

肝臓癌陽子線治療におけるセットアップ手法の違いが線量分布に及ぼす影響

南東北がん陽子線治療センター ○武政 公大(Takemasa Kimihiro)
小山 翔 山崎 雄平 池田 知広 新井 一弘 大内 久夫
成田 優輝 下小牧 遼太 松本 拓也 加藤 貴弘

【背景および目的】

肝臓癌は、陽子線治療の良い適応とされており、本邦を中心に比較的良好な治療成績が報告されている。その一方で標的が腸管に隣接することが多いことやintrafractional motionに加えinterfractional motionの影響も受けやすく、技術的には課題が多い疾患の一つでもある。

肝臓癌陽子線治療では一般的にセットアップの指標として主に椎体、横隔膜、金属マーカの3つの指標が使い分けられている。実際に当院で行われているセットアップは、基本的に骨照合を実施した後、横隔膜あるいはマーカに合わせてシフトさせる。横隔膜指標の場合はLong方向のみ、マーカ指標の場合はLong、Lateral、Vertical方向の3軸をシフトさせている。このような指標を用いることで臓器の体内移動に対応したセットアップを行うことができるが、陽子線治療では飛程を有することから、指標の位置によってはビームパスの水等価長が変化し、線量分布が変化する可能性もあり、課題は少なくないというのが実情である。そこで今回、これらのセットアップ手法の違いが線量分布に及ぼす影響について検討した。

【方法】

治療計画装置、治療計画支援端末にはそれぞれ、XiO-M(ELEKTA)、Velocity AI(Varian)を用いた。対象は当院にて陽子線治療を施行した肝臓癌のうち、初回計画CTと再計画用CTの間で右横隔膜のずれが5 mm以上認められた16症例19部位とした。はじめに患者固定具作成時に撮影された初回計画CTに対して輪郭入力を放射線治療医が実施した。GTVに5 mmのマーヅンを付加したものをCTV、さらに5 mmのマーヅンを付加したものをPTVとしたが、呼吸同期照射を行うことを想定し、呼吸性移動を考慮して足側のみ7 mmのマーヅンを付加した。治療計画はMLCマーヅン7 mm、照射門数は2~4門で立案した。今回は相対的なプランニングスタディであり、処方線量は60 GyEとし、アイソセンタ処方で統一した。次に、初回計画用CT画像を再計画用CT画像に向けてfusionし、その移動量を用いて初回CT上の輪郭を再計画用CTにコピーした。なお、変形が顕著な症例に関してはDeformable image registrationを用いた。また、再計画用CTに対して椎体、横隔膜、金属マーカの3つの指標を用いた場合の線量分布をそれぞれ再計算した。なお、マーカマッチングに関しては今回の対象例は実際には金属マーカは留置されていないため、標的自体を指標としてマッチングを実施した。照射条件は初回計画時(リファレンス)と同様とし、CTV-D98及び正常肝-V30を算出した。CTV-D98及び正常肝-V30の初回計画時からの変化量を比較するとともにウィルコクソン検定を用いて統計学的有意差検定を実施した。

【結果】

Fig.1にCTV-D98、正常肝V30の箱ひげ図を示す。CTV-D98については、リファレンスと椎体マッチングおよび横隔膜マッチングとの間にそれぞれ有意差を認めた(それぞれ $p < 0.02$, $p < 0.05$)。また、椎体マッチングとマーカマッチングの間にも有意差を認めた($p < 0.02$)。正常肝V30についてはいずれの群も有意差がなく、セットアップ手法の違いによる差は認められなかった。

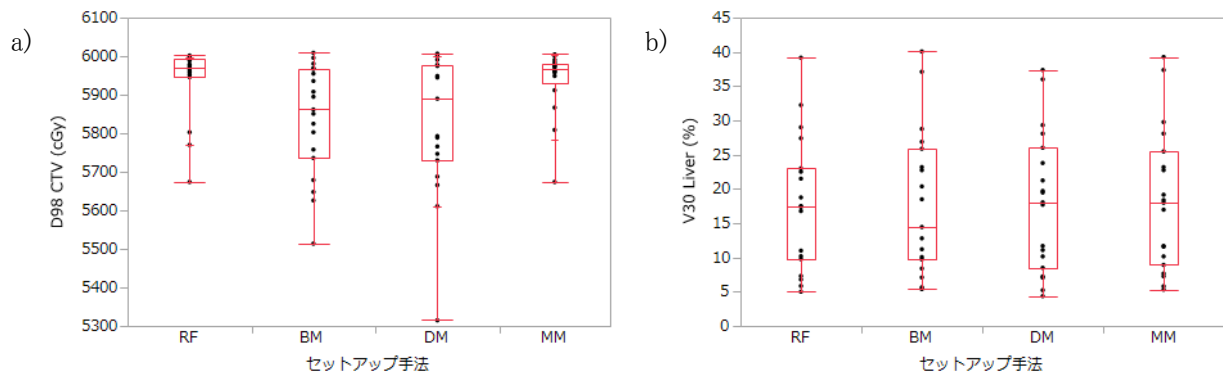


Fig.1 CTV-D98(a)および正常肝-V30(b)の箱ひげ図

RF:リファレンス、BM:bone matching、DM:dome matching、MM:marker matching

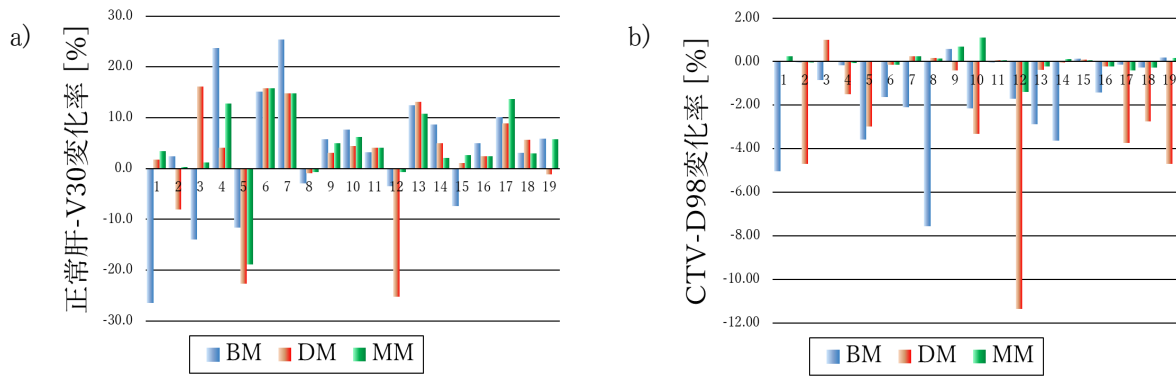


Fig.2 CTV-D98(a)および正常肝-V30(b)の症例別変化率
 BM:bone matching, DM:dome matching, MM:marker matching

Fig.2に症例別に見たCTV-D98、正常肝V30の結果を示す。CTV-D98については、マーカマッチングでは変化率2%以内に収まっており、リファレンスを再現できていることが確認できた。一方、横隔膜マッチングでは例えば症例12が顕著であるが、椎体マッチング以上にCTVの線量包括性が悪化してしまうケースも存在することが判明した。正常肝V30については症例によって傾向はかなりばらついていることがわかるが、マーカマッチングにおいても変化率が大きいケースも存在することが確認できた。また、横隔膜マッチングでCTVの線量包括性がかなり悪化した症例12については正常肝V30の変化率もマイナス方向に大きく減少している結果となっていることがわかる。症例12のケースでは標的と横隔膜との距離が大きく離れており、横隔膜セットアップでは過大に補正してしまうことになり、むしろ椎体セットアップの方が適切なケースであったと考えられた。

【考察】

PTVマージンは5 mm(足側のみ7 mm)と比較的タイトに設定しているが、椎体マッチング、横隔膜マッチングのいずれもCTV-D98の線量包括性が当院のクライテリアである95%線量(今回では57 GyEに相当)を満たせなかったケースは19部位中1部位のみであり、適切なセットアップ手法を選択すればマーカを用いないマーカレス照合でもある程度の精度を担保できる可能性が示唆された。横隔膜マッチングでは椎体マッチングよりもCTVの線量包括性が悪化してしまうケースが19部位中8部位と比較的高頻度に認められたことから、横隔膜マッチングの採用は腫瘍局在に応じて慎重に検討する必要があるものと考えられた。また、マーカマッチングにおいても正常肝V30の変化が大きいケースが散見されたが、これは肝臓のボリューム変化が治療期間中に生じることがあり、このことが影響しているものと考えられた。今回はマーカマッチングの代替手法として直接、標的自体をマッチングしたが、実際にはマーカの留置位置とターゲットの位置関係によって得られる精度が少なからず影響を受ける可能性があることから注意が必要であると考えられる。

【結論】

肝臓癌陽子線治療においてセットアップ指標の違いが線量分布に及ぼす影響について評価した。マーカマッチングが最も有効ではあるが、椎体マッチングや横隔膜マッチングでも適切に用いることで比較的高い精度を担保することができる可能性が示唆された。

【参考文献】

1) Abe S, Kubota Y, Shibuya K et al.: Fiducial marker matching versus vertebral body matching: Dosimetric impact of patient positioning in carbon ion radiotherapy for primary hepatic cancer, Physica Medica 33. 114-120, 2017