

膵臓癌に対する同時ブースト法を用いた陽子線治療における 治療期間中の臓器変動が線量分布に及ぼす影響

1)南東北がん陽子線治療センター 2)福島県立医科大学 ○成田 優輝(Narita Yuki)¹⁾
佐藤 啓樹¹⁾ 武政 公大¹⁾ 坂上 久記¹⁾ 池田 知広¹⁾ 加藤 雅人¹⁾
松本 拓也¹⁾ 小山 翔¹⁾ 鈴木 正樹¹⁾ 横田 克次¹⁾ 加藤 貴弘^{1,2)}

【はじめに】

局所進行膵臓癌に対する陽子線治療では、通常分割法に加え同時ブースト法(simultaneous integrated boost; SIB)が日本放射線腫瘍学会(JASTRO)より統一治療方針として規定されている¹⁾。SIB法は、予防領域を含めた比較的広範囲を照射するmain fieldと、周囲の腸管線量を低減したsubfieldから構成され、治療期間短縮と局所制御率向上を目指したプロトコルとして位置付けられている。一方で、膵臓癌の治療では標的周囲に多くのリスク臓器(organ at risk; OAR)が存在しており、近接する腸管線量の低減が課題とされている。また、治療期間中にランダムに生じる腸管の内容物や位置、形状変化(inter-fractional motion; IM)に伴う陽子線の飛程変化が、ターゲット線量低下やOAR線量増加を招く危険性があるため、日常臨床における課題も多い。そこで本検討では、IMの変化がターゲット及びOAR線量に及ぼす影響について評価した。

【方法】

当院において陽子線治療を施行した膵臓癌10例(膵頭部8例、膵体部2例)を対象とした。はじめに、絶食4時間以上の前処置下において、初回計画用CT画像を呼吸同期撮影にて取得し、この取得画像に対し治療計画を立案した(Ref Plan)。ターゲットはGTVに対し予防領域を含んだものをCTV、さらに全周5~7 mmのマーヅンを付加したものをPTVとした。OARはターゲット周囲に存在する胃・十二指腸・小腸・大腸・腎臓・脊髄で、腸管にのみ計画的リスク臓器体積(Planning organ at Risk volume; PRV)として、マーヅンを5 mm付加した。処方線量は67.5Gy (RBE)/25回とし、main fieldは前後左右4門、subfieldは後方1門の組み合わせで行うSIB法を想定し、各OARは耐容線量以下となるよう線量制約を設けた。陽子線エネルギーは150~210 MeVで、パッシブ法の一つであるワブラー法にて照射野を形成した。次に、治療期間中に週1回程度の頻度で撮影した確認用CT画像に対し、Ref Planをコピーし再計算したプランをEva Planとした。各Eva PlanとRef Planとの比較を行い、ターゲット及びOAR線量の影響について評価を行った。治療装置、治療計画装置、CTにはそれぞれ陽子タイプ(日立)、XiO-M(日立)、Aquilion LB(Canon)を用いた。

【結果】

臓器位置の再現性について、初回計画用CT上の各臓器の初期位置が確認用CTで変化している典型例をFig.1に示す。各臓器の位置・形状がランダムに変化していることが観察され、個体差が大きいことが確認できた。

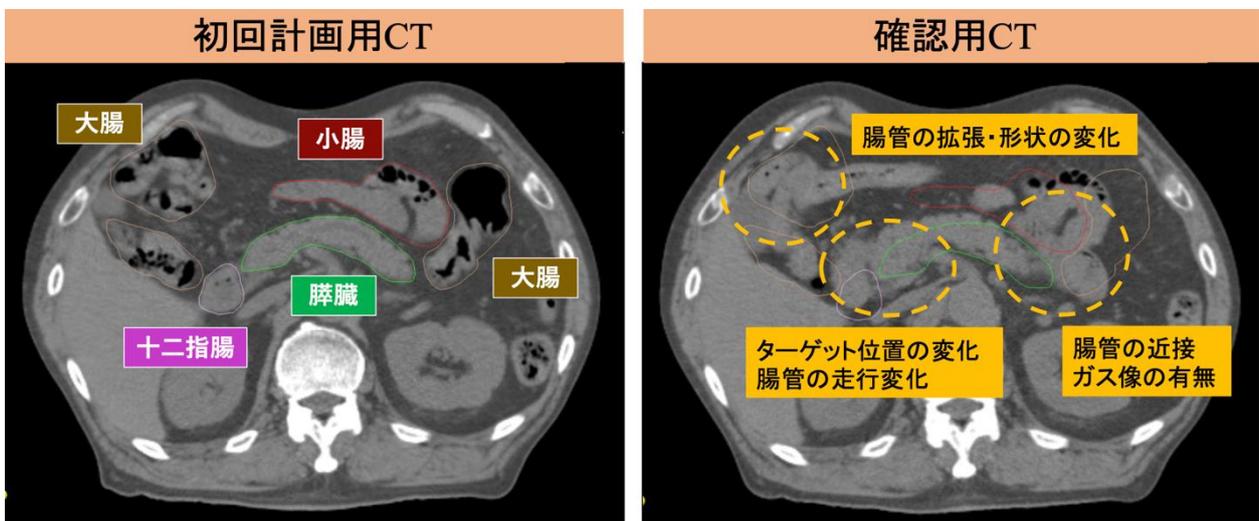


Fig.1 臓器位置の再現性

次にターゲット及びOARにおけるRef PlanとEva Planとの線量比較を行なった結果をFig.2に示す。全10症例(n=39)のデータから、各臓器の結果のばらつきを箱ひげ図で示した。ターゲット(CTV>V)・脊髄に関して、それぞれD_{98%}、D_{2cc}で評価を行ったが、全体の傾向として線量差は小さく、ばらつきも小さい結果となった。両側腎臓の評価(V₁₈)では線量増加の傾向を示し、ばらつきは大きい結果となった。胃・十二指腸・小腸・大腸の評価(D_{2cc})では、線量変動が大きく、線量増加の傾向を示し、特に胃・十二指腸において顕著であった。また、この線量変動により規定する腸管の耐容線量[50Gy (RBE)]を超過したデータ数はそれぞれn=18、17、4、0であった。

【考察】

ターゲットに関して、IMによる影響は小さい傾向ではあったが、今回評価を行なった症例の中にはターゲット位置が変化し線量低下を来した症例も散見された。また、脊髄や腎臓は、それ自体の位置・形状変化が小さい一方で大腸内容物の変化(主に腸管ガス)に伴う陽子線の飛程変化で線量増加が生じる症例も存在した。先行研究において腸管内容物変化に伴う線量影響について評価を行なったが²⁾、今回評価を行なった症例では、内容物変化よりもターゲット周囲に存在する腸管(特に胃・十二指腸)の空間的位置変位に伴う影響の方が大きい可能性が示唆された。このような腸管のランダムな動きに対応するため5 mmのPRVマージンを設定し治療計画を立案したが、実際には生理的変動に加え、呼吸性移動などの要因も含まれるため、全ての影響を考慮するには現行のマージン設定では不十分であり、改善の余地がある。しかしながら、過大なマージン設定ではターゲット線量が大幅に低下してしまうことが予想される。SIB法による高線量処方には技術的な限界があることは否定できず、ターゲットとOAR間にスペーサーを挿入し物理的距離を確保するなど³⁾、更なる対策方法を検討する必要があるものと考えられた。

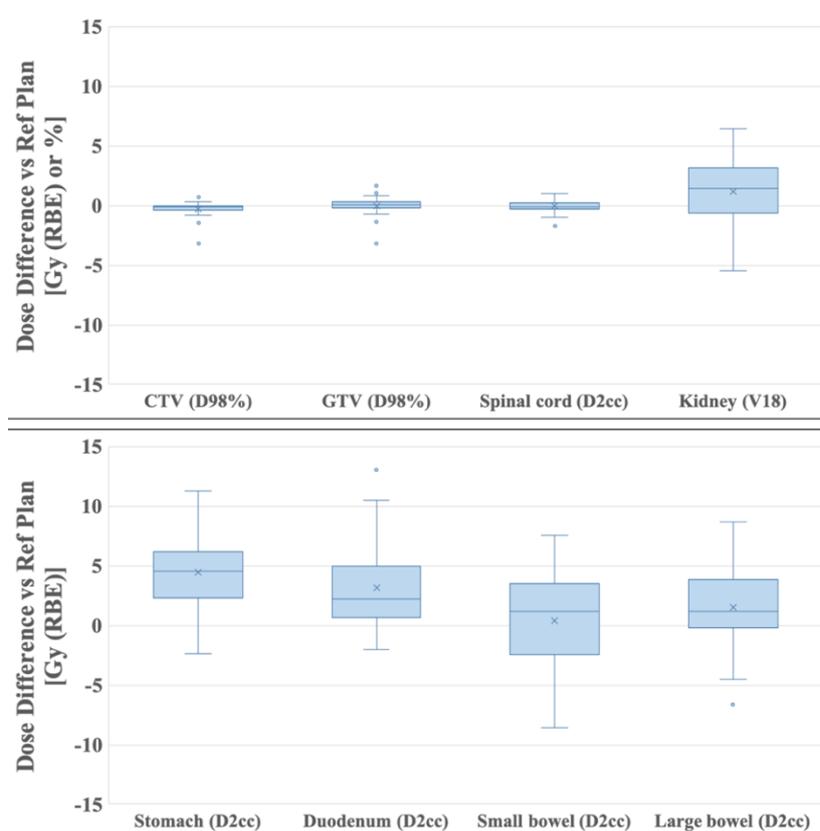


Fig.2 線量差比較(n=39)

【まとめ】

膵臓癌に対するSIB法を用いた陽子線治療における治療期間中の臓器変動に伴う線量変化について評価を行なった。腸管変動の影響の大きさは個体差があるため、安全に治療を実施するためには、個別の管理・対策が必須であることが示唆された。

【参考文献】

- 1) 粒子線治療(陽子線治療、重粒子線治療)の疾患別統一治療方針. 日本放射線腫瘍学会, 2018.
- 2) Narita Y, Kato T, Takemasa K, et al. *J Appl Clin Med Phys*. 2021 ; 22 ; 90-98
- 3) Kawaguchi H, Demizu Y, Mukumoto N, et al. *Anticancer Res*. 2021 ; 41 ; 503-508