

ワブラー法を用いた陽子線治療におけるlateral dose profileの検証

南東北がん陽子線治療センター ○武政 公大(Takemasa Kimihiro)

加藤 貴弘 山崎 雄平 原田 崇臣 太田 裕樹
小松 俊介 加藤 雅人 遠藤 浩光 本柳 智章

【目的】

ワブラー法は、陽子線治療における照射野形成方法の一つであり、ワブラー電磁石と鉛製散乱体を用いてラテラル方向に一様な線量分布を形成している¹⁾。ワブラー電磁石は、陽子線を回転磁場でX、Y 方向に同時に回転させているが、ビームライン上でのX、Y方向電磁石の幾何学的配置が異なるため、実際にはアイソセンタ平面上に投影されるlateral dose profile(以下、LDP)はX、Y 方向で一致しないという特徴を持つ。本研究ではこの違いがスノート位置と照射野サイズでどのように変化するかを調査した。

【方法】

陽子線治療装置、治療計画装置、2次元電離箱検出器にはそれぞれ陽子タイプ(三菱電機)、XiO-M(ELEKTA)、OCTAVIUS Detector 729XDR(PW)を用いた。陽子線エネルギー、Spread-out Bragg peak(以下、SOBP)サイズはそれぞれ150 MeV、60 mmとし、スノート位置、照射野サイズを段階的に変化させた条件においてSOBP中心のX、Y方向LDPの傾向を比較検討した。スノート位置はアイソセンタからの距離で示され、最下流の250 mm、最上流の670 mmおよびその間の400 mmの位置とした。3つのスノート位置に対してそれぞれ4つの照射野サイズについて測定を行った。MLCは40枚あり、中心から10枚ずつ開きながら、正方形照射野となるように開度値を設定した。なお、MLCがスノートに内蔵されていることから、同じ枚数のMLCを開いたとしてもスノート位置によってアイソセンタ平面上に投影される照射野サイズは異なっている。測定は空間分解能を高めるため、各条件において寝台を5 mmステップで駆動させた4回分の測定データをmergeさせるようにした。X方向(cross-line)、Y方向(in-line)のLDPから、フィールド幅とペナンプラの解析を行い、計算値との比較をした。プロファイルをビーム中心軸で正規化したとき、フィールド幅は線量が50%となる幅とし、X、Y方向の違いをそれぞれの片側フィールド幅の差の絶対値として求め、 $Difference_{50}$ と定義した(Fig.1)。次に、線量が20~80%の幅をペナンプラ(P_{20-80})とし(Fig.2)、絶対値として求めてX、Y方向で比較した。

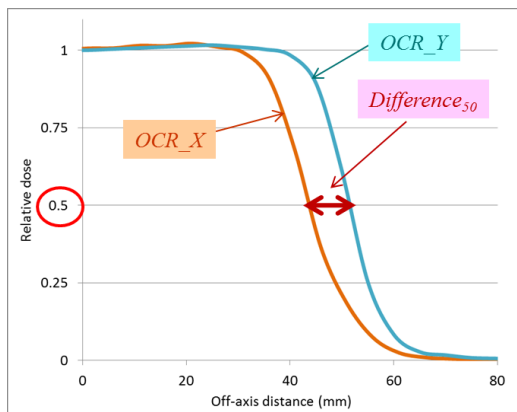


Fig.1 $Difference_{50}$ の定義

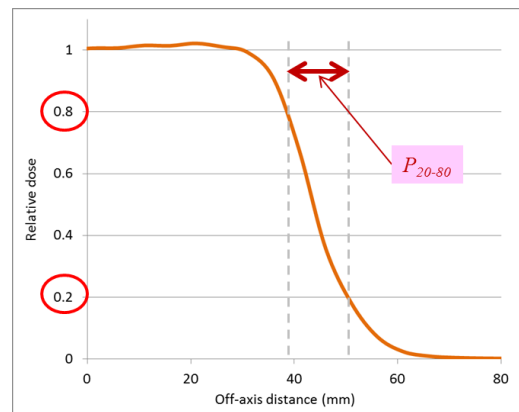


Fig.2 P_{20-80} の定義

【結果】

Fig.3にスノート位置が最下流である250 mmと最上流である670 mmのOCTAVIUSでの測定結果を示す。ワブラー電磁石の幾何学的な配置の影響からY方向の方が幅が広がっていることがわかる。スノート位置400mmの結果は示していないが、スノートが上流に位置するほどX、Y方向のLDPの乖離が顕著になる傾向にあった。

Fig.4に $Difference_{50}$ の実測値と計算値の結果を示す。スノートが上流に位置するほど $Difference_{50}$ は大きくなるが、実測値と計算値は1 mm以内で一致していることが確認できた。

Fig.5にX、Y方向の P_{20-80} の実測値と計算値の結果それぞれ示す。スノートが上流に位置するほど実測値と計算値の乖離は大きくなる傾向にあり、とりわけX方向において顕著であった。

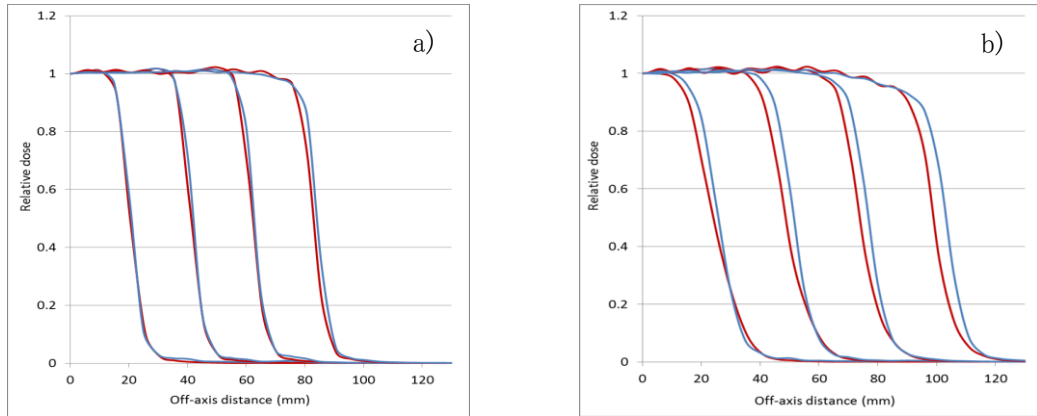


Fig.3 スノート位置250 mm(a)および670 mm(b)におけるLDP実測結果。
赤線:X方向、青線:Y方向

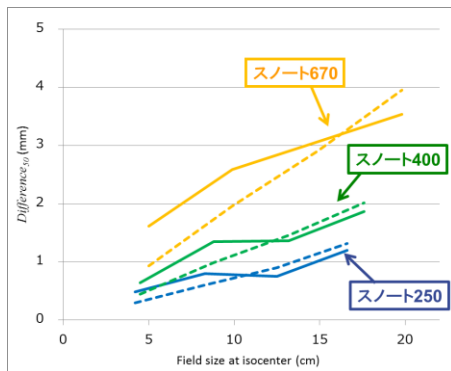


Fig.4 $Difference_{50}$ の計算値と実測値の比較結果。
実線:測定値、点線:計算値。

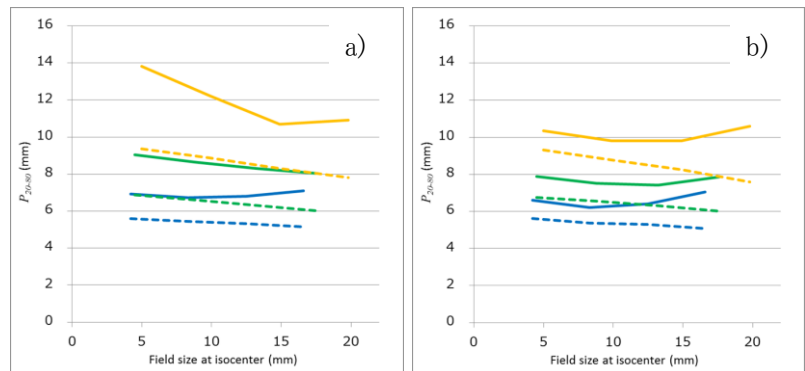


Fig.5 X方向(a)およびY方向(b)における P_{20-80} の計算値と実測値の比較結果。
実線:測定値、点線:計算値。

【考察】

$Difference_{50}$ はスノート位置が上流に位置ほど大きくなるが、計画値との乖離は1mm以内であり、よく一致していた。 P_{20-80} はスノート位置が上流に位置するほど大きくなり、実測値と計算値の乖離も大きくなる。また、照射野サイズが大きくなるほど P_{20-80} の実測値と計算値に乖離が生じる傾向にある。これらは陽子線のコリメータからの散乱が計算上、十分に考慮できていないことが影響しているものと考えられる。したがって、治療計画立案時にはスノートをできるだけ下流に設置する必要があるものと考えられる。

今回は、陽子線エネルギー、SOBPサイズともに1種類に限定した照射野条件での検証であったが、ワブラー法の照射野形成条件は無限にあると言っても過言ではなく、今回の結果から普遍的な結論を見出すことは難しいと考えられる。特にレンジシフトをさらに挿入した、残飛程が短くなる照射野形成条件では低エネルギー陽子線の影響で傾向が異なってくる可能性がある。また、ボース利用時やエネルギー、評価深の違いによっても傾向が異なる可能性があり引き続き調査を行っていきたいと考えている。

【結論】

ワブラー法におけるLDPの違いがスノート位置と照射野サイズでどのように変化するかを調査した。スノートが上流にあるほどX、Y方向の不一致は大きくなり、計算値とも乖離する傾向にあった。治療計画立案時にはスノートをできるだけ下流に設置することが重要であると考えられた。

【参考文献】

- 1) Tomura H, Kanai T, Higashi A, et al.: Analysis of the penumbra for uniform irradiation fields delivered by a wobblers method. Jpn. J. Med. Phys. 18: 42-56, 1998