

陽子線に対する TLD シートの応答特性

南東北がん陽子線治療センター ○加藤 貴弘(Kato Takahiro)

山崎 雄平 加藤 亮平 武政 公大 竹内 瑛彦 下小牧 遼太 原田 崇臣
成田 優輝 小森 慎也 遠藤 浩光 小山 翔 本柳 智章

【目的】

陽子線では高エネルギーX線のような顕著なビルドアップ効果による皮膚保護効果が働かないため、皮膚直下にターゲットが存在する頭頸部領域では皮膚線量を下げるように強く意識して治療計画を立案する必要がある。しかしながら、治療期間中の腫瘍縮小や体型変化により、皮膚が高線量域に変位することが稀ならずあり、再治療計画の検討が必要となる。皮膚線量の経時的変化をモニタする方法の一つとしてin vivo dosimetryが考えられるが、陽子線には飛程が存在するため、飛程に影響しにくいサイズや組成の検出器を選択することが重要となる。従来、In vivo dosimetryに用いられていたTLD、ガラス線量計、半導体検出器、フィルムなどはいずれもサイズや取扱いに課題が残されていたが、近年、新たなに物理厚が0.15mmと極薄のTLDシートが開発されたことから、陽子線治療におけるin vivo dosimetryへの応用に向けた基礎的応答特性について検討した。

【使用機器】

- ・陽子線治療装置 : 陽子タイプ(三菱電機)
- ・リニアック : TreuBeam(Varian)
- ・TLDシート : TLDシート150 μ m(東洋メディック)
- ・TLDシート読取装置 : TLDR-1(東洋メディック)
- ・解析ソフト : Image J (Freeware)
- ・フィルム : EBT3(ASHLAND)
- ・線量計 : Advanced Markus(PTW)・TN31013(PTW)
- ・電位計 : MT0950 6517A(Keithley)
- ・ファントム : TMファントム(タイセイメディカル)
水平水ファントム(三菱電機)



Fig.1 TLD シート外観

【TLDシート仕様】

TLDシートと読み取り装置外観をFig.1, 2に示す。主成分は、三ホウ酸リチウムと酸化ホウ素の混合物となっており、TLDシートサイズは最大150 mm × 150 mmでカットして小さいサイズでの読取りも可能である。実効原子番号は、7.3であり、組織等価性を有している。現在、開発途上の段階にあることもあり、エネルギー依存性、線量応答特性などの詳細は十分に明らかにされていない。



Fig.2 TLDシート読取装置外観

【方法】

今回は、in vivo dosimetryへの応用に向けた基礎的検討として150 MeV、210 MeVのmono-energetic beam(MONO beam)およびspread-out Bragg peak beam(SOBP beam)に対する基礎的応答特性の検証を中心として実施した。検討項目としては1.線量応答特性、2.エネルギー特性、3.水等価厚測定との3項目とした。以下にそれぞれの方法を示す。なお、読取りは全て照射後約1日で実施するようにした。

1.線量応答特性

30 mm × 30 mmに裁断したTLDシートを固体ファントム中に設置し、物理線量で0~10 Gyまで13ステップで照射した。TLDシート設置深は、210 MeV MONO beamのプラトー領域(20 mm深)、150 MeV 20 mm SOBP beamのSOBP中心とした。また、参考として4 MVおよび10 MVの高エネルギーX線に対しても実施した(100 mm深)。

2.エネルギー特性

エネルギー特性を観察するため、TLDシートを水中でビーム軸に平行に設置し、PDDを取得した。150 MeV MONO beam、150 MeV 60 mm SOBPビームに対して実施したが、フィルムのサイズが最大で150 mmと制限があることから、それぞれレンジシフトを27 mm挿入することで飛程がTLDシートサイズ内に十分収まるよう

に調整した。同条件でアドバンストマーカスを用いて測定したPDDと比較検討した。

3.水等価厚測定

横打ちタイプの水平水ファントムを用いてビーム入射表面に試料を貼り付けた状態でPDD測定を実施した。比較対象としてTLDシートに加えてEBT3についても同様に実施した。測定精度を高めるために試料は10枚重ねるようにした。試料の有無によるPDDの飛程差から水等価厚を導出した。

【結果】

線量応答特性の結果をFig.3に示す。X線、陽子線ともに広範囲に渡って直線性を有しているが、傾向は若干異なっていることが確認できた。次にPDDの測定結果をFig.4に示す。MONO beamは、プラトー領域およびブラッグピークもよく一致していたのに対してSOBP beamではSOBP領域のdistal部分でTLDシートにおいて応答特性の低下が認められた。水等価厚に関してはTLDシート、EBT3の物理厚の公証値はそれぞれ0.15 mm、0.27 mmであるのに対し、実測値は0.22 mm、0.36 mmであり、両者は0.1 mm以内で一致していることが確認できた。

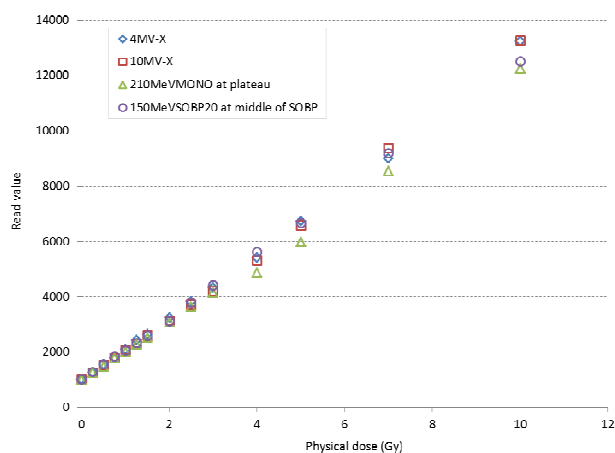


Fig.3 線量応答特性

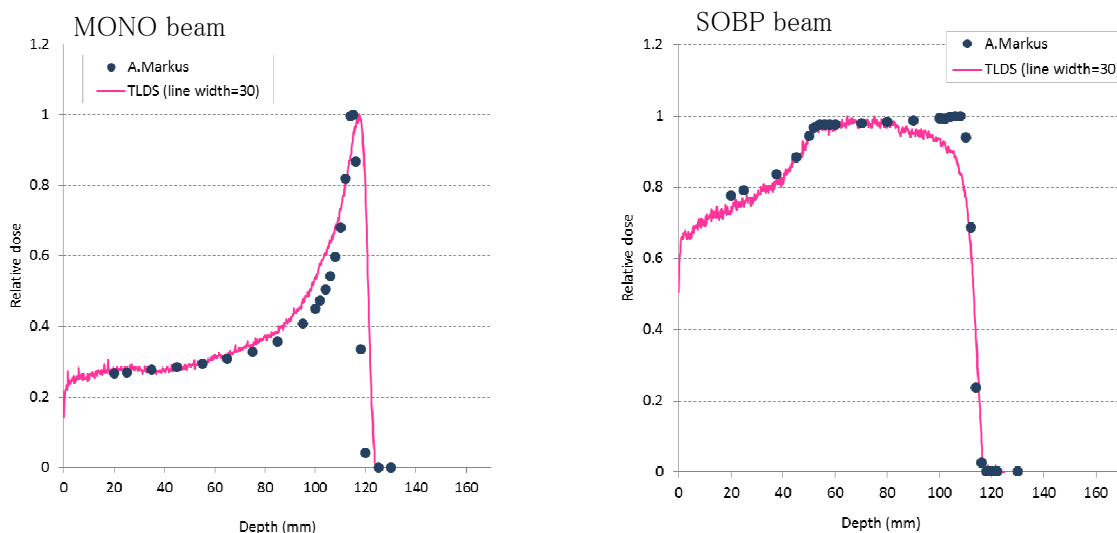


Fig.4 TLDシート(TLDS)とアドバンストマーカスのPDD比較結果

【考察】

線量応答特性は、広範囲で直線性が保たれており、in vivo dosimetryに十分対応できるものと考えられた。線種、線質による線量応答特性の違いは比較的小さかったが、定量評価を行うためにはフェーディング特性も踏まえた詳細な検討を行う必要があると考えている。SOBP beamのPDDの結果から低エネルギー陽子線においてレスポンスが低下する可能性が示唆されたが、MONO beamでは認められなかったことから、この点についても引き続き検討を行う必要があると考えられる。しかしながら、低エネルギー成分が支配的となるdistal endの皮膚表面への寄与は大きくないことから皮膚線量のin vivo dosimetryツールとして実用に耐え得るものと考えられた。また、水等価厚も実測値で0.22 mmと非常に薄く、飛程への影響も無視し得るレベルにあることが確認できた。

【結論】

陽子線に対するTLDシートの基礎的応答特性について検証することでin vivo dosimetry用ツールとしての利用の可能性について検討した。フェーディング特性などさらなる追加検討も必要であるが、TLDシートの線量応答特性は広範囲で直線性が保たれており、飛程への影響も小さいことから皮膚線量の経時的モニタリングツールとして利用できる可能性が示唆された。