

令和 4 年 6 月 19 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K17155

研究課題名(和文) 小児重粒子線治療における2次粒子線の曝露による発がんリスクの推定

研究課題名(英文) Estimation of radiation-induced secondary cancer risk caused by exposure from secondary particle in pediatric heavy ion radiotherapy.

研究代表者

松本 真之介 (Matsumoto, Shinnosuke)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子医科学研究所 物理工学部・主任研究員

研究者番号：10742744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：小児の放射線治療において、陽子線治療と比較して重粒子線治療がより放射線治療後の放射線誘発性の2次発がんリスクを低減させることができる可能性を示唆したことが本研究の主たる成果である。特に、放射線による被ばく線量の評価によく用いられるモンテカルロシミュレーションによる臓器に対する被ばく線量の計算結果では、陽子線治療に対して重粒子線治療はがん以外の臓器に対する中性子の被ばく線量を5-16%にまで減少出来る事を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、小児のがん治療に対して陽子線治療は保険収載されている一方で、陽子線治療以上の良好な治療効果が期待出来るにもかかわらず重粒子線治療は保険収載されていない。この理由の一つとして、陽子線治療では小児における2次粒子線によるリスク評価は実施されているが、炭素線治療では小児における2次粒子線の評価が行われていないことが挙げられる。本研究の成果によって、小児に対する陽子線治療と比較して重粒子線治療がより患者の2次発がんリスクを低減出来る事が示唆された。

研究成果の概要(英文)：It is the primary outcome of this study that heavy ion radiation therapy may reduce radiation-induced secondary cancer risk compared to proton beam therapy. In particular, the Monte Carlo simulation results show that heavy-ion therapy can reduce neutron doses to 5-16% for healthy tissues or organs compared to proton therapy.

研究分野：医学物理学

キーワード：重粒子線治療 放射線計測 モンテカルロシミュレーション 放射線防護 中性子線量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)小児がんについて

小児がんは年間 2000-2500 名程度が罹患し、小児死亡原因の第一位である [厚生労働省,2017]。他方で放射線療法を含めた集学的治療の成功により、小児がんの 5 年生存率は 80%を超え [Gregory.2016]、医療の発達によって生存率は更に向上することが期待される。

(2)小児がんに対する炭素線治療の可能性と現状について

量子科学技術研究開発機構 (以下、QST という。) が治療及び研究実績で世界を牽引している炭素線治療は、小児で好発する放射線抵抗性の骨軟部肉腫に良好な治療成績が示されていること及び照射野外線量が少ないため正常組織に対するリスクを低減できることから、小児がん治療への利用が期待できる。

他方で、粒子線治療は治療ビームと患者や照射機器との相互作用により 2 次粒子(中性子、荷電粒子)が発生し、この 2 次粒子線の曝露が発がんのリスクになるとの報告がある。特に小児は治療後に長期間生存すること及び成人に比べ放射線感受性が高いことから、放射線誘発性がんリスクが大人に比べて高いことが報告されている [Neglia.2001]。小児の炭素線治療は保険収載されていないこともあり、良好な治療効果が期待出来るにもかかわらず、国内外での実施例は少ない。この理由の一つとして、陽子線治療では 2 次粒子線によるリスク評価は実施されているが [Matsumoto.2016,sayah.2014]、炭素線治療では小児における 2 次粒子線の評価が行われていないことが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現在までに報告されていない小児炭素線治療における 2 次粒子線の発がんのリスクを評価し、光子線治療や陽子線治療と比較することである。この結果により、小児における炭素線治療後の 2 次がんリスクを明らかにすることで小児における炭素線治療の推進に資すると考える。

3. 研究の方法

(1)研究方法の概要

本研究は、実測による中性子線の線量評価及びモンテカルロシミュレーションによる臓器線量評価によって、小児炭素線治療における 2 次発がんリスクを評価した。それぞれについて、以下に方法の詳細を記す。

(2)実測による中性子線の線量評価

様々な重粒子線治療手技における 2 次中性子線量を rem カウンタの WENDI-II を用いて測定した。現在までに用いられていた炭素線治療手技である、Range-shifter scanning method (RS-method)、Hybrid scanning method (HS-method)と現在用いている炭素線治療手技である Energy scanning method (ES-method)とで、治療中に発生する 2 次中性子を患者の位置で測定し比較した。更に QST が開発中の複数のイオン線を用いて重粒子線治療の効果を最大化させる治療手技である Intensity-Modulated Composite Particle Therapy (IMPACT)の治療中に発生する 2 次中性子を患者の位置で測定した。これらの結果は陽子線治療中に発生する 2 次中性子線量と比較した。

(3)モンテカルロシミュレーションによる臓器線量評価

小児小脳上衣腫の炭素線治療における 2 次粒子線の線量についてモンテカルロ計算コード PHITS を用いて算出した。モンテカルロ計算は研究代表者の所属である QST-NIRS で運用中のスキニング治療と過去運用していたパッシブ治療を計算し比較した、更に先行研究で示されている同様の条件で計算された陽子線治療の中性子等価線量と比較した

4. 研究成果

(1)実測による中性子線の線量評価

実測による中性子線の線量評価の結果は、ES-method は RS 及び HS-method と比較して 2 次中性子の線量を最大 50%程度減少出来ること、炭素線治療は陽子線治療と比較して照射野外中性子線量が低減出来る事を示した。更に、IMPACT 治療に利用するイオン種においても陽子線治療と比較して照射野外中性子線量が低減出来る事を示した。結果の一例を以下に示す。

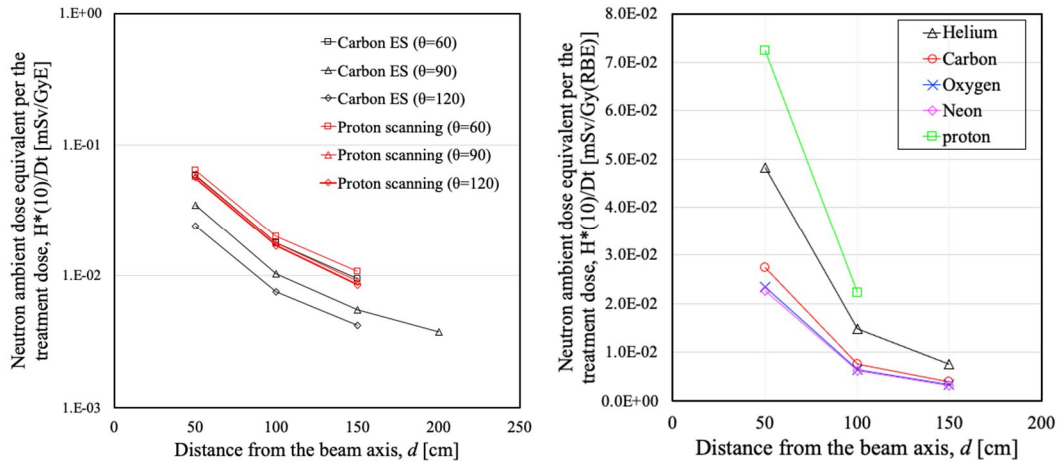


Fig.1 中性子の測定結果 (左図) ES-method を用いた炭素線治療及び陽子線治療中の中性子線量分布。(右図) IMPACT で利用するイオン種と陽子線の治療照射時の中性子線量分布。

(2)モンテカルロシミュレーションによる臓器線量評価

モンテカルロシミュレーションによる炭素線治療時の臓器線量の計算結果は、現在主流であるスキャンニング治療は従来用いられていたパッシブ治療と比較して照射野外の線量を 7-15%に減少出来ること、炭素線治療は陽子線治療と比較して照射野外の中性子線量を 5-16%に減少出来る事を示した。

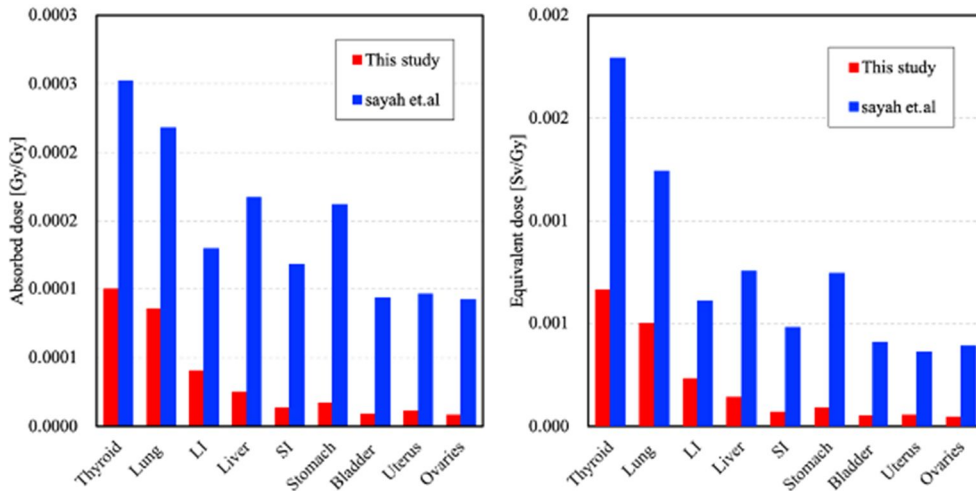


Fig.2 小児頭蓋内腫瘍に対する炭素線治療と陽子線治療の中性子線量の比較 (左図) 炭素及び陽子線治療時の中性子による吸収線量の比較。(右図) 炭素及び陽子線治療時の中性子による等価線量の比較。

これらの結果から、小児に対する陽子線治療と比較して重粒子線治療がより患者の 2 次発がんリスクを低減出来る事が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsumoto Shinnosuke, Yonai Shunsuke	4. 巻 193
2. 論文標題 EVALUATION OF NEUTRON AMBIENT DOSE EQUIVALENT IN INTENSITY-MODULATED COMPOSITE PARTICLE THERAPY	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 90～95
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/rpd/ncab031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumoto Shinnosuke, Yonai Shunsuke	4. 巻 191
2. 論文標題 EVALUATION OF NEUTRON AMBIENT DOSE EQUIVALENT IN CARBON-ION RADIOTHERAPY WITH ENERGY SCANNING	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 310～318
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/rpd/ncaa166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumoto Shinnosuke, Yonai Shunsuke, Bolch Wesley E.	4. 巻 46
2. 論文標題 Monte Carlo study of out of field exposure in carbon ion radiotherapy: Organ doses in pediatric brain tumor treatment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 5824～5832
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/mp.13864	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Chang Weishan, Koba Yusuke, Furuta Takuya, Yonai Shunsuke, Hashimoto Shintaro, Matsumoto Shinnosuke, Sato Tatsuhiko	4. 巻 62
2. 論文標題 Technical Note: validation of a material assignment method for a retrospective study of carbon-ion radiotherapy using Monte Carlo simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 846～855
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jrr/rrab028	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yonai Shunsuke、Matsumoto Shinnosuke	4. 巻 46
2. 論文標題 Secondary Neutron Dose in Carbon-ion Radiotherapy: Investigations in QST-NIRS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Protection and Research	6. 最初と最後の頁 39～47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14407/jrpr.2020.00276	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Shinnosuke Matsumoto、Shunsuke Yonai
2. 発表標題 Monte Carlo study of out-of-field exposure in carbon-ion radiotherapy with a passive beam: Organ doses in pediatric brain tumor treatment
3. 学会等名 第117回日本医学物理学学会学術大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinnosuke Matsumoto、Shunsuke Yonai
2. 発表標題 Monte Carlo study of out-of-field exposure in carbon-ion radiotherapy: Quality Factor in pediatric brain tumor treatment
3. 学会等名 第118回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinnosuke Matsumoto、Shunsuke Yonai
2. 発表標題 Monte Carlo study of out-of-field exposure in carbon-ion radiotherapy: Organ doses in pediatric brain tumor treatment
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Dosimetry and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------