

CBCT画像を用いた治療時の線量分布推定方法の臨床利用へ向けた検討

南東北がん陽子線治療センター ○真崎 敬大 (Masaki Keita)

新井 一弘 阿部 良知 太田 裕樹 遠藤 浩光 小森 慎也

福島県立医科大学 加藤 貴弘

【目的】

近年、位置照合目的で撮影されるCBCT画像を用いて治療時の線量分布を推定する試みが多数報告されている。治療時の線量分布を推定することができれば今後の治療方針を検討する上で重要な判断材料となるが、線量分布の評価に至るまでには多くの処理を要し、症例解析を多数行うことを想定するとルーチン業務として行うには課題が多いと言える。また、CBCT画像上で線量計算を行う際の計算精度や治療期間中の臓器変動の考慮方法など課題として挙げられる点も少なくない。そこで本研究ではCBCTの撮影から線量分布の評価を行うまでに必要となるプロセスを見直し、線量分布推定法の精度向上に寄与する要素を加えつつ処理を自動で実行する環境の構築を、オープンソースソフトウェアを中心に行うことを目的とした。

【方法】

当院で毎回CBCTによる画像照合を行い、VMATを施行した中リスク前立腺癌1例を対象に検討を行った。処方線量はPTVに対するDmean処方 74 Gy/37分割であった。治療計画装置はEclipse ver.11(Varian Medical Systems)、線量計算アルゴリズムはAnisotropic Analytical Algorithm ver.11を使用した。

はじめに画像照合時の座標移動情報を基にCBCT画像の座標系を計画CTと一致させた。次に、線量計算精度の向上を目的としてCBCT画像にヒストグラムマッチングを行い、CT値の累積ヒストグラムを計画CTと一致させた。その後、ヒストグラムマッチング処理後のCBCT画像に治療計画をコピーし、線量計算を行った。

算出した各治療回の線量分布はDeformable Image Registration(DIR)を用いて合算した。まず、CBCT画像上に前立腺、直腸、膀胱の輪郭を入力した。入力した輪郭を用いて、臓器の内側なら正、外側なら負の符号を持つ輪郭境界からの最短距離を画素値とする距離画像を作成した。計画CTと各治療回のCBCT画像からそれぞれ作成した距離画像間でDIRを行い、CBCT画像上の輪郭を計画CTのものと同じさせる変位ベクトル場を得た。DIRはオープンソースソフトウェアplastimatchのdemonsアルゴリズムにより行い、DIRの精度はダイス係数とハウスドルフ距離を用いて評価した。

DIRにより得た各治療回の変位ベクトル場を用いてCBCT画像上で計算した線量分布を計画CT上へ変位させ、全治療回の線量分布を合算した。計画CT上で合算した線量分布からCTV、直腸壁、膀胱壁のDVHを算出し、計画値と比較した。治療計画装置上のプロセスを除く一連の処理の実行にはMATLAB R2018a(MathWorks)をベースとしたin-houseのソフトウェアを用いて自動化を図った。

【結果】

前立腺、直腸、膀胱の全臓器輪郭を足し合わせた領域に関して、DIR前後のダイス係数とハウスドルフ距離を比較した結果をFig.1に示す。DIR後の各治療回の臓器輪郭はほぼ完全に計画CT上の輪郭と一致した。また、一連の処理を通じて推定した治療時のDVHをFig.2に示す。治療を通してCTVのカバレレッジは計画値と同等に保たれていることが確認できた。計画値と比べて直腸壁の線量は低く、膀胱壁の線量は高く推定されたものの、共に当院の線量制約を満たしていることが確認できた。

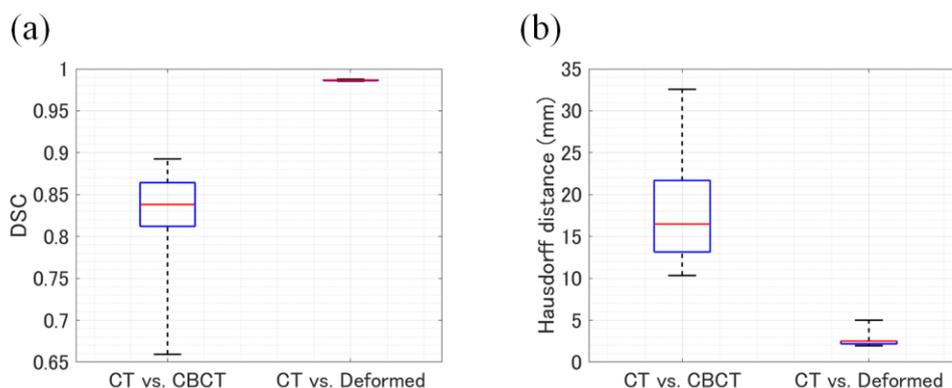


Fig.1 DIR前後の臓器輪郭一致度の比較

(a)ダイス係数 (b)ハウスドルフ距離

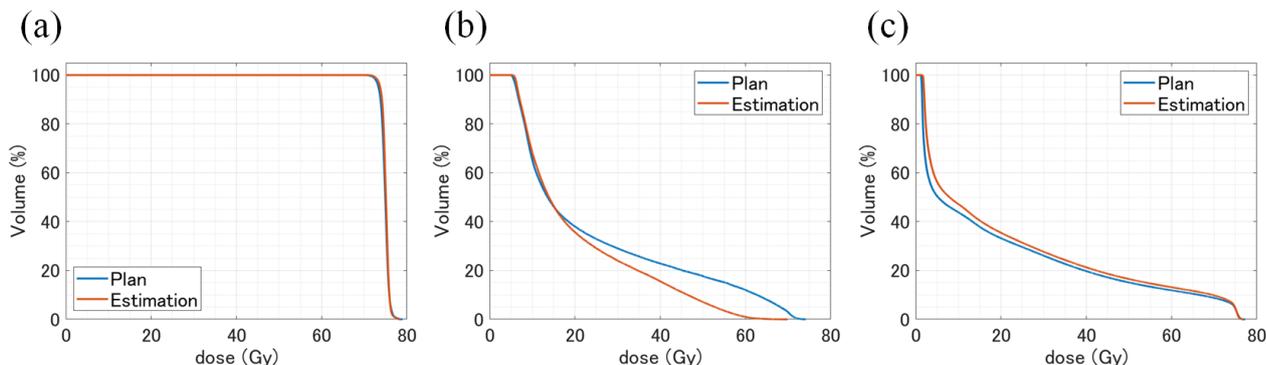


Fig. 2 推定したDVHと計画値の比較
(a)CTV (b)直腸壁 (c)膀胱壁

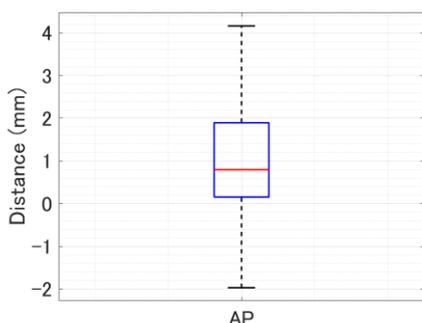


Fig.3 前立腺と直腸のAP方向の重心間距離
(治療計画時からの差の分布)

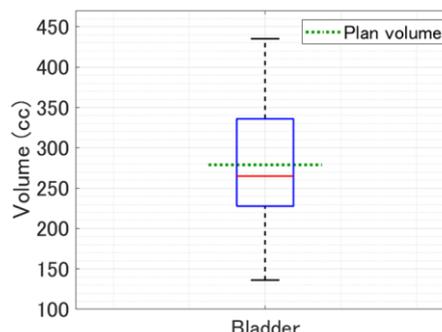


Fig.4 治療期間中の膀胱体積の分布

【考察】

ダイス係数、ハウドルフ距離の評価より、DIRは高い精度で実行できていたことが確認できた。DVHの算出を最終的な目的としている本方法にとって臓器輪郭の一致度は推定精度に直接関わる重要な要素であり、DIR後のダイス係数の平均値が0.99と高い値であったのは特筆すべき点であった。

推定したCTVのDVHは計画値とよく一致し、CBCTによる画像照合が精度良く行われたことが示唆された。しかし、直腸壁のDVHは線量が小さくなる傾向、膀胱壁のDVHは線量が大きくなる傾向で計画値と差が見られた。まず、全治療回の前立腺と直腸のAP方向における重心間距離を解析すると、37回中30回の治療回において計画時よりも距離が離れていた(Fig.3)。CBCTにより前立腺位置が照合された状態で前立腺と直腸間の距離が離れれば直腸壁の線量が小さくなることは自然であり、推定したDVHの傾向と矛盾しない結果であると考えられる。次に、全治療回の膀胱体積を解析すると37回中20回の治療回において計画時よりも体積が小さかった (Fig.4)。膀胱体積が小さいほどDVH上線量は大きくなるので、この結果もまた推定したDVHの傾向と矛盾しない結果であると考えられる。

以上のように、推定したDVHは臓器の重心位置や体積を解析して得た結果と矛盾しない結果であり、本研究で提案した方法により治療時の線量分布をもっともらしく算出することができたと考えられる。治療計画が線量分布を基に行われている現状において、線量分布同士で直接計画値との比較を行える本方法は臓器の重心位置や体積を解析対象とした評価法と比べて临床上非常に使い勝手の良い方法であり、有用である。また、本研究ではMATLABをベースに環境構築を行ったが、C++やPythonのようにDICOMの編集用ライブラリが充実したプログラミング言語であれば容易に同様の環境構築が可能である。つまり、画像照合用のCBCTを撮影できる環境があれば本方法による解析を行うことが可能であり、その他に特別なソフトウェア、ハードウェアを必要としない点も実用性の面で有用である。

【結論】

オープンソースソフトウェアを中心に治療時の線量分布を推定する環境の構築を検討した。本方法は治療時の線量分布をもっともらしく推定することが可能である。