

平成24年度学術調査研究班報告

放射線治療場で発生する二次中性子の簡易的評価システムの構築

| | | |
|-----|------|---|
| 班 長 | 磯辺智範 | 筑波大学附属病院放射線治療品質管理室 |
| 班 員 | 高田健太 | 筑波大学大学院人間総合科学研究科 |
| | 佐藤英介 | 北里大学医療衛生学部 |
| | 半村勝浩 | 静岡県立静岡がんセンター放射線治療科 |
| | 志田晃一 | 筑波大学附属病院放射線部 |
| | 松林史泰 | がん研究会有明病院放射線部 |
| | 江川俊幸 | 北里大学東病院放射線部 |
| | 加藤英幸 | 千葉大学医学部附属病院放射線部 |
| | 藤淵俊王 | 茨城県立医療大学保健医療学部 (現 九州大学大学院医学研究院保健学部門) |
| | 笈田将皇 | 岡山大学大学院保健学研究科 |
| | 千田浩一 | 東北大学大学院医学系研究科 |

背景と目的

近年の放射線治療では、10 MV 超える X 線や粒子線が用いられる機会も多く、治療ビームに伴う中性子の発生を無視できない。中性子は生物学的効果比が高く、正常組織にとってはダメージが大きい。また、最近では体内植え込み型の医療用電子機器を装着した患者に対して治療を実施する機会も増え、医療用電子機器への中性子の悪影響が懸念されている。そのため、放射線治療場における二次中性子について把握することは、正常組織への被ばくの観点や医療用電子機器に対するリスク管理の点で重要である。

本班研究ではモンテカルロ法を用いたシミュレーションと、固体飛跡検出器 CR-39 によって放射線治療場における二次中性子について評価したので報告する。

方 法

本研究では、放射線治療場として 200 MeV 陽子線、18 MV X 線、10 MV X 線を選択し、シミュレーションと実測によって二次中性子を評価した。

モンテカルロコード PHITS¹⁾に、各放射線治療場のビーム輸送系の基本構造を再現した。ビーム輸送系の下流には、24 cm 角の水ファントムを定義し、二次中性子のエネルギースペクトルと flux を算出した。算出した中性子 flux を吸収線量に変換するには、換算係数(カーマ係数)が必要となるが、本研究では PHITS に内蔵されている換算係数と Chadwick らの論文値²⁾を比較し、高エネルギー中性子にも対応した換算係数を用いた。

また、各放射線治療場において、CR-39 をファントム側面に貼付し、直接線が混入しない条件下で二次中性子の測定を実施した。投与線量は、陽子線で 30 Gy

(spread-out Bragg peak: SOBP 中心)、X 線では 300 Gy (10 cm 深)とした。CR-39 の測定結果は、単位面積当りのエッチピット数として評価し、投与線量 1 Gy 当りに規格化した。

結果と考察

(1) 中性子のエネルギースペクトル

陽子線場で発生する二次中性子は、熱中性子領域と 1 MeV 超にピークを持つ広域なエネルギースペクトルを有していた。また、ファントム表面よりも深い部分で熱中性子の割合が上昇しており、高速中性子の減速が示唆された。一方、X 線治療場においては、Jaw の直下やファントム表面においては 1 MeV 程度の高速中性子が見られているが、10 cm 深においてはほとんどが熱中性子であった。

(2) 中性子の flux と吸収線量

陽子線 1 Gy の照射で発生する中性子 flux は、ビーム中心軸のファントム表面で、熱中性子が $10^5/\text{cm}^2$ オーダー、熱外～高速中性子が $10^7/\text{cm}^2$ オーダーであった。ファントム表面における吸収線量は中心部で 0.85 mGy、中心から 12 cm 離れたファントム側面において 0.2 mGy 程度であった。また、10 cm 深の吸収線量は中心部で 1.44 mGy、中心から 12 cm 離れた部位では 0.17 mGy 程度であった。

X 線治療場においては陽子線に比べて発生する二次中性子が少なく、シミュレーションの計算精度が十分には保てなかったため、概算値である。18 MV X 線 1 Gy 当りの平均吸収線量はファントム表面で 0.14 mGy、10 cm 深で 9.9 μGy であった。10 MV X 線においてはさらに発生する二次中性子が少なく、照射野平均吸収線量は

ファントム表面で 6.4 μGy , 10 cm 深では 0 となった. X 線については, シミュレーション環境を増強し, さらに多くの粒子数を用いた詳細な検討が必要である.

(3)CR-39 を用いた二次中性子の測定

CR-39 を用いた実測の測定結果を放射線の種類で比較すると, 200 MeV 陽子線と 18 MV X 線で発生量が多く, 10 MV X 線では 1 桁以上少ないことがわかった. また, 熱中性子の発生は陽子線が最も多く, 高速中性子は 18 MV X 線の方が陽子線より多い結果となった. シミュレーションでは高速中性子の発生量が陽子線でも多かったことから, CR-39 を用いた実測においては陽子線治療場で発生する高エネルギー中性子の一部を検出できていない可能性が示唆された. これは, CR-39 の検出可能エネルギーに依存するため, ラジ

エータであるポリエチレンの厚みを変えるなどの工夫により検出効率を改善できると考えられる.

結 語

本研究では, モンテカルロシミュレーションと CR-39 による実測の二つの手法によって, 高エネルギー X 線と陽子線治療場で発生する二次中性子を評価した. シミュレーションによって, 各放射線治療場での二次中性子のエネルギースペクトル, flux, 吸収線量を明らかにできた. また, CR-39 は各放射線治療場で発生する二次中性子を簡易的に測定するという意味において利用価値が高い検出器であることがわかった. 本研究成果は, 二次中性子のデータを取り入れた放射線治療計画を実現するための一歩を踏みだす一助となる.

参考文献

- 1) Sato T, Niita K, Matsuda N, et al. Particle and heavy ion transport code system, PHITS, version 2.52. J Nucl Sci Technol 2013; 50(9): 913-923.
- 2) Chadwick MB, Barschall HH, Caswell RS, et al. A consistent

set of neutron kerma coefficients from thermal to 150 MeV for biologically important materials. Med Phys 1999; 26(6): 974-991.