4. CT 受診者の実効線量評価

西 澤 かな 枝

放射線医学総合研究所・安全解析

CT 検査による被検者の被曝線量は、CT 装置の X 線管ヒートユニットの増大、コンピュータ機能の充実など装置の改良によるスキャン数の増加等により近年益々増えており、無視できない量になっている。従って医療被曝における線量最適化の立場から、被検者の被曝量を知っておくことは必要である。今回、計測部会において、「ICRP（国際放射線防護委員会）で勧告している実効線量の評価に付いて」というテーマを頂いた。そこで、我々が行っている実効線量評価の方法を以下に示す。

1. 実効線量

ICRP は 1977 年の勧告 26¹⁾ で被曝の評価に (1) 式で定義される実効線量当量を導入した。

$$H_E = \sum w_T \cdot H_T \quad \dots\dots\dots (1)$$

w_T は組織臓器 (T) の照射による確率的影響のリスクの、リスク全体に対する割合を表す荷重係数、 H_T は組織臓器の吸収線量に LET の関数として求められた線質係数を乗じた線量当量である。また、1990 年には ICRP は勧告 60²⁾ で (2) 式のように実効線量を定義した。線質係数に代え、確率的影響に関する RBE を基に求められた放射線荷重係数を導入し、線量当量を等価線量 H_T と改めた。また、荷重係数は組織荷重係数 w_T とし、値を修正した。

$$E = \sum w_T \cdot H_T \quad \dots\dots\dots (2)$$

すなわち、実効線量とは「身体の照射を受けた全部の組織・臓器の、組織荷重係数により荷重された等価線量の和」である。人体が不均等に被曝したときにも健康上の損害に着目した一つの尺度として用いられる。異なった線源からの被曝によるリスクを比較するのに便利であり、国連科学委員会において便宜的に、医療被曝の比較にも用いている。組織荷重係数および、参考に ICRP26 で示された荷重係数の値を **Table 1** に示す。

ここで言う実効線量当量もしくは実効線量は、放射線障害防止法で用いられている 1 cm 線量当量及び、これから評価される実効線量当量とは異なるものである。しばしば混同されることがあるが注意されたい。

2. CT 検査における被曝線量の測定

A. ファントム及び測定位置

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を用い組織臓器の位置は使

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。測定は実際に臨床的に使用されている条件により行った。

ICRP60 では組織臓器線量は各組織臓器の平均線量で評価すべきであるとしている為、各測定点数が問題となる。Golikov 等³⁾ は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) 毎の、ファントムの持つ 3×3 cm グリッド上の測定ホールを利用してその臓器の示す位置を測定するとしているが、測定点数が極めて大きく、日常診療に使っている装置を用いて測定する場合には現実的ではない。骨盤腔を含む位置および、肺野を含むランドセクションの線量分布を計ったところ、同一スキャン面に於ける線量の変化は最大でおよそ 30% であ

Table 1 胸部検査時の実効線量及び実効線量当量

組織・臓器	線量(mGy)	W_T ('77)	W_T ('90)
生殖腺 (男)	0.02	0.25	0.20
生殖腺 (女)	0.06	0.25	0.20
赤色骨髄	4.60	0.12	0.12
結腸	0.08		0.12
肺	16.96	0.12	0.12
胃	5.92	0.06	0.12
膀胱	0.04		0.05
乳房	15.37	0.15	0.05
肝臓	5.55	0.06	0.05
食道	22.90	0.06	0.05
甲状腺	1.61	0.03	0.05
骨表面	6.66	0.03	0.01
皮膚	0.10		0.01
他			
脾臓	7.62	0.06	0.05/6
胸腺	19.70	0.06	0.05/6
腎臓	1.54		0.05/6
脾臓	4.24		0.05/6
副腎	4.97		0.05/6
直腸	0.06		0.05/6
Effective Dose (男)		8.85	5.97
(mSv) (女)		8.86	5.98

(120kV, 200mA, 1sec/scan)

Fig. 1 胸部検査時の骨髄測定点での線量

った⁴⁾。又、椎骨部分を等間隔に線量を測定した結果の例を Fig. 1 に示す。体型による影響を含んではいるがスキャン部分とそれ以外ではかなり分布に違いがある。そこで線量計の数は体軸に垂直な面よりも体軸方向に多くする方が合理的であると思われる。

B. 測定器の選択

CT のX線の実効エネルギーを直接測定するのは、ガントリー開口部の大きさ、管球の運動などにより困難であることが多い。又、用いられているフィルターは各メーカーがそれぞれに工夫しているもので、形状が社外秘となっていることもある。総フィルターの情報など得られたものについて他のX線装置を用いて推定したところ 50~70 keV と推定された。フィルタの形状によっては測定位置で実効エネルギーは大きく異なることが予想される。従って測定器はこれらの領域でエネルギー依存性のなるべく少ないものが望ましい。

また、測定器はファントム内に多数を一度にセットしたいため、なるべく小さいことが望まれる。よってその形状により、ナショナル UD-170A, 110S (直径 2 mm, 長さ 12 mm のガラス封入型) の 2 種類の熱ルミネッセンス線量 (TLD) を用いた。UD-170A は BeO 素子で、感度は良くないがエネルギー依存性は比較的小さく、利用線錐内のファントム表面及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。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。TLD に関しては多くの研究者による種々の文献があるのでそれらを参照されたい。これらの素子は予め MixDp ファントムを用いて直接線及び散乱線に付いて、X線で校正された電離箱式線量計と比較校正した。

Fig. 2 ビームプロフィール

- a. 螺旋スキャン (ビーム幅: 10 mm, スキャンインターバル: 10 mm)
- b. 通常スキャン (ビーム幅: 10 mm, ベッドスピード: 10 mm/sec)

C. 皮膚線量

Fig. 2 に典型的な CT ビームプロフィールを示す。a は螺旋スキャン、b は通常スキャンの場合である。このように同一スキャン区域内でも部分により表面の線量は異なる。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 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。(Fig. 2 b は黒化度の違いを明瞭にするために管球始動位置を交互に 180 度ずらしてスキャンしたものである。) したがって、表面線量は測定する位置を注意しないと其の測定値に大きな違いを生じてしまう。そこで測定する位置のランドセクションの周囲に等間隔に 8 点、TLD をビームと平行に隙間なく一点 15 本以上並べて測定した。これにより一点当たりスキャン幅のほぼ 3 倍以上がカバーされる。臨床の場で問題にされる皮膚線量は多くの場合照射野内の平均線量である。参考に種々の機種による皮膚線量を Fig. 3 に示す。これらは現在日本に比較的多く普及している装置で、同一部位 (下記の評価例と同様) を夫々の機種が臨床で実際に使われている条件で測定した。

一方、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。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、全身の面積と被曝面積を近似的に求め、それぞれの面積の比で重みづけをし実効線量計算のための皮膚線量とした。しかし例えば全肺野をカバーするほど広くスキャンしたとしてもスキャン面積は全面積の約14%となり、実効線量への寄与は実質的には問題にならない。

4. 評価例

結果の一例として、ある機種による胸部検査を、剣状突起より頭頂方向へ10 mm 幅ビームで16スキャン、スキャン間隔は15 mm で行った際の各臓器組織の線量をTable 1の第2欄に示す。これらを用いて計算した実効線量を組織荷重係数の下に示した。又、比較のため、同様の位置をスキャンした場合の実効線量当量を荷重係数の下に示す。吸収線量変換係数はX線の実効エネルギー60 keV の値を用い、軟組織に0.939、コンパクト骨に2.94⁵⁾を用いた。また、吸収線量を等価線量に変換する際の放射線荷重係数（線量当量計算のための線質係数）は1である。

Fig. 3 胸部スキャン時の皮膚の線量

実効線量と実効線量当量の違いはいわゆる「残りの臓器」の選択によるものである。ICRP ではこれらは合算しても良いとしている。国連科学委員会の1993年報告書⁶⁾によれば一般の検査の場合其の違いはおおよそ平均で7%である。我々の経験では、ICRP60で勧告されている「残りの組織臓器」が腹部に多いため、下腹部の検査では大差はないが頭部検査で50%胸部検査で30%程度の違いを持つことがある。

Table 2に筆者らが以前に行った11機種による実効線量当量評価の結果の最大、最小、及び平均の値⁷⁾を示す。

5. 終わりに

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。我々は以前から、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または実効線量を調べてきた^{7,8,9)}が、CTの走査性の向上を反映してスキャン範囲がかなり広がっており、スキャン数も多くなっている。

実効線量は放射線の医学利用の、最適化、正当化の立場から、使用条件の決定や診断のディシジョンツリーにおいて、得られる情報量等と共に考慮されるべき値の一つであると考えます。

実験には常に杏林大学医学部病院放射線科の伊藤博美副技師長はじめCT部の技師の方々にご助言ご助力を頂いています。この場をお借りして心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) ICRP: Recommendations of the international commission on radiological protection, Publication 26, Pergamon Press: Oxford, (1977).

Table 2 CT検査時の臓器組織線量

臓器組織線量(mGy)		頭部 (9スキャン)			胸部 (16スキャン)			上腹部 (13スキャン)			下腹部 (12スキャン)		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
卵巣		0.002	0.003	0.003	0.042	0.098	0.105	0.416	0.850	0.614	8.68	27.1	15.14
睪丸		0.002	0.002	0.002	0.011	0.025	0.053	0.040	0.083	0.103	0.532	1.622	1.036
乳房		0.042	0.125	0.107	8.89	39.6	15.90	0.386	1.217	0.778	0.125	0.144	0.112
赤色骨髓		0.704	2.072	1.454	4.43	11.48	5.69	1.535	3.66	2.16	3.49	9.51	5.60
肺		0.030	0.122	0.080	12.64	35.0	19.60	0.998	2.90	1.678	0.123	0.144	0.130
甲状腺		0.236	0.788	0.548	1.501	3.00	1.855	0.048	0.146	0.171	0.031	0.021	0.027
骨表面		4.34	12.74	8.95	6.35	17.19	8.34	1.640	3.95	2.37	4.35	11.32	6.71
その他	胃	0.008	0.024	0.020	5.96	16.59	9.19	15.73	47.6	26.9	0.364	0.595	0.466
	肝臓	0.009	0.028	0.021	5.68	15.26	8.96	17.16	51.8	27.8	0.393	0.611	0.487
	大腸	0.003	0.004	0.004	0.065	0.144	0.145	0.693	1.507	0.995	11.31	34.5	19.24
	直腸	0.003	0.004	0.003	0.041	0.098	0.115	0.259	0.749	0.424	4.54	16.99	9.924
	膀胱	0.002	0.002	0.003	0.031	0.066	0.091	0.259	0.578	0.421	5.04	17.76	10.56
実効線量当量 男性		0.23	0.69	0.49	4.33	14.05	6.85	2.47	7.24	3.67	2.02	6.17	3.61
(mSv) 女性		0.23	0.69	0.49	4.34	14.07	6.86	2.56	7.43	3.78	4.05	12.53	7.13

- 2) ICRP: 1990 Recommendations of the international commission on radiological protection, Publication **60**, Pergamon Press: Oxford, (1991).
- 3) Golikov VY, Nikitin VV: Estimation of the mean organ doses and the effective dose equivalent from random phantom measurements. Health Phys. **56**: 111-115, (1989).
- 4) 西澤かな枝, 丸山隆司, 高山 誠, 他: CT検査による被検者の被曝線量, 日医放会誌印刷中
- 5) ICRU: Radiation dosimetry: X-rays generated at potential of 5 to 150-kV, International Commission and Measurements Report **17**, Washington D. C., (1970).
- 6) United National Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1993 report: Sources and effects of ionizing radiation, United Nations, New York, (1993).
- 7) 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).
- 8) 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. 日医放会誌**41**, 436-441, (1981).
- 9) Maruyama T, Kumamoto Y, Nishizawa K et al.: Determinations of organ or tissue doses and collective effective dose equivalent from diagnostic X ray examinations in Japan. Radiat. Prot. Dosimetry **43**, 213-216, (1992).