

放射線感受性の高い細胞を考慮した 膀胱簡易モデルにおける光子・電子のエネルギー付与解析

原子力機構 渡部陽子、木名瀬栄、斎藤公明

[緒言]体内に摂取あるいは投与された放射性核種は、尿などに排泄される。そのため、尿が一定時間貯留される膀胱の線量評価は、放射線防護や放射線診断の観点から重要である。特に放射線診断に用いられる放射性医薬品は、膀胱の線量を最小限にするよう開発される必要があるため、その線量評価法が極めて重要となる。内部被ばくによる線量評価では、一般に比吸収割合(SAF: 線源組織内で特定の種類の放射線として放出されたエネルギーが単位質量あたりの標的組織に吸収された割合)が用いられている。米国核医学会内部被ばく線量委員会や国際放射線防護委員会は、膀胱内容物に均一に分布した放射性核種から放出される放射線についての膀胱 SAF を、光子においてはモンテカルロ計算により、電子においては膀胱壁により放出エネルギーの二分の一が吸収されるという仮定に基づき、簡易計算により整備している。より信頼性の高い線量評価を行うには、放射線感受性の高い細胞を考慮すべきであるが、従前の線量評価法では膀胱壁中の放射線感受性の高い細胞である基底細胞については直接考慮されていない。こうした状況を踏まえ、本研究では、信頼性の高い線量評価を行うため基底細胞を考慮した膀胱モデルを開発し、光子および電子に対する基底細胞などの SAF をモンテカルロ計算により求めた。また、評価した SAF を用いて、9種の放射性核種についての S 値(単位放射能あたりの標的組織の平均吸収線量)を算出した。

[方法]膀胱モデル: 本研究では、MIRD5 型ファントムの膀胱と同様に 3次元回転楕円体形状の膀胱簡易モデルを開発した。膀胱壁(全厚さ 2,520 μm)中の基底細胞をモデル化するため、膀胱内容物との境界から 600 μm までを 10 μm 厚の多重層構造とした。膀胱の基底細胞は、膀胱の伸縮度合により 70-140 μm の範囲に存在することが報告されているため、その厚さを 10 μm とし、70-80 μm および 140-150 μm の 2層とした。これら基底細胞 2層と膀胱壁全体を標的組織とした。SAF 評価: 光子および電子の SAF は、モンテカルロ計算により求めた標的組織の沈着エネルギーを、線源からの放出エネルギーおよび標的組織の質量で除して評価した。線源は膀胱内容物中に均一に分布することとし、エネルギー範囲が 10keV-4MeV の間において単色エネルギー放射線を放出するものとした。断面積データとして、光子には PHOTX を、電子には ICRU Report 37 のデータを用いた。S 値評価: 評価した光子および電子の SAF を用いて、9核種(^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{90}Y , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I)に対する膀胱の S 値($\mu\text{Gy}/\text{MBq}\cdot\text{s}^{-1}$)を算出した。光子およびベータ線のスペクトルは、DECDC2 または ICRU Report 56 の値を用いた。

[結果]光子に対する膀胱の基底細胞 SAF は、10-30keV の間で膀胱壁全体の SAF よりも 1.2-2.9 倍高い値となった。これにより、低エネルギー領域の光子 SAF の評価には基底細胞を考慮することが重要であることが分かった。また、電子に対する基底細胞の SAF は、10keV-4MeV の範囲においてエネルギーが高くなるにつれて増加したことから、これまで放射線防護分野で用いられてきたような定数では十分な精度の近似が行えないことが確認された。さらに、本研究で評価した SAF を用いて算出した S 値は、現在放射線防護分野などで利用されている S 値に比べ大きく変化した。特に、低エネルギーのベータ線を放出する核種の S 値は、これまでの値より極めて小さくなることが分かった。以上から、放射線影響推定などに直接反映した信頼性の高い膀胱線量評価には、膀胱壁全体ではなく放射線感受性の高い基底細胞に着目することが重要であると考えられる。