97. X線CTにおける遮蔽計算法の検討

Evaluation Of Shielding Calculation Method For X-ray Computed Tomography

大阪医科大学附属病院 放射線科

○大森直樹 杉信義人 竹内正保 橋林勇
(Ohmori Naoki) (Suginobu Yoshito) (Takeuchi Masayasu) (Narabayashi Isamu)

【目的】現在使用されているX線診療室の遮蔽計算法では、X線源を移動させる方式の装置には対応しきれない。そこで今回我々は、現在の指針と整合性を保ちながら回転照射方式の装置であるX線CTの遮蔽計算方法へと概念を拡張し、より合理的な計算方法を求めた。

【方法】1次線透過率

1次線において、beamが連続的に回転照射される場合ある有限なfan beam angleが存在するため画壁の任意の点はある時間照射され、その時間に対応する回転角と 2π との比より1点に与えられる線量を誘導する移動負荷が得られる。(Fig. 1)回転角を求めるに当たり、幾何学的パラメータはFig. 2に示しこれらの関係式は $1-r_1 \sin \theta = r_2 \sin(\theta x - \theta)$ となり、これは $(r_1/r_2) \cdot \tan^2 \theta (2 \cos \theta x + 1) = (1 + \tan^2 \theta) \cos^2 \theta x$ と変形でき $\cos \theta$ の2次関数となる。CT装置において $0 < \theta x < \pi/4$ であることは明らかで、 $0 < \theta x < \pi/2$ となり $\cos \theta x$ は正となる。よってこれを解くと $\cos \theta x = (1/2) \cdot \{ \sqrt{(M \sin^2 \theta)^2 - M \sin^2 \theta} + \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \}$ となりこれの逆関数により回転角の半角 θx が求まる。ただし、 $M = r_1/r_2$ とする。評価点は最大の線量が与えられる点、つまり最大の回転角を誘導する点でありMが最大のとき、つまり r_2 が最小となる場合で、回転中心から画壁に垂線を降ろした点とすることに対応し、この点は照射される画壁において最大の照射時間と最短の照射距離を兼ね備えた点であり1次線の透過率を求めるための評価点となりえる。しかし、 $2\theta x$ 回転する間に指針における d_1 は連続的に変化する。(Fig. 3)Fig. 4に3機種のfan beam dose profileを示す。線量分布はbow tie filterにより不均一であり辺縁で低く中心軸上でpeakとなる分布形態をとるため d_1 を最短距離に統一して計算すると距離と線量の変化が互いに打ち消し合うように作用する。よって計算式を煩雑にせず安全な範囲内で合理性を高められる。 $[d_1(\min) = r_1 \cos \theta + r_2 \cos(\theta x - \theta)]$ 以上より1次線の透過率が求められる。

1次線透過率

90°散乱線の入射点は、回転とともに連続的に移動するため1点に90°散乱線のみが与えられることはないが、全ての角度成分を対象とすると評価は可能であり、より実際の現象に近い。指針によると1次線の照射中はその方向の散乱線は評価していないため、1次線の中に存在する角度成分の散乱線は除外して考えられる。また散乱線の評価点は r_2 が最短となる点で、1次線の評価点と同一であるので除外する角度は $2\theta x$ となる。(Fig. 5)Fig. 6に120kV X線の散乱線分布を示す。1次線の回転角 $2\theta x$ は、30°以上のbeam angleならば計算により120°を超え、また150°-210°はX線管及び周囲付属機器の遮蔽効果により散乱線は計測されないため考慮する角度成分は60°-140°、220°-300°となり90°散乱線を60°-300°まで積算した値とほぼ等しくなるため指針の90°における散乱線が使用できる。よってCTの散乱線は、移動負荷が $\{1 - (\theta x/\pi)\}W$ の90°散乱線と同等として計算される。Fig. 7に3機種における最大線量を1とした場合の空間線量の方向依存性を示す。この分布の線量の変化は、装置の遮蔽効果を意味しその方向依存性は大きく、各装置において一貫性がない。よって、指針に従い装置の機器的遮蔽効果を無視するならば、今回の計算方法は安全な範囲で行える。照射野面積は $P = 2 \times 10^2 \cdot r_1 \cdot t \cdot \tan \theta$ (cm)となり、また回転軸方向の90°散乱線は入射点が回転によって移動しないため全移動負荷を使用し、従来の計算方法で行える。

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

1次線と散乱線の評価点は同じであるため、最終的な透過率は両者の線量を積算した場合の透過率とした。回転軸方向外の画壁：B₁により誘導される遮蔽厚と、1次線の半価層の和が目的

【結果】

焦点-回転中心間距離	: r ₁ (m)	照射野400cm ² の組織類似ファントムから
回転中心-計算点(画壁外側点)間距離	: r ₂ (m)	1mの距離の空気吸収線量率の百分率
Fan beam angleの半角	: θ (rad)	週間線量当量限度
X線源回転角の半角	: θ x (rad)	吸収線量/線量当量変換係数(80keV)
全移動負荷	: W (mA·min/week)	1次線の透過率
Slice thickness	: t (cm)	散乱線の透過率
		両者を積算した場合の透過率

$$B_1 = 0.575P \cdot \{ r_1 \cos \theta + r_2 \cos(\theta x + \theta) \} \cdot (\theta x/\pi) \cdot W$$

$$B_2 = \frac{0.575P \cdot 200 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \{ 1 - (\theta x/\pi) \} \cdot W \cdot a \cdot t \cdot \tan \theta}{\theta x = \arccos y}$$

$$y = \cos \theta x = (1/2) \cdot \{ \sqrt{(M \sin^2 \theta)^2 - M \sin^2 \theta} + \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \}$$

$$B_{total} = B_1 + B_2 \quad (M = r_1/r_2)$$