peterson, L. E. and Abrahamson, S.), Washington, D.C., Joseph Henry Press, 51-72, 1998

2) Sawada, S., Wakabayashi, T., et al.: Radiological practice since the atomic bombs, Hiroshima and Nagasaki, 1945-1963. Am. J. Public Health, 61:2455-2468, 1971

3) Sawada, S., Fujita, S., et al.: Radiological practice in Hiroshima and Nagasaki trends from 1964 to 1970. Am. J. Public Health, 65:622-633, 1975

4) Takeshita, K., Kihara, T. and Sawada, S.: Medical and dental radiological trends in Japan. Nippon Acta. Radiol., 38:682-696, 1978

5) Kato, K. and Sawada, S.: Medical X-ray doses' contributions to the ionizing radiation exposure of atomic-bomb survivors. J. Rad. Res. Supple. 32: 136-153, 1991

6) Kato, K., Antoku, S., et al.: Organ doses from radiation therapy in atomic bomb survivors. Rad. Res., 155: 785-795, 2001

7) Thompson, D. E., Mabuch, K., et al.: Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid Tumors, 1958-1987. Rad. Res., 137: S17-S67, 1994

8) Pierce, D. A., Shimizu, Y., et al.: Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990. Rad. Res., 146:1-27, 1996

9) Kato, K., Antoku, S., et al.: Organ doses received by atomic bomb survivors during radiological examinations at the Radiation Effects Research Foundation. British J. Radiol., 64: 720-727, 1991

10) Kato, K., Antoku, S., et al.: Organ doses received by atomic bomb survivors during photofluorography, fluoroscopy and computed tomography. British J. Radiol., 64: 728-733, 1991

11) 日本アイソトープ協会 (翻訳). 国際放射線防護委員会の1990年勧告. 東京, 丸善, 1991

12) 西澤かなえ, 丸山隆司ほか. CT検査による被検者の被曝線量. 日本医放会誌, 55: 763-768, 1995

13) Nishizawa, K., Matsumoto, M., et al.: Dose evaluation and effective dose estimation from multi detector CT. 医学物理, 22:152-158, 2002

14) 放射線医学総合研究所 (監訳). 放射線の線源と影響-原子放射線の影響に関する国連科学委員会の総会に対する1993年報告書. 東京, 実業広報社, 305-305, 1995

15) Perris, A., Hourdakakis, C., et al.: Examination frequencies and patient doses from computed tomography examinations in the area of Athens, Greece. Health Phys., 77: 192-195, 1999

16) 森剛彦, 武藤裕衣. 胸部撮影におけるCRシステムおよび増感紙フィルムシステムの入射表面線量の検討と撮影条件の解析. 日本医放会誌, 60: 863-867, 2000

17) 鈴木昇一, 藤井茂久ほか. わが国におけるX線撮影時の患者被ばく線量解析. -過去23年間の推移に

- ついて. 日本放射線技師会雑誌, 46:382-393, 1999
- 18) 森剛彦, 武藤裕衣ほか. x線診断撮影条件の調査に基づく被曝線量とわが国におけるガイダンスレベルの提案. 日本医放会誌, 60: 389-395, 2000
 - 19) Nishizawa, K., Uruma, T, et al.: Dose evaluation and effective dose estimation from CT fluoroscopy-guided lung biopsy. 医学物理, 21: 233-244, 2001
 - 20) Hrubec, Z., Boice, J. D., et al.: Breast cancer after multiple chest fluoroscopies: Second follow-up of Massachusetts women with tuberculosis. Cancer Research, 49:229-234, 1989
 - 21) Wang, J. X., Boice, J. D., et al.: Cancer among medical diagnostic x-ray workers in China. J. Natl. Cancer Inst., 80:344-350, 1988
 - 22) Yoshinaga, S., Aoyama, T., et al.: Cancer mortality among radiological technologists in Japan: Updated analysis of follow-up data from 1969 to 1993. J. Epidemiol., 9: 61-72, 1999
 - 23) Van Soldt, R.T.M., Zweers, D., et al.: Survey of posteroanterior chest radiography in the Netherlands: patient dose and image quality. Br. J. Radiol., 76: 398-405, 2003
 - 24) 菊池 透. 医療被曝低減への挑戦Ⅱ, 1.低減目標への提言.日本放射線技術学会雑誌, 51: 1681-1684, 1995

Importance of Measuring Diagnostic Radiation Dose

Kazuo KATO Toshio KAJIMA

Department of Radiological Sciences, Hiroshima Prefectural College of Health Sciences

Abstract

Recently, several significant technical developments have been made in diagnostic x-ray equipment and radiography. In order to examine how technical developments have contributed to the reduction of radiation doses received by patients, estimated diagnostic x-ray doses for examinations before 1991 were compared with recent estimates. The comparisons were mainly focused on CT examinations and general radiography. X-ray doses shown by recent national surveys are scarcely different from previous x-ray doses. The results of the comparisons suggest that recent technical developments have not reduced the average radiation doses to examinees. It is desirable that the diagnostic x-ray doses in all institutions be reduced to the lowest levels possible using modern techniques. This can be achieved if the risks of diagnostic radiation are widely recognized, and if radiological technicians in a large number of institutions would periodically measure and publish radiation doses from major diagnostic x-ray examinations.

Key words : diagnostic radiation, CT, CR, medical radiation dose, risk