

XTVdec (X-TV fluoroscopy dose evaluation code) について

現在の多くの X 線透視撮影装置では、照射口に取り付けた面積線量計により計測された面積空気カーマ積算値 P_{KA} ($Gy \cdot cm^2$) を表示・記録するようになっている。ただし、X 線透視撮影検査では、体位、照射野サイズ、FSD 等が時々刻々と変化するため、 P_{KA} 値から直接的に入射表面線量や被射体内の特定組織の吸収線量を評価することはできない。

XTVdec は、面積線量計で表示される面積空気カーマ積算値 P_{KA} ($Gy \cdot cm^2$) から、患者被ばく量の一つの指標となる“被射体が吸収した全エネルギー量 (容積線量 Volume dose, Integral dose, 単位 $kg \cdot Gy = J$)”を算定するソフトウェアである。

面積線量から容積線量を算出する方法

(1) 面積線量計で得られる面積空気カーマ積算値が P_{KA} ($Gy \cdot cm^2$) の時、照射面積を $A \text{ cm}^2$ とすると、その点における空気カーマ K は $K = P_{KA}/A$ (Gy) となる。

(2) 照射条件 (管電圧は検査中の平均値を使用) から、患者へ入射する X 線スペクトル (各エネルギー光子数の相対値) を Tucker 近似式により計算する。光子エネルギー E のフルエンスを $\phi(E)$ (個/ cm^2) とすると、被射体に入射する全光子フルエンス Φ (個/ cm^2) は次式で与えられる。

$$\Phi = \int_0^{E_{max}} \phi(E) \cdot dE \quad \text{----- (1)}$$

E_{max} は最大光子エネルギー (管電圧 kV に等しい) である。

ここで暫定的に $\Phi(temp) = 10$ 億 とする。

(3) (1)式で与えられた X 線束に対応する空気カーマ K_{air} は次式で計算できる。

$$K_{air} = \int_0^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot (\mu_{tr}/\rho)_{air,E} \cdot dE \quad \text{----- (2)}$$

ここで $(\mu_{tr}/\rho)_{air,E}$ は、光子エネルギー E に対する空気の質量エネルギー転移係数

(cm^2/g) である。光子エネルギー E の単位は通常 keV を用いるので (2)式で得られる K_{air} の単位は keV/g となる。これを通常空気カーマの単位 ($Gy = J/kg$) に変換するには、(2)式に 1.602×10^{-13} を乗ればよい。

(4) 被射体に入射する全光子数を暫定値 10 億個 ($\Phi(temp) = 10$ 億) して得られる空気カーマが $1.602 \times 10^{-13} \times K_{air}$ (Gy) となるのに対し、実際の値 $K(Gy)$ であるので、被射体に入射する実際の全光子フルエンス Φ (個/ cm^2) は

$$\Phi = \Phi(temp) \times K / K_{air} \quad \text{----- (3)}$$

となる。

- (5) 上記で計算されたスペクトルを持つX線束(全光子フルエンス Φ)が照射面積 A で、厚さ th (cm) の軟部組織に入射した時、軟部組織内で吸収されるエネルギー量 D_{volume} は次式で計算できる。

$$D_{volume} = 1.602 \times 10^{-16} \times A \times \int_0^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot R(E, th) \cdot dE \quad \text{----- (4)}$$

ここで $R(E, th)$ は、エネルギー E (keV) の光子が厚さ th の軟部組織に入射した時の軟部組織内で吸収されるエネルギーの割合（実効エネルギー吸収率）である。

1.602×10^{-16} は、エネルギー単位 keV を J へ換算する係数である。

厚さ th 内で光子エネルギーが吸収される割合 R は、

$$R = 1 - \exp\left(-(\mu_{en}/\rho)_{med,E} \times th\right) \quad \text{----- (5)}$$

で計算できるのではと考えがちであるが、これは一次線による2次電子の吸収分のみを表すものであり、相互作用で発生する散乱光子の吸収を含めた実効的なエネルギー吸収率は(5)式では求めることはできない。

(4)式の“実効エネルギー吸収率” $R(E, th)$ は、 $10 \times 10 \times th$ (cm³) の軟部組織ファントムにエネルギー E の光子束がペンシルビームでファントム中心に入射した時の、体内で吸収される全エネルギー量の全入射エネルギーに対する割合を、モンテカルロシミュレーションにより求めたデータである。光子エネルギー $E=1 \sim 150$ keV、体厚 $th=10 \sim 30$ cm についての $R(E, th)$ がデータテーブルとしてあらかじめ用意されている。（設定したファントムサイズ、線束の大きさについては明確な根拠はない。）

上記の方法で算出される容積線量 D_{volume} の単位は $kg \cdot Gy$ 、つまり J である。容積線量をどのように患者被ばく評価に用いるかの明確な基準は無いが、一例として、容積線量 D_{volume} を患者の体重で割った数値（単位 $J/kg=Gy$ ）を、全身被ばくに換算した被ばく線量とみることにもできる。

文献

加藤秀起，藤川清治、川島定夫
表面積算線量から容積線量を求める計算
日本放射線技術学会雑誌 1977, 33 (4), 426-432.

加藤秀起
実効エネルギー吸収率の計算
日本放射線技術学会雑誌 1978, 34 (4), 350-355.