

## 放射線治療分野 座長集約

### 放射線治療テクニカルミーティング -骨盤領域の放射線治療技術-

座長 新潟県立中央病院 放射線科 大坂 暁胤(Osaka Akitane)

#### 【座長集約】

今回のテクニカルミーティング(以下TM)では、前立腺に特化して情報提供を行った。我々放射線治療担当者は業務マニュアルも大事ではあるが、それ以上に自施設の状況を把握した上で最善の方策とリスクの低減を検討することが必須であり、最終的にたどり着く先に患者さんがいることを忘れてはいけない。

このTMでは日々の業務の中での問題点を見つけ出し、対策を検討している2名の先生方にお話し

いただき、前立腺の放射線治療における異なる取組みを学んだ。

両先生ともに治療計画を患者さんに再現することに重点を置いているわけであるが、照射側として計画を見ている側と、計画側から照射を見ている側とにわかれていることに気がつくのではないかと思う。双方の立場から、異なる目線で最善を模索するという点は今回のテーマに限らずとても重要なことである。

東北大学病院診療技術部 放射線部門 村崎 晶洋(Murasaki Masahiro)

東北大学病院での前立腺癌の外照射は、高リスク群の患者に対してはガントリー角度固定8門IMRT(以下:固定8門IMRT)を、中リスク、低リスク群の患者に対してはVMATを行っている。前者のIMRTは、正側2方向の透視画像を用いた前立腺内の金マーカー合わせのIGRTを行っており、後者のVMATは、CBCTを用いた軟部組織合わせのIGRTを行っている。

リスク群は、病期がT3a、T3b、またはグリソンスコアが8以上、またはPSAが20以上の場合が高リスク群、病期がT2b、T2c、またはグリソンスコアが4+3、またはPSAが10以上20未満の場合の中リスク群、病期がT1c、T2a、かつグリソンスコアが6(3+4含む)以下、かつPSAが10未満の場合低リスク群に分類される。

高リスク群の患者に対しての固定8門IMRTは、総線量が80 Gy/40 fr(直腸線量や抗凝固剤の内服の有無によって、78 Gy/39 fr、76 Gy/38 frに変更)、線量処方D95 at PTV、CTVは前立腺と精囊の全て、ガントリー角度は35、60、100、165、195、260、300、325度としている。中リスク群の患者に対してのVMATは、総線量が74 Gy/37 fr、線量処方はD95 at PTV、CTVは前立腺と精囊の3分の2、アーク数は1としている。

低リスク群の患者に対してのVMATは、総線量が74 Gy/37 fr、線量処方はD95 at PTV、CTVは前立腺のみ、アーク数は1としている。

2016年に当院で放射線治療を行った前立腺癌

の患者は、高リスク群の固定8門IMRTが25人(平均年齢69.4歳、55歳から77歳)、中リスク群のVMATが13人(平均年齢73.2歳、68歳から80歳)、低リスク群のVMATが5人(平均年齢67.4歳、59歳から72歳)であった。

当院の前立腺癌IMRTではPTV、直腸、膀胱、大腿骨頭、小腸に線量制約を設けている。固定8門IMRTのPTV(直腸とのオーバーラップ、尿道を除く)の線量制約は、最小線量としてD98%が投与線量の90%以上、最大線量としてD2%が投与線量の110%以下としている。

直腸とのオーバーラップ、尿道の線量制約は、最小線量としてD98%が72 Gy以上、最大線量としてD2%が投与線量の80 Gy以下としている。VMATのPTV(直腸とのオーバーラップ、尿道を含む)の線量制約は、最小線量としてD98%が投与線量の90%以上、最大線量としてD2%が投与線量の110%以下としている。

直腸とのオーバーラップの線量制約は、最小線量としてD98%が66.6 Gy以上、最大線量としてD2%が投与線量の80 Gy以下としている。OARの線量制約は固定8門IMRT、VMAT共に同一で、直腸(ボリウム)はV75が15%未満、V70が20%未満、V65が25%未満、V60が35%未満、V50が50%未満、膀胱(ボリウム)は、V80が15%未満、V75が25%未満、V70が35%未満、V65が50%未満、大腿骨頭は最大線量が46 Gy以下、小腸は最大線量が80 Gy以下としている。

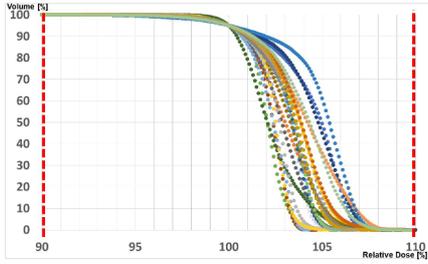


Fig.1 固定8門IMRTのプラン

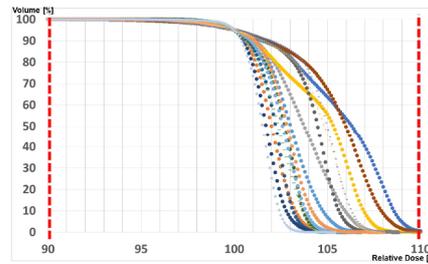


Fig.2 VMATのプラン

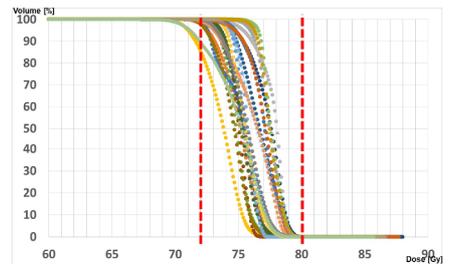


Fig.3 線量制約を満たしていないプラン

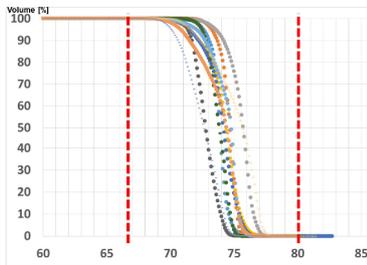


Fig.4 VMATのプラン

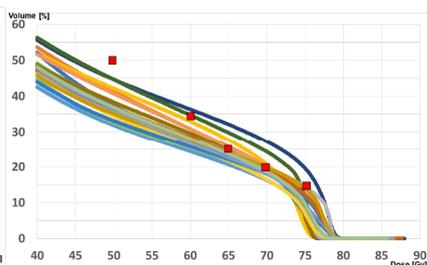


Fig.5 線量制約を満たしていないプラン

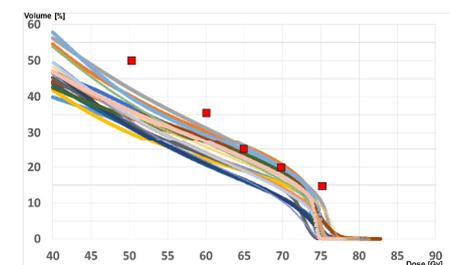


Fig.6 線量制約を満たしていないプラン

2016年の前立腺癌IMRTのDVHを比較した。PTVのDVHは、固定8門IMRTのプラン(Fig.1)、VMATのプラン(Fig.2)のどちらも線量制約を満たしていた。PTV内の直腸とのオーバーラップのDVHは、固定8門IMRTでは線量制約を満たしていないプラン(Fig.3)があったが、VMATのプラン(Fig.4)は満たしていた。

直腸のDVHは、固定8門IMRTのプラン(Fig.5)、VMATのプラン(Fig.6)のどちらも線量制約を満たしていないプランがあり、固定8門IMRTの方がVMATより、線量制約を満たすのが困難であった。

2つのプランで差が出たのは総線量が異なるためだと考えられる。また、どちらのプランでもPTVと

直腸とのオーバーラップの体積が大きいと、直腸の線量制約を満たすのが困難になる場合があった。

正側2方向の透視画像を用いた金マーカー合わせのIGRTとCBCTを用いた軟部組織合わせのIGRTのそれぞれの骨構造との差異を、2016年の患者ごとに全治療回数分のデータをまとめ(腹背方向では腹側、頭尾方向では尾側、左右方向では右側が+方向)、比較した。

金マーカー合わせのIGRTでの、骨構造との差異の平均値[mm]±標準偏差は、腹背方向で $-1.0 \pm 2.7$ (Fig.7)、頭尾方向で $2.8 \pm 2.6$ (Fig.8)、左右方向で $0.1 \pm 0.9$ であった。軟部組織合わせのIGRTでの、骨構造との差異の平均値[mm]±標準偏差は、

◆ 中央値 ■ 最大値 ▲ 最小値 × 75% ※ 25%

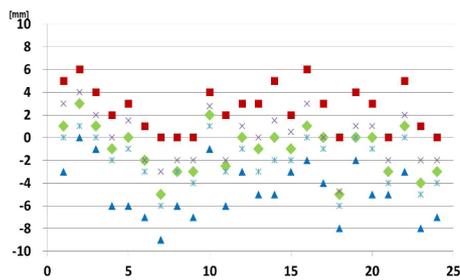


Fig.7 腹背方向で  $-1.0 \pm 2.7$  mm

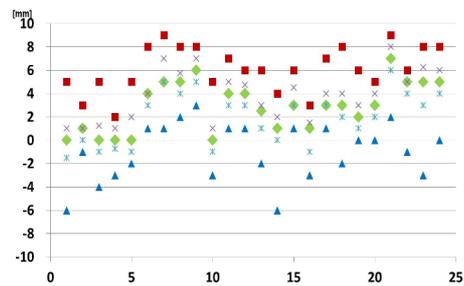


Fig.8 頭尾方向で  $2.8 \pm 2.6$  mm

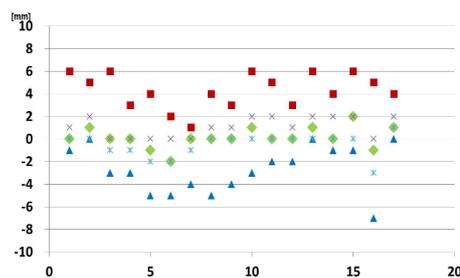


Fig.9 腹背方向で  $0.3 \pm 1.8$  mm

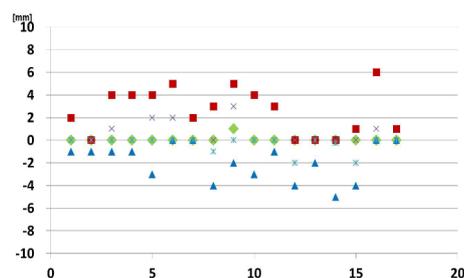


Fig.10 頭尾方向で  $0.1 \pm 1.4$  mm

腹背方向で $0.3 \pm 1.8$ (Fig.9)、頭尾方向で $0.1 \pm 1.4$ (Fig.10)、左右方向で $0.0 \pm 0.6$ であった。

金マーカー合わせのIGRTで腹背方向や頭尾方向で骨構造との差異があり、グラフの中央値にばらつきが見られるのは、治療計画時に尿道カテーテルを挿入しているが、治療時には未挿入のためだと考えられる。

固定8門IMRTは尿道線量減少のために治療計画時に尿道カテーテルを挿入し、尿道のコンツォーリングを行っている。

固定8門IMRTはIGRTを照射前と4門目と5門目の間の2回行っている。2回目のIGRTの金マーカー

一変位を照射中の前立腺の変位とし、2016年の患者ごとに全治療回数分のデータをまとめた(腹背方向では腹側、頭尾方向では尾側、左右方向では右側が+方向)。変位量の平均値[mm]±標準偏差は、腹背方向で $-0.7 \pm 1.1$ 、頭尾方向で $0.1 \pm 1.1$ 、左右方向で $-0.1 \pm 0.7$ であった。また変位量の最大は腹背方向で4 mm、頭尾方向で5 mm、左右方向で3 mmであった。

前立腺癌IMRTの当院での経験を、治療指針、DVHの比較、IGRT方法の比較、照射中の前立腺の変位を中心にまとめました。今回の内容が少しでも皆様のお役に立てれば幸いです。

福島県立医科大学附属病院 放射線部 岡 善隆(Oka Yoshitaka)

### 【はじめに】

近年、強度変調放射線治療(以下、IMRT)等の高精度放射線治療が普及しつつある。前立腺癌に対するIMRTは画像誘導放射線治療(以下、IGRT)と併用して実施することで、前立腺に線量を集中し、その周囲への被ばく線量を低減することが可能となり、合併症を少なく、より効果的に治療が可能となった。IMRTを導入している多くの施設で前立腺癌に対して実施している。しかし、前立腺の位置および周囲臓器の状態は不規則な変化を日々生じるため、我々が直面する懸案事項は多岐にわたる。今回は我々が直面した懸案事項および悩みを報告すると共に、それらに対して検討した取り組みについて報告する。

### 【当院における前立腺癌IMRTの懸案事項】

日々の業務で懸案事項及び悩みを抱えており、大別すると次の3つに分けられる。

- ①患者要因:治療計画時と実際の治療時には少なからず臓器の形状および位置変化が伴っているため、治療計画時の線量制約を満たせているのか疑念を抱いている。
- ②装置要因:照射毎に少なからずマルチリーフコリメータ(以下、MLC)・架台角度等の停止位置が異なっており僅かであるが線量分布に影響をもたらす可能性がある。
- ③当院における前立腺癌に対するIGRTとしてkV Cone Beam-CT(以下、CBCT)を採用しており、被ばく線量の低下および治療室占有時間の効率化が望まれている。

### 【懸案事項に対する当院に取り組みおよび試みの紹介】

今回は、前項の懸案事項の①と③を中心に報告した。②に関しては現在検討している最中であり

今後報告を行いたいと考えている。以下に今回報告した4つのトピックスの一部を示す。

#### A)照射毎のCBCT撮影に対する取り組み及び工夫

懸案事項:被ばく線量増加・治療室占有時間増加

##### 1.CBCT再撮影防止対策

当院では照射毎の照射直前にCBCTを用いたIGRTを実施している。フルスキャンのCBCT撮影時間は約60秒有するため、再撮影時スループットに多大な影響をきたす。当院ではCBCTの再撮影を防ぐことを目的とした手順としている。

- ①入室前に看護師による問診で前処置履行確認や体調変化等、通常通りであるか確認する。
  - ②寝台に寝た後、膀胱用超音波画像診断装置BVI9400(Verathon社製)を用いて膀胱内尿量の確認。その際の膀胱内尿量はCTシミュレーション時の計測値を基準としており、患者毎基準値が異なる。
  - ③皮膚マーキング線を用いた位置合わせ。
  - ④放射線治療装置に搭載されたX線源装置(以下、OBI)を用いて正面X線撮影を実施し、直腸内遊離ガス及び膀胱内尿量の確認。
  - ⑤OBIを用いたCBCTで前立腺および直腸前壁合わせを実施。
- これらの手順を経て照射開始となる。

##### 2.被ばく線量低減対策

CBCT撮影時にOBIのX線管球側にBow-Tieを装着して撮影を実施している。当院ではClinac 21EX・Clinac iXのBow-Tieに0.1 mm厚の銅板を付加している(C- Seriesのみ0.1 mmCu付加可能)。JIS規格の直径32 cmファントムを用いた測定において、外周部吸収線量は23.9%低減、中心部吸収線量は16.9%低減を確認し、位置合わせ可能な画質であることも併せて確認している。

### 3. CBCT撮影方法

CBCT画像を用いて投与線量を評価するために、体輪郭を含むフルスキャンで撮影している。ハーフスキャンは体輪郭が欠けてしまうが撮影時間・被ばく線量共に約40%程度削減が可能となる。そこで、ハーフスキャンでもフルスキャンと同等の線量分布の作成が可能か検討を実施した結果、両者の膀胱・直腸・前立腺の平均線量相違は1.2%以下となり良好な結果が得られたが、体輪郭形状の変化によって線量分布の精度に影響をきたすため現在は当院ではフルスキャンを採用している。

#### B) 投与した線量分布の推測

懸案事項: 投与した線量は、治療計画の線量分布と同じなのだろうか

治療直前に取得したCBCT画像を基にRayStation(RaySearch Laboratories社製)を用いて前立腺・膀胱・直腸の輪郭を描いた。次にCBCT画像から治療計画時CT画像に向けて、Pixel値及び前立腺・膀胱・直腸の輪郭を用いたDeformable image registration(以下、DIR)を行い変形マップ作成し、計画時線量分布を変形させ全治療期間(37回)の線量合算分布を作成した。線量合算分布と治療計画時に作成した線量分布の前立腺・膀胱・直腸・左右大腿骨頭におけるDVH(D99Gy、Average、D1Gy)について比較検討した。前立腺・膀胱・左右大腿骨頭は比較的一致したが、直腸の平均値で5%以上の相違が確認され直腸前壁側の線量相違が顕著であった。そこで、当院では前立腺を主体とした位置合わせから前立腺および直腸前壁を主体とした位置合わせに変更している。

#### C) 直腸径許容値の検討

懸案事項: 照射毎変化する直腸径の許容値を症例毎に予め設定できないか

治療計画時より直腸径が拡張している場合は、治療を実施するか判断に苦慮する事がしばしば生じている。手順を中断し排便を促す場合は、CBCTの再撮影による被ばく線量増加およびスルーカットが低下する。そこで、RayStationにて治療計画時のCT画像を、Pixel値及び前立腺・膀胱・直腸の輪郭を用いたHybrid DIRを行い、直腸径を1~10 mm(7 Step)拡張させた変形画像を作成した。その際、直腸後壁は低線量領域となり得るため、直腸後壁以外を拡張した。尚、Deformation Grid Sizeは2.5 mmとした。治療計画CTと直腸径拡張変形画像におけるDVHの比較は、膀胱では全ての症例でほぼ同等であったが、前立腺では直腸径拡張に伴い線量均一性・線量

集中性が僅かに向上し、直腸では線量増加傾向となった。直腸において治療計画時に当院の線量制約とほぼ同等の症例では、治療計画立案時からの直腸拡張は線量制約を満たせないが、治療計画時に当院の線量制約を大幅に遵守した症例では、治療計画時から直腸が数mm拡張しても線量制約は遵守可能であったことから治療計画時に線量制約を十分に満たす計画を立案することで日々の直腸径の変化に対応できると思われる。また、直腸径許容値の設定に関し、症例毎に予め大まかな目安の設定は可能と思われた。

#### D) 位置変動を想定した治療計画(Robust最適化手法)

懸案事項: 前立腺位置は不変でなく、前立腺変位は規則性を伴わない

現在、普遍的なIMRTの最適化手法はCTVにマージンを付加したPTVに対して一つの条件で最適化を実施しているが、Robust最適化手法はマージンという概念ではなく、予め設定した不確定度の範囲で複数のプラン(シナリオ)に分散化し、各プランのビームアイソセンターを変位させて、最適化を実施することによりプラン上の問題点を軽減することが可能となる最適化手法である。

RayStationを用いて、普遍的な最適化法とRobust最適化手法の両者とも当院の線量制約を満たすように治療計画を立案し、DVH(PTV: Conformity Index, Homogeneity Index、CTV: D98%, D95%, D50%, D2、OAR: Average Dose, D2%)について比較検討した。詳細な報告はできないが、Robust最適化手法の方が、PTVのConformity Indexは1.25倍向上し、PTVのHomogeneity Indexは1.22倍低下した。CTVにおけるD98%、D95%、D50%、D2%はどれも有意差はみられなかった。OARにおけるAverage Dose、D2%は膀胱では有意差はみられなかったが、直腸でPaired t-testにてP値が0.05以下となり有意差がみられた。

従って、Robust最適化手法の方がPTVにおける線量の集中性は向上し、OARの線量の低減が図れたが、PTVの線量分布均一性は低下した。これはRobust最適化手法では照射野端が鋭い線量勾配となる特徴を有しているためである。

#### 【まとめ】

前立腺癌に対するIMRT治療法の悩みおよび、悩みの改善に向けた福島県立医科大学附属病院の取り組みを紹介した。現在、正確な投与線量評価はまだまだ困難であるが、それぞれの施設において日々生じている懸案事項に対し様々な検討を行うことで治療の質の向上に繋がると思われる。

