



Title	CT検査による被検者の被曝線量
Author(s)	西澤, かな枝; 丸山, 隆司; 高山, 誠 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1995, 55(11), p. 763-768
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19809
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

CT検査による被検者の被曝線量

西澤かな枝¹⁾ 丸山 隆司²⁾ 高山 誠³⁾
岩井 一男⁴⁾ 古屋 儀郎³⁾

1) 放射線医学総合研究所安全解析 2) 同養成訓練部
3) 杏林大学医学部放射線医学教室 4) 日本大学歯学部放射線学教室

Estimation of Effective Dose from CT Examination

Kanae Nishizawa¹⁾, Takashi Maruyama²⁾,
Makoto Takayama³⁾, Kazuo Iwai⁴⁾ and Yoshiro Furuya³⁾

Tissue or organ doses related to radiological risk were determined for four different types of CT scanners with a spiral scan function. Dose measurements were performed using a Rando phantom and two types of thermoluminescent dosimeters. The effective doses recommended by the International Commission on Radiological Protection in 1990 were evaluated using the tissue or organ doses determined with the phantom measurement. The resultant effective dose per CT examination ranged from 4.6 to 10.8 mSv for chest examination and from 6.7 to 13.3 mSv for upper abdominal examination. It should be noted that the effective dose from CT examination will be increased by increasing in the frequency of CT examinations and technical development of CT scanners.

Research Code No. : 302.1

Key words : Medical exposure, CT, Effective dose

Received May 25, 1994 ; revision accepted Jul. 27, 1994

- 1) Safety Analysis Unit, National Institute of Radiological Sciences
- 2) Training School, National Institute of Radiological Sciences
- 3) Department of Radiology, Kyorin University, School of Medicine
- 4) Department of Radiology, Nihon University, School of Dentistry

はじめに

コンピュータ断層撮影(以下CTと略す)は装置の改良, X線管のheat unitの増大, コンピュータの発達などにより, その普及は著しく, もはや一つの医療機関に複数設置も珍しくない状態になっている. 特に最近の機種は螺旋スキャンがほとんど標準装備となっており, 1993年8月までにおよそ370台が導入された¹⁾. そのため, CT検査の機会が増すとともに, 1回の検査当たりのスキャン数は, たとえば胸部検査は1979年の調査時には平均15.6スキャンであったものが, 1988年の調査²⁾では平均26.5スキャンにもなった. 最近ではおよそ30スキャンを超過する例もあり, 増加傾向にある.

筆者らは以前にCT検査による被検者の被曝線量³⁾と国民線量の評価⁴⁾を行ったが, 今回はCT検査による被検者の被曝線量を螺旋スキャン機能を持つ4機種について, 螺旋スキャンの対象となることの多い胸部および上腹部の検査について測定した. また, 国連科学委員会の電離放射線の線源と影響に関する1993年報告書⁵⁾では被曝線量評価の方法の一つとして集団実効線量を導入している. そこで, 種々の放射線によるリスク比較の基礎資料としてICRP60⁶⁾で提唱されている実効線量を算定した.

装 置

1. CT装置

測定に用いたCT装置は東芝メディカル製TCT-900S, X-force, 日立メデイコ製CT-W2000, シーメンス製Somatom Plusの4機種である. これらはいずれも螺旋スキャン機能が装備されている. 被曝線量に関する装置の主な性能をTable 1に示した.

今回測定したCT装置はすべて管電圧120kVの仕様で行った. 実効エネルギーは装置の幾何学的な問題により, 直接測定することは困難であったため, 総濾過などの情報が得られた装置について, 他のX線装置を用いて推定したところ, 約50keVであった. しかし, CT装置にはボウタイフィルター等特殊な形のフィルターが用いられることが多く, 位置により実効エネルギーは大きく異なることが予想され

る。一方メーカーの公称値では70keV前後とされることが多い。

2. ファントム・線量測定器

被検者の臓器・組織線量の測定には患者を模して、米国アンダーソン社製ランドファントム(身長163cm, 体重53kg)を用いた。ICRP60により組織荷重係数(W_T)が与えられている組織臓器および、その他の臓器として、胸腺, 脾, 腎, 副腎, 子宮および直腸を選択した。それらの位置は使用したランドファントムのX線写真および透視像から決定した。

線量測定にはナショナルUD-170A, 110S(直径2mm, 長さ12mmのガラス封入型)の2種類の熱ルミネッセンス線量計(TLD)を用いた。UD-170AはBeO素子で、感度はよくないがエネルギー依存性は比較的小さく、50keVから70keVのX線に対し、約5%の変動である。UD-170Aは利用線錐内のファントム表面および内部の測定に用いた。UD-110SはCaSO₄素子で感度が高いがエネルギー依存性も高い。50keVから70keV程度のX線に対してもエネルギー特性は約30%の変動がある。UD-110Sは線量が少ないと予想されるファントム内部の利用線錐以外の部分の測定に用いた。これらの素子はMixDpファントムを用いて直接線および散乱線について、電子技術総合研究所で校正された電離箱式線量計と比較校正した。素子間のバラツキは7%以内のものを使用した。

Table 1 Characteristics of CT Scanners

Scanner	A	B	C	D
Tube voltage (kV)	80, 120, 137	120, 140	120	100, 120, 130
Tube current (mA)	70~320	50~300	55~200	50~290
Focus size (mm×mm)	0.8×0.9 1.3×1.2	0.9×0.9 1.5×1.0	0.9×0.9 1.5×1.0	0.6×0.75 1.0×1.5
Heat unit (HU)	3.5	3.5	2	2
Detector	Xe	CdWO ₄	Xe	Xe
Focus-Detector Distance (mm)	1135	1066.2	1050	1080
Focus-Center Distance (mm)	700	685	685	606
Fan beam angle (°)	42.6	60.0	49.0	46.6

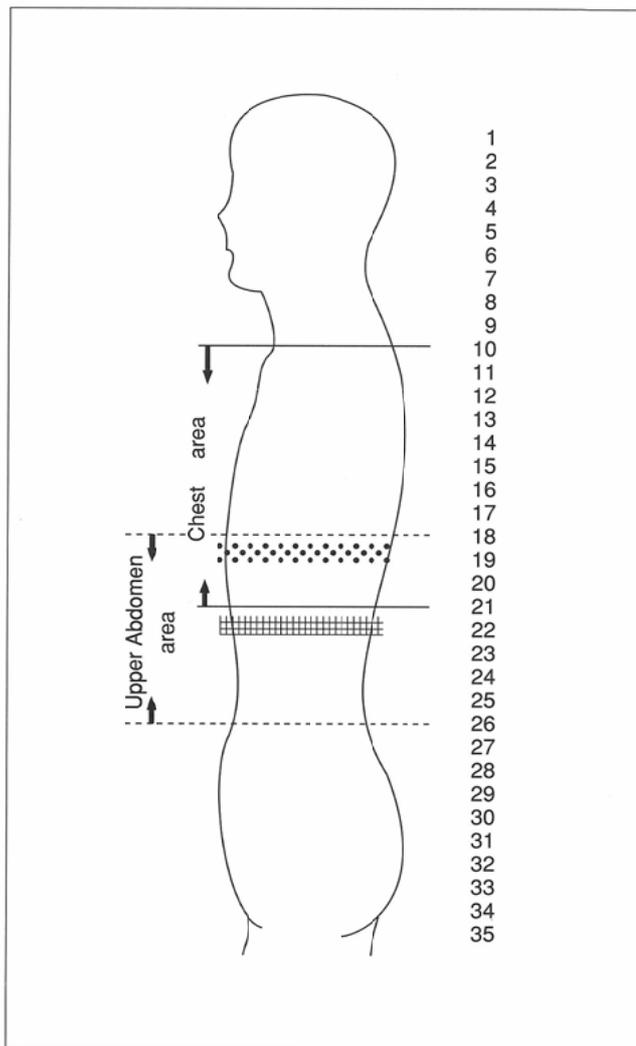


Fig.1 Scanning Area (the part of No.19 with dots is measuring area at chest examination and the part of No.22 with cross stripes is meaning area at upper abdomen examination)

方 法

1. 臓器・組織の線量測定

測定には各装置が実際に使用されている条件またはメーカー推奨の条件で行った。各部位のスキャン数は次のようにすべての装置について統一した。

(1)胸部

全肺野をカバーするため、剣状突起より2.5cm下方から頭頂方向へ10mm幅ビームで27スキャン、スキャン間隔は10mmとした。

(2)上腹部

剣状突起より5cm上方から脚方向へ10mm幅ビームで20スキャン、スキャン間隔は10mmとした。

スキャン位置および測定した臓器組織の位置をFig.1に示した。通常スキャン、螺旋スキャンとも同様の位置を照射した。螺旋スキャンの場合、上記のスキャン間隔10mmはベッド移動速度10mm/1secとした。

骨髄線量の推定には次式を用いた。

$$D = (\sum m_r d_r) / M \dots (1)$$

Mは全身の赤色骨髄量, m_r は測定したr番目の位置の赤色骨

髄量, d_r はr番目の赤色骨髄の線量を示す。骨表面での線量測定は困難であるため骨髄線量計算に用いたと同じ位置の線量を用いて計算した。骨肉腫に対するリスクが骨ミネラルの量に比例すると仮定して、全身の骨ミネラルの分布に従って重みづけをし、(1)式と同様に計算した。赤色骨髄、骨ミネラルの重量分布をTable 2に示した。成人の全身赤色

Table 2 Red Bone Marrow and Mineralized Bone Distributions (Weight and Fraction) after Reference *Miyagawa⁶⁾ and **Tanaka⁷⁾

Bone	Red bone marrow Weight*	Fraction	Mineralized bone Weight**	Fraction
Skull	55.6g	0.072	663.0g	0.179
Mandible	3.7	0.005		
Clavicle	5.6	0.007	44.0	0.012
Scapulae	16.7	0.022	113.0	0.031
Sternum	20.6	0.027	18.5	0.005
Cervical vertebrae	22.2	0.029	51.5	0.014
Thoracic vertebrae	101.0	0.132	156.5	0.042
Lumbar vertebrae	85.6	0.112	128.0	0.035
Sacral vertebrae	65.8	0.086	72.5	0.020
Ribs	104.5	0.136	368.5	0.073
Ilium	170.2	0.222	317.0	0.085
Femur	87.1	0.144	676.0	0.185
Patella			24.5	0.007
Tibia			383.5	0.104
Fibula			90.0	0.024
Feet			198.0	0.053
Humerus	27.9	0.036	237.0	0.064
Radius			75.0	0.020
Ulna			94.0	0.025
Hand			89.5	0.024
Total	766.5g	1.000	3700.0g	1.000

Table 3 The Values of Tissue Weighting Factor (W_T) Recommended by ICRP 60 and Number of Measured Points (or TLD chips)

Tissue or organ	W _T	Number of TLD chips	
Gonads	0.20	Male 4 Female 6	
Bone marrow (red)	0.12	69	
Colon	0.12	5	
Lung	0.12	6	
Stomach	0.12	3	
Bladder	0.05	1	
Breast	0.05	6	
Liver	0.05	5	
Oesophagus	0.05	3	
Thyroid	0.05	3	
Skin	0.01	120	
Bone surface	0.01	(69)	
Remainder	0.05		

	Male	Female	
Kidney	0.0083	0.0071	2
Pancreas	0.0083	0.0071	1
Spleen	0.0083	0.0071	1
Thymus	0.0083	0.0071	1
Uterus		0.0071	1
Adrenals	0.0083	0.0071	2
Rectum	0.0083	0.0071	1

骨髄量は766.5g⁷⁾, 骨ミネラル量は3700g⁸⁾とした。

同時に種々の臓器組織線量による実効線量 E を計算したが、これはICRP60により次式で定義されている。

$$E = \sum W_T \cdot H_T \cdot \dots \cdot (2)$$

ここでW_Tは放射線照射の影響による損害の総計に対するその臓器・組織Tの相対的寄与を表す組織荷重係数で、ICRP60に示されている値を用いた。この値をTable 3に示す。H_Tは臓器・組織Tの等価線量である。また等価線量の計算の場合の放射線荷重係数W_RはX線であるため1とした。Golikov⁹⁾らは臓器の平均線量を求めるに当たり、ランドファントムの各プレート(以下ランドセクションという)の3×3cmの格子上的測定ホールを利用して、その臓器の占めるすべてのランドセクションで測定することになっているがこの場合かなりの量のTLD素子を必要とし、また時間的にも臨床に用いている装置で測定する際は難しいことも多い。そこで、臓器における線量分布の推定のため直接線内の横断面と体軸方向の線量をプロットして検討した。1例としてFig.2に肺を含む位置、Fig.3に頸から腰まで等間隔で測定した椎骨の線量を示した。これらにより、直接線内より体軸方向の測定器の数を多くした方が効率的であると判断した。各臓器組織に用いた測定器の数をTable 3に示した。

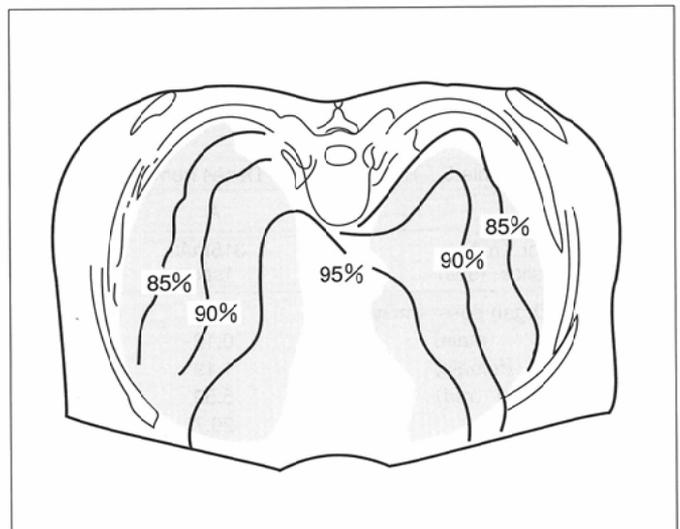


Fig.2 Relative Dose Distribution by Chest Examinations at a Part Including the Lung

2. 皮膚線量

CT検査による皮膚線量は極端に細いX線ビームによる走査であるため測定位置により異なる。体幹部の通常スキャンでは公称管球回転角度が360°であっても体動補正のため

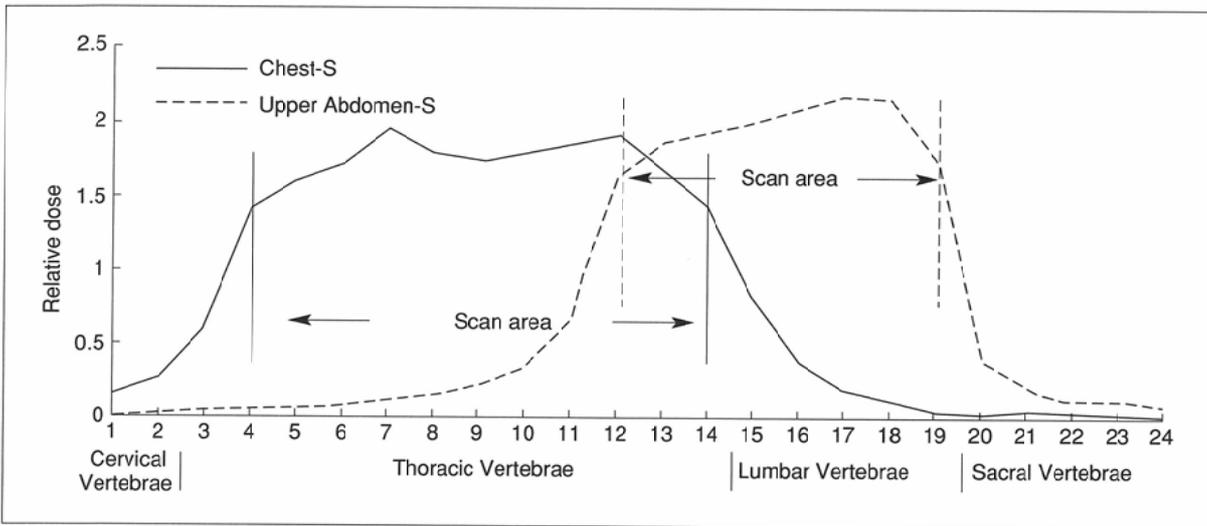


Fig.3 Relative Dose Distribution at the Vertebrae by Chest and Upper Abdomen Examinations

Table 4 Tissue or Organ Doses from Chest Examination (Normal scan) by Type of CT Scanner

Scanner	A	B	C	D	Mean
Tube current (mA)	210mA	150mA	200mA	200mA	
Scan time/slice (sec)	1sec	1sec	1.5sec	1sec	
Tissue or Organ dose (mGy)					
Gonads (male)	0.03	0.02	0.10	0.03	0.04
(female)	0.12	0.07	0.22	0.10	0.13
Bone marrow (red)	5.31	5.90	12.12	6.82	7.54
Colon	0.77	0.52	1.44	0.74	0.87
Lung	17.22	23.8	39.1	23.6	25.9
Stomach	8.08	4.50	16.14	9.69	9.60
Bladder	0.12	0.06	0.29	0.09	0.14
Breast	17.75	16.19	37.7	23.4	23.8
Liver	8.58	5.43	18.35	10.70	10.76
Oesophagus	16.06	22.9	37.3	21.9	24.5
Thyroid	4.45	4.14	11.25	5.38	6.31
Bone surface	12.87	13.49	28.6	16.45	17.85
Skin	2.98	2.27	4.67	2.95	3.22
Remainder (Mean)	5.08	5.47	13.26	7.93	7.94
Effective dose Male (mSv)	6.57	7.09	14.62	8.63	9.23
Female	6.55	7.05	14.54	8.58	9.18

Table 5 Tissue or Organ Doses from Upper Abdomen Examination (Normal scan) by Type of CT Scanner

Scanner	A	B	C	D	Mean
Tube current (mA)	315mA	150mA	200mA	200mA	
Scan time/slice (sec)	1sec	1sec	1.5sec	1sec	
Tissue or Organ dose (mGy)					
Gonads (male)	0.13	0.05	0.17	0.07	0.10
(female)	1.19	0.62	1.50	0.68	1.00
Bone marrow (red)	5.50	3.93	8.95	4.65	5.76
Colon	20.7	14.19	28.2	16.74	19.95
Lung	3.21	2.22	5.35	2.88	3.42
Stomach	30.0	24.0	41.5	27.4	30.7
Bladder	1.09	0.68	1.53	0.71	1.00
Breast	2.93	1.67	4.66	2.28	2.89
Liver	29.3	22.8	44.4	26.5	30.8
Oesophagus	7.80	6.49	13.54	8.36	9.05
Thyroid	0.32	0.16	0.42	0.24	0.28
Bone surface	10.21	7.06	16.53	8.81	10.65
Skin	3.40	1.86	3.83	2.24	2.83
Remainder (Mean)	15.45	12.20	24.5	13.53	16.42
Effective dose Male (mSv)	10.25	7.71	14.95	9.01	10.48
Female	10.34	7.73	15.02	9.02	10.53

10° 程度余分に回転照射するようプログラミングされていることが多い。このため部分により表面の線量はさらに異なる。したがって、表面線量は測定するランドセクションの周囲の等間隔の 8 点に TLD を添付し、測定した。TLD はビームと平行に隙間なく 1 点 15 本を並べて用いた。これにより 1 点当たり約 3cm (3 スライス) がカバーされる。これらの平均を表面線量とした。

実効線量の評価の際、皮膚での線量に対し ICRP60 では W_T に 0.01 を与えている。人体の表面積は約 $1.5\text{m}^2 \sim 1.6\text{m}^2$ と言われている¹⁰⁾。ランドファントムをいくつかの楕円柱、楕円錐に模して表面積を推定計算したところ約 1.51m^2 となった。このうち直接線により照射される位置は胸部検査でおよそ 0.22m^2 、上腹部検査でおよそ 0.16m^2 で、全体の 14.2%、および 10.5% であった。直接線の当たらない位置の皮膚の線量は 0 と仮定し、皮膚癌の発生の確率は被曝面積に比例するという ICRP60 Annex B の仮定により、ファントム表面での照射野内の線量の平均値に 0.142, 0.105 と重みづけをし、実効線量計算のための皮膚線量とした。

測定結果

胸部、上腹部の通常方法によるスキャン時の臓器・組織線量の測定結果をおおの Table 4, 5 に示した。吸収線量変換係数は X 線の実効エネルギー 60keV の値¹¹⁾を用い、軟組織に 0.939、コンパクトボーンに対し 2.94 とした。各表に使用された管電流と走査時間および (2) 式により算出した実効線量を示した。同様の位置を螺旋スキャンで行った場合の実効線量を Table 6 に示した。通常と螺旋スキャンでは管球等の装置は変わらず、使用条件のみの変化であるから、通常スキャンの場合とあまり大きな違いはない。しかし、管球の回転角度の違いが多少反映されていると思われる。

水晶体の線量を Table 7 に示した。またファントムの平均表面線量および最大の線量を Table 8 に示した。

考 察

1. 組織・臓器線量

組織・臓器線量は同様の位置をスキャンしたにもかかわらず、装置によりかなり異なっていた。しかし、これらを 100mAs 当たりで比較してみると 50% 程度の違いであった。CT 装置の撮像ま

でのハード面では性能はほとんど大差はなく、映像に関する処理方法やコンピュータなどにより機種間の差が拡大されるものと思われる。

螺旋スキャン時の被曝線量に関しては、間断なく X 線を照射するため線量が多いと考えられたり、一方では短時間にスキャンが終わるため被曝線量は少なくなると考えられているが、結論は通常スキャンの場合と同様の条件で使用すれば、被曝線量は通常スキャンと同程度である。したがって、使用方法により、たとえば高速であること、1 回呼吸停止下で広範囲のスキャンが可能であること、見かけ上のスライス数を多くすることが可能であることなどの利点を利用し、全肺野を低い mAs で走査すれば、館野ら¹²⁾が提唱するように肺癌の集団検診に利用することも被曝線量の面からは可能性もある。また一方、たとえば短時間に 1 度に全体像の観察が可能であること、患部が特定されていなくてもダイナミックスキャンが可能であること等により、不必要

Table 6 Effective Doses from Chest Examination and Upper Abdomen Examination by Spiral Scans

Scanner		A	B	C	D	Mean
Chest examination	Tube current (mA)	210mA	100mA	150mA	200mA	
	Scan time/slice (sec)	1sec	1sec	1.5sec	1sec	
	Effective dose Male (mSv)	6.04	4.58	10.81	9.03	7.62
	Effective dose Female (mSv)	6.02	4.55	10.75	8.97	7.57
Upper abdomen examination	Tube current (mA)	210mA	150mA	200mA	200mA	
	Scan time/slice (sec)	1sec	1sec	1.5sec	1sec	
	Effective dose Male (mSv)	6.36	6.71	13.19	8.77	8.76
	Effective dose Female (mSv)	6.41	6.74	13.27	8.78	8.80

Table 7 Eyes Doses from Chest and Upper Abdomen CT Examination, in mGy

Examined Site	Scanner Method	A	B	C	D	Mean
Chest	Normal	0.28	0.19	0.42	0.27	0.29
Upper Abdomen	Normal	0.07	0.03	0.07	0.04	0.05
Chest	Spiral	-*	0.12	0.31	0.26	0.23
Upper Abdomen	Spiral	0.05	0.03	0.06	0.04	0.04

* - : not measured

Table 8 Surface Doses from Chest and Upper Abdomen CT Examination, in mGy

Scanner Site	A	B	C	D	Mean	A	B	C	D	Mean
Method	Chest, Normal					Upper Abdomen, Normal				
Maximum	25.7	19.7	37.5	25.9	27.2	38.9	24.2	38.4	25.7	31.8
Mean	21.0	16.0	32.8	20.8	22.7	32.4	17.7	36.5	21.3	27.0
Method	Chest, Spiral					Upper Abdomen, Spiral				
Maximum	23.7	12.4	26.4	23.3	21.5	24.2	17.4	31.5	27.6	25.2
Mean	19.7	9.2	21.9	20.2	17.8	20.0	14.1	33.4	22.4	22.5

に広範囲をスキャンするようなことがあれば、線量はかなり大きなものになる。

2. 実効線量評価

他の放射線源からの被曝との比較のために極めて便利な値として、実効線量が使われている。われわれはCTによる被曝線量に着目して検査時の被検者の実効線量当量(ICRP26の定義による)を調べてきた³⁾。以前の評価では胸部検査(16スキャン)の平均的な実効線量当量はおよそ6.8mSv、上腹部検査(13スキャン)ではおよそ3.7mSvであった。今回のICRP60による実効線量は平均で胸部(27スキャン)、上腹部(20スキャン)それぞれおよそ9.2mSv、10.5mSvであった。用いている W_T の違いは当然あるが、スキャン範囲の増加が最も影響しているものと思われる。今回われわれが用いたスキャン範囲は胸部の場合、全肺野検査の例をとったため、以前より広くしたのであるが、上腹部の場合は各CT装置が設置されている病院で最も多い範囲とした。CTの走査性の向上を反映してかなり広がっているものと思われる。ちなみに今回の臓器組織線量の測定結果にICRP26の W_T を用いて実効線量当量を評価してみたところ4機種で、胸部検査、上腹部検査時それぞれ15.7mSv、10.7mSvとなった。実効線量当量の場合、「残りの臓器」は線量の多い順に5臓器選ぶとなっていたが、実効線量で推薦されている「残りの臓器」は腹部に多い。そのため、腹部の場合には大差ないが、腹部から遠い部位の評価では違いが大きくなるものと思われる。国連科学委員会の'93年報告書⁹⁾では実効線量当量と実効線量の差は平均でおよそ7%としているが、われわれの経験ではCTではもっと大きいと思われる。

コンベンショナルな胸部検査による実効線量当量は1検査当たり平均1.3枚の撮影でおよそ0.05mSv、また、胃の検査では平均11.5枚の撮影で2.67mSvと評価されている¹³⁾。得

られる情報量が異なるため直接比較はできないが、診断のディジジョンツリーで考慮されるべき値の一つである。

装置としての機能、操作性の向上から、今後螺旋機能を装備した高性能CT機種が広く普及する可能性が多いことを考えると、放射線の医学利用の、最適化、正当化の立場から使用のルーチン条件を決めるに当たっては十分に考慮する必要があるものと思われる。

結 論

螺旋スキャン機能を有するCT装置4機種による検査時の患者の被曝線量を、確率的影響に関係する臓器組織および水晶体について測定した。測定は実際に臨床に用いられている条件で、1回の検査に相当するスキャン数により行った。また、これらにより、実効線量についても算出した。機種によりかなりの線量の違いがあることが確認された。

1. 体幹部での皮膚表面線量は胸部、上腹部スキャンとも機種により10mGy~36mGyであった。平均的に通常スキャンの方が螺旋スキャンより約10%程度高かった。

2. 実効線量は4機種の平均で胸部では約9.2mSv、上腹部は10.5mSvであった。

CT装置は今後とも機能・走査性の充実が期待されるが、同時に高出力に設定されてきている。高速螺旋スキャン装置の導入増加も予想され、スキャン条件設定には被曝に関する正当化・最適化の立場からの考慮が必要である。

本稿を終わるに当たり、ご助言頂いた放射線医学総合研究所の館野之男先生および、実験にご協力頂いた山王病院およびシーメンス社CT部、日立メディコCT部、杏林大学病院の放射線科の皆様深く感謝致します。

文 献

- 1) X線CT設置台数及び稼働状況機種別一覧. 新医療 10月号: 92-97, 1993
- 2) 西澤かな枝: X線CT検査による被曝. 放射線科学 33: 334-341, 1990
- 3) Nishizawa K, Maruyama T, Takayama M, et al: Determination of organ doses and effective dose equivalents from Computed Tomographic examination. Brit J Radiol 64: 20-28, 1991
- 4) 西澤かな枝, 丸山隆司, 岩田猛男, 他: CT検査によるリスクの推定(1979); 第3報 国民線量, 個人のリスクおよび集団のリスク. 日本医放会誌 41: 436-441, 1981
- 5) United National Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1993 report; Sources and effects of ionizing radiation, United Nations, New York, 1993
- 6) ICRP: 1990 Recommendations of the international commission on radiological protection, Publication 60, Pergamon Press: Oxford, 1991
- 7) 宮川 正: 骨髄及び骨に対する電離放射線の個人並びに集団的影響(所謂骨髄線量)に関する研究. 文部省研究報告収録36年度放射線影響編: 67-75, 1961
- 8) Tanaka G, Kawamura H, Nomura E: Reference Japanese man II. Distribution of strontium in the skeleton and in the mass of mineralized bone. Health Phys 40: 601-614, 1981
- 9) VY Golikov, VV Nikitin: Estimation of the mean organ doses and the effective dose equivalent from rando phantom measurements. Health Phys 56: 111-115, 1989
- 10) 金子丑之助: 日本人体解剖学: 423, 1959, 南山堂, 東京
- 11) ICRU: Radiation dosimetry: X-rays generated at potential of 5 to 150-kV. International Commission and Measurements Report 17, Washington D. C., 1970
- 12) 館野之男: CTによる肺癌検診. 呼吸 12: 328-332, 1993
- 13) Maruyama T, Kumamoto Y, Noda Y, et al: Determinations of organ or tissue doses and collective dose equivalent from diagnostic X ray examinations in Japan. Radiat Prot Dosimetry 43: 213-216, 1992