

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：82606

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26460739

研究課題名(和文)陽子線治療におけるワブラー照射法に対する高精度線量計算法・患者校正値算出法の開発

研究課題名(英文)Monitor Unit Calculation for Passive Beam Delivery System in Proton Therapy

研究代表者

堀田 健二 (HOTTA, KENJI)

国立研究開発法人国立がん研究センター・先端医療開発センター・医学物理士

研究者番号：60616134

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：陽子線治療において患者校正値は患者への照射線量を管理する重要な値である。申請者は陽子線治療における患者校正値算出システムを開発し、1215例の臨床条件にて精度検証を実施した。その結果、10例を除く1205例で実測との誤差3%以内の許容値を満たし、実用可能な性能であることを示した。許容値を満たさない10例については照射野が小さい症例であり、直径4 cmを下回る照射野では実測値を用いることが妥当であると結論した。

研究成果の概要(英文)：In proton therapy, the patient calibration factor is an important value for controlling the irradiation dose to the patient. We developed a patient calibration value calculation system for proton beam therapy and evaluated the accuracy for 1215 clinical conditions. As a result, in 1205 cases excluding 10 cases, the tolerance value within 3% of the error from actual measurement. The 10 cases not meeting the tolerance were small field size below 4 cm in diameter. We result that the calculation method has sufficient performance only in cases with a diameter of 4 cm or more.

研究分野：陽子線治療

キーワード：陽子線治療 放射線治療 線量シミュレーション モニターユニット 医学物理

1. 研究開始当初の背景

がんの放射線治療において、陽子線の利用は正常組織への影響の低減というアドバンテージを持つ。放射線治療の成否を握るファクターの一つに線量モニターでのカウント値(MU: Monitor Unit)によって管理される照射線量がある。通常のX線治療では治療計画装置によって照射線量を決定するが、陽子線治療では患者ごとの実測により管理されていた。その原因として、陽子線治療における線量計算法の高精度化が進められていないことが挙げられる。

陽子線治療では加速器から取り出したビームを広げて使う拡大ビーム法が主に臨床で使われている。この方式ではエネルギー、ファインデグレダ、照射野形状といった治療ビームの条件により、MUと処方線量の関係が様々に変化することが知られており、計算による決定が困難であったため、実測によりMUが求められていた。

2. 研究の目的

実測によるMUの決定は、測定誤差の介在による治療精度の低下の可能性を孕んでいる。本研究では、陽子線治療の更なる普及を目指し、拡大ビーム法の一つであるワブラー照射法に対して治療計画装置でのMUの決定手法を開発した。

3. 研究の方法

陽子線治療では、標準条件(図1d)を基準とした患者ビーム条件(図1a)での線量モニターの応答補正値をかけることで、MUを算出している。これを計算により決定する方法として、図1に示すようなプロセスに分割し、ビームのエネルギーやレンジシフタ厚、拡大ブラッグピーク(SOBP)の幅に関するファクター(F_{BSD})と、ポーラスや患者コリメータ、スノート位置に関する補正係数(F_{PS})、照射野効果に関するファクター(F_{FS})の積として線量モニターの応答補正値を算出するモデルを構築した。

各患者において共通のデバイスであるエネルギーやレンジシフタ厚、SOBP幅に関するファクター(F_{BSD})および照射野効果に関するファクター(F_{FS})は指頭型電離箱(PTW30013)を用いて実測した。

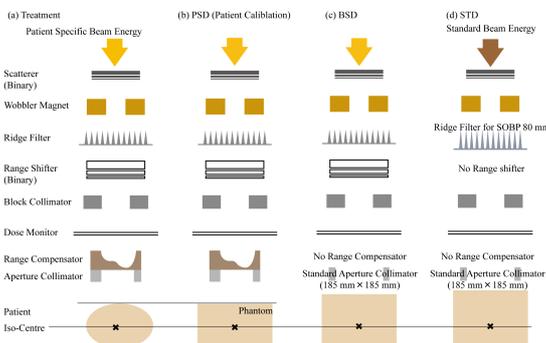


図1. 陽子線治療におけるMU決定の要素

ポーラスや患者コリメータ、スノート位置に関する補正係数(F_{PS})に関してはシミュレーションによって求めるものとし、ワブラー照射法における簡易モンテカルロ法を利用した線量シミュレーション法を開発し、治療計画装置に実装した。正確な線量シミュレーションにはワブラー電磁石の配置を反映した入射ビームモデルが必要であり、先行研究を参考にこれを構築した。

実際に治療のために測定した線量モニターの応答補正値と比較することで、計算結果の妥当性を評価した。

4. 研究成果

(1) F_{BSD} の取得

F_{BSD} の値を測定し、図2のような結果を得た。SOBP幅が大きくなるほど、レンジシフタ厚が大きくなるほど小さくなるという傾向があり、測定条件間のデータは直線近似で十分に補充可能であり、テーブル化し治療計画装置で運用可能な形とした。

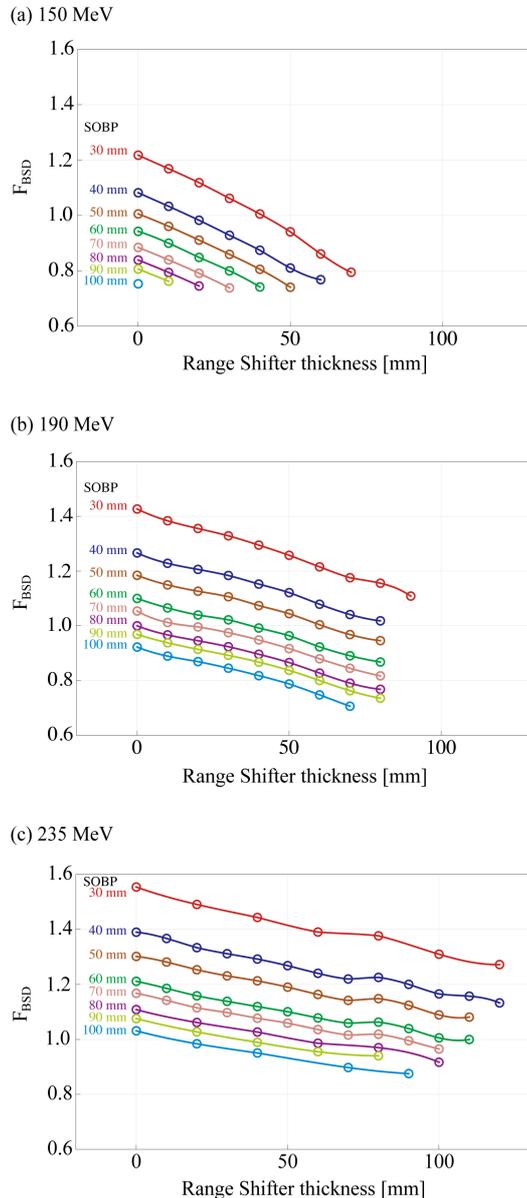


図2. 各条件における F_{BSD} の実測値

(2) F_{PS} を求めるための線量計算法の開発

F_{PS} を求めるため、ワブラー照射法における簡易モンテカル口法を利用した線量シミュレーション法を開発し、治療計画装置に実装した。当初は計算時間が1照射野につき30分と膨大であったが、GPGPUに対応することで20倍の計算速度向上を実現した。

(3) F_{FS} の取得

F_{FS} の値を測定し、図3のような結果を得た。当初はエネルギーごとに測定する予定であったが、レンジシフト厚にも依存することがわかり、これについても測定した結果、陽子の残余飛程の関数としてテーブル化することができた。この結果を利用してClarkson積分を用いることで、 F_{FS} の値を算出するシステムを構築した。

(4) 臨床例との比較による計算精度の検証

1215例の臨床条件にて精度検証を実施した。計算結果に対する実測値の誤差は $-0.46 \pm 1.42\%$ (最大+4.8%、最小-6.2%) であり、頻度分布は図4のヒストグラムようになった。10例を除く1205例で実測との誤差3%以

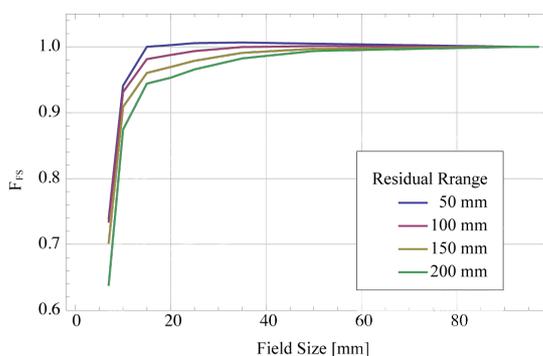


図3.照射野サイズ効果の測定結果

内の許容値を満たしており、実用可能なレベルであると言える。

一方で、許容値を満たさない10例は直径4cmを下回る照射野であった。解析の途中で F_{FS} のサンプリングデータを追加したが、計算精度の向上は得られなかった。

Clarkson 積分のデータサンプリング条件

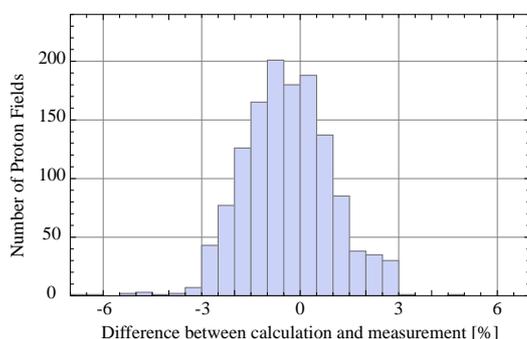


図4.患者校正値の誤差のヒストグラム

として、スノート位置、ブラッグピーク深、SOBP幅、と多岐にわたり、これらを網羅することは困難である。小照射野の出現頻度は大きくないため、4cm以上の照射野でのみ理論値を用い、それを下回る照射野では実測値を用いることが妥当であると結論づけた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Moriya Shunsuke, Tachibana Hidenobu, Hotta Kenji: Feasibility of dynamic adaptive passive scattering proton therapy with computed tomography image guidance in the lung. Medical Physics 44:4474-4481(2017)

doi: 10.1002/mp.12444

Kenji Hotta, Ryosuke Kohno, Kohsuke Nagafuchi: Monitor Unit Calculation with Using a Simplified Monte Carlo Method for Passive Beam Delivery System in Proton Therapy. Journal of Applied Clinical Medical Physics 16(5):228-238 (2015)

doi: 10.1120/jacmp.v16i5.5419.

[学会発表](計2件)

Mizutani S, Hotta K, Baba H(2017) Development of dose verification system using a simplified Monte Carlo method for scanned proton therapy, 56th Annual Conference of the Particle Therapy Co-Operative Group パシフィコ横浜(神奈川) 5月8日

永田裕規、河野良介、堀田健二(2014) 陽子線治療におけるワブラー法に対する患者校正値算出法の開発 第27回放射線腫瘍学会 パシフィコ横浜(神奈川) 12月11日

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀田 健二 (HOTTA KENJI)

国立研究開発法人国立がん研究センター・先端医療開発センター・医学物理士
研究者番号: 60616134

(2)研究分担者

河野 良介 (KOHNO RYOSUKE)
国立研究開発法人国立がん研究センター・先端医療開発センター・研究員
研究者番号：20392227

馬場 大海 (BABA HIROMI)
国立研究開発法人国立がん研究センター・先端医療開発センター・医学物理士
研究者番号：70763572

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし