

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101
研究種目：奨励研究
研究期間：2022～2022
課題番号：22H04380
研究課題名 陽子線治療における高精度計算に基づく患者線量検証法に関する研究

研究代表者

松本 拓也 (Matsumoto, Takuya)

北海道大学・大学病院・診療放射線技師

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 480,000円

研究成果の概要：本研究では、高速かつ高精度な線量計算法である簡易モンテカルロ(SMC)法を用いて、測定に基づく従来の患者QAを代替する手法を開発した。本手法を臨床で適用するため、SMC法の計算アルゴリズムのパラメータ調整や過去に治療された患者のデータを用いた遡及的な解析を行った。その結果、本手法は治療装置から照射される陽子線の挙動を正確にシミュレーションできていることが確認され、患者QA手法として有用であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

患者QAは陽子線治療を含めた放射線治療を安全かつ適切に施行するために必須の作業であるが、従来の方法では作業時間の長さや作業のために治療装置を占有しなければならない等の課題があった。本研究で開発した計算に基づく患者QAはコンピュータ1台のみで作業が可能であり、また計算も高速であることから非常に効率よく患者QAを行うことができる。これは、QAの治療装置占有時間の減少に伴う1日に治療可能な患者数の増加や、治療準備期間の短縮によって緊急性の高い症例など、より幅広い患者の治療適応が期待できる。よって本成果は、高品質ながん治療をより多くの患者へ提供することに繋がり、社会福祉に大きく貢献するものと考えられる。

研究分野：放射線治療

キーワード：陽子線治療 患者QA モンテカルロ計算 簡易モンテカルロ法 放射線治療

1. 研究の目的

陽子線を用いたがん治療では、陽子線の照射位置や照射量を定めた治療計画をコンピュータ上で計算、作成したのち、治療の質や安全性を検証するために患者 QA(Quality Assurance)を実施する。従来の患者 QA として一般的な方法は、専用の陽子線線量測定装置に対して実際に治療ビームを照射し、測定された線量と治療計画で作成した線量に乖離がないか確認する方法である。この方法は実測による高い信頼性を持つ反面、測定及び解析作業にマンパワーが必要である点や、測定のために治療装置を占有する特性から 1 日に治療可能な患者数を制限する必要がある点など、課題が多い(図 1)。この課題の解決として近年、従来測定で求めていた陽子線線量を高精度な線量計算アルゴリズムによって求める手法が開発され始めている。そこで本研究は、高精度線量計算アルゴリズムの一つである簡易モンテカルロ(SMC)法を用いた計算に基づく患者 QA が従来の測定に基づく患者 QA と代替可能であるか検討し、臨床に適用するための精度検証を目的とした。



図 1：陽子線治療のフロー(上)と従来の患者 QA の課題(下)

2. 研究成果

(1) SMC 計算アルゴリズムと治療装置の合わせ込みおよび精度検証

SMC 法を用いた患者 QA を臨床に適用するためには、自施設の治療装置から照射される陽子線の挙動を SMC 計算アルゴリズムが正確に再現する必要がある。そのため本研究では、治療装置に固有のパラメータ(ビームパラメータ)を SMC 計算アルゴリズムに登録し、パラメータに対して種々の補正を行うことで、SMC 計算アルゴリズムの出力が患者 QA に必要な絶対線量となるように調整した。

この調整による SMC 計算アルゴリズムの精度を確認するため、シンプルな体系を想定した精度検証を行った。方法としては、様々な大きさの直方体に対してそれぞれ均一な陽子線量を照射する治療計画を作成した(図 2 左)。この治療計画を SMC 法で計算し、計算結果と実際の治療装置で照射した場合の絶対線量を比較した。例として $10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$ の直方体に対する結果を示す(図 2 右)。SMC 法の計算値は、治療計画装置(TPS)の計算値および治療装置で実際に照射した際の測定値と良好に一致しており、SMC 計算アルゴリズムが自施設の治療装置を正確に再現できていることが確認できた。この傾向は他の直方体に対しても同様にみられた。

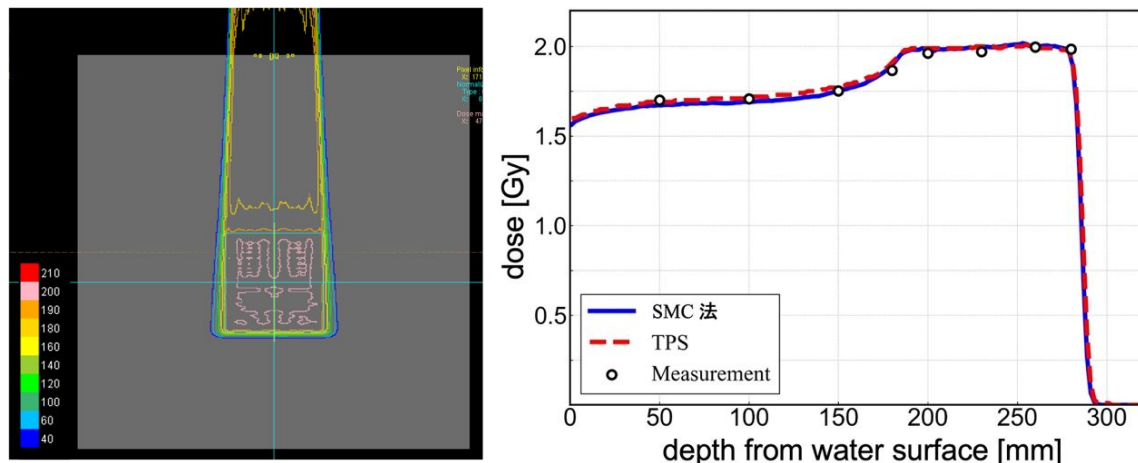


図 2 :(1)の精度検証で作成した治療計画(左)および検証結果(右)

(2) 実患者による検証

(1)の検証によってシンプルな体系における SMC 法の計算精度が確認できたため、より複雑な体系である実際の患者に対する精度検証を行った。過去に陽子線治療を行った患者を対象とし、過去の測定による患者 QA で得られたガンマ解析の結果と、同患者を SMC 法で計算した際に得られるガンマ解析の結果を比較した。ガンマ解析とは患者 QA で一般的に使用する手法で、2つの値の一致度を評価するために用いられる。つまり、過去の患者 QA の場合は得られた測定値と治療計画値の一致度を評価し、SMC 法の場合は SMC 計算アルゴリズムの出力と治療計画値の一致度を評価する。結果を図 3 に示す。SMC 法を用いた場合のガンマパス率 (Gamma Pass Rate : GPR) は従来法と同程度であることが確認でき、SMC 法を用いた計算に基づく患者 QA が従来の測定に基づく患者 QA と代替可能であることが示唆された。一方で、本研究の実患者による検証は一部の治療部位に留まっている。適用可能な治療部位を拡大するため、今後更に検討を重ねていく必要がある。

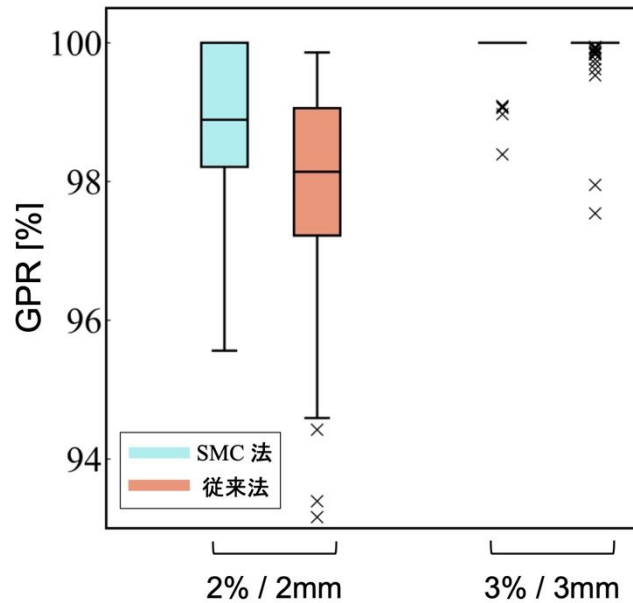


図 3 : 過去の患者による検証結果

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Takuya Matsumoto, Koichi Miyazaki, Seishin Takao, Yuto Matsuo, Takahiro Yamada, Taisuke Takayanagi, Shusuke Hirayama, Taeko Matsuura, Hidefumi Aoyama
2. 発表標題 Dosimetric evaluation of log-based simplified Monte Carlo dose calculation for efficient patient-specific QA in spot-scanning proton therapy
3. 学会等名 The 123rd scientific meeting of the Japan Society of Medical Physics
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
----	--------