

氏名	まつもと しのすけ 松本真之介
学位の種類	博士 (健康科学)
学位記番号	第 15 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 18 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者 看護学研究科健康科学専攻
学位論文名	小児陽子線治療に伴う二次中性子からの臓器線量の低減に関する研究 Reducing secondary neutron doses to pediatric patients during intracranial proton therapy.
指導教員	甲斐 倫明 教授 小嶋 光明 准教授 小野 美喜 教授
論文審査委員	主査：稲垣 敦 教授,副査：市瀬 孝道 教授,副査：品川 佳満 准教授

論文内容の要旨

医療技術の発達により小児がん患者の5年生存率は向上しており、米国の2004年の報告では80%を超えるとの報告がある。5年生存率の向上は集学的治療による所が大きく、小児がんの多くは放射線感受性が高いため放射線治療は非常に効果的である。放射線治療の1つである陽子線治療が正常組織線量の低下に効果的であると報告され注目を集めている。しかし陽子線は治療装置との相互作用により、二次的に中性子を発生させる。この二次中性子被ばくが、放射線性の二次発がんを誘発する可能性が報告されている。

本研究の第一の目的は、モンテカルロシミュレーションを用い陽子線治療に伴い発生する二次中性子の被ばく線量を評価する事である。第二の目的は、二次中性子の発生源から最適な二次中性子遮蔽構造を設計し、患者が受ける二次中性子線被ばく線量を減少させる構造を提案することである。

2章では小児小脳上衣腫の陽子線治療をモンテカルロコードにモデル化を行った。モンテカルロコードはPHITSコードを用いた。陽子線治療装置は国立がん研究センター東病院の陽子線治療装置を設計図の提供を受けモンテカルロモデリングした。線量計算で用いる人体ファントムは5歳児のVoxel phantomを用いた。治療プロトコルは、陽子線総線量：49Gy、エネルギー：190MeV、SOBP幅：9cm 照射野：3cm×3cmの治療を模擬した。

モデル化された治療環境を用いて3章では線量計算を行った。PHITSにて計算する物理量は中性子の臓器吸収線量と、二次中性子のエネルギースペクトルである。中性子の臓器吸収線量と放射線加重係数を掛け合わせ中性子の臓器等価線量を算出した。

4章では2次中性子の遮蔽構造を設計した。治療に用いる陽子線に干渉しない構造にするために有孔構造とし、その孔径はモンテカルロ計算によって求めた。またその素材を鉄、鉛、タングステン、ポリエチレンで計算し、最適な遮蔽材を決定した。遮蔽効果確認のため、中性子臓器吸収線量、等価線量、エネルギースペクトルを算出した。

頭蓋内腫瘍の陽子線治療時の二次中性子臓器吸収線量は治療フィールドに近ければ近い程高く、治療線量1Gyあたり最大で0.579mGy(喉頭領域)であった。2次中性子エネルギースペクトルは107MeV, 1MeV, 100MeV付近にピークを有した。エネルギースペクトルから計算された中性子の放射線加重係数は11.34であった。二次中性子臓器等価線量は治療線量1Gyあたり最大で6.57mSvであった。ビームライン上の構造物から発生した二次中性子が臓器線量に寄与する割合は患者コリメータが最も高く、構造物が患者に近い程二次中性子臓器線量への寄与が大きい結果となった。

効果的な二次中性子の遮蔽はポリエチレンが最も1MeV周囲の中性子線束を低減することを示し、効果的に2次中性子臓器等価線量を低減することが可能であった。

Title: Reducing secondary neutron doses to pediatric patients during intracranial proton therapy.

Name: Shinnosuke Matsumoto

Ph.D. adviser: Professor Michiaki Kai and Miki Ono, Associate professor Mitsuru Ojima

Abstract

Particle therapy one of the radiation therapy can provide a better dose distribution. However, secondary neutrons are generated by interaction of the primary proton beam with structures in the proton beam line. Neutron exposure increased risk of secondary cancer. The purpose of this study is to evaluate a neutron doses and to model a shielding design that reduced the secondary neutron dose.

The Monte Carlo code known as the PHITS was used to simulate the transport proton and its interaction with the treatment beam-line structure that modeled the double scattering body of the treatment nozzle at the NCCE. The doses of the organs in a computational phantom simulating a 5-year-old boy were calculated. Iron, Lead, Tungsten and Polyethylene shield were calculated absorbed organ dose, energy spectrum and equivalent organ dose for the evaluate the shielding effectiveness.

Secondary neutron doses were found to decrease with increasing distance to the treatment field. Secondary neutron energy spectra were characterized by incident neutrons with three energy peaks: 1×10^{-7} , 1, and 100 MeV. A patient collimator significantly contributed to organ doses. The maximum secondary neutron equivalent organ dose is $6.57 \text{ mSV/Gy}_{\text{therapeutic}}$.

This study suggests that a polyethylene-based shielding structure is most effective in reducing the neutron equivalent dose.

論文審査の結果の要旨

本論文は、陽子線治療における二次発がんリスクを抑制するため、小児小脳上衣腫の陽子線治療に伴い発生する二次中性子の臓器毎の吸収線量すなわち線量分布を評価し、また、施設間差の要因を明らかにするため、国立がん研究センター東病院の陽子線治療装置を PHITS コード上にモデルを構築し、モンテカルロシミュレーションを行なった。さらに、このモデルを用いて、二次中性子の被ばく線量を抑えるために望ましい二次中性子遮蔽構造を検討した。本研究には、小児を対象としている点および人体の構造をより詳細にモデル化したボクセルファントムを採用した点に独自性が認められる。この点で本研究には陽子線治療研究領域における学術的意義があり、また、遮蔽構造の改善により二次発がんリスクの抑制に貢献する情報を提供しているという点で臨床的にも意義がある。一方、モンテカルロシミュレーションに用いられた PHITS コードは日本原子力研究開発機構が開発したものであり、既に加速器の遮蔽構造や放射線医療等多数の領域で数多くの実績があり、方法論的妥当性は保証されている。また、Medline に登録されている Health Physics という雑誌に英語論文が受理されていることが確認され、副論文の要件は満たしていた。審査会では審査委員の質問に対して適切に回答し、コメント全てに対して本論文を訂正した。以上の点から、本論文は博士（健康科学）の学位を授与するに相応しい論文であると判断し、合格と判定する。