

VMATの現状

エレクタ株式会社 メディカルフィジックス部

依田 潔

はじめに

高橋が原体照射を発表したのは1960年であるが、その後、さまざまな線量分布の改善技術が提案されてきた。急峻な勾配を有する線量分布を腫瘍に付与する場合は、腫瘍の位置が治療計画で定義した位置と同一であることが前提になり、このための患者位置決め技術の提案も並行して発表されてきている。

図は、X線治療物理の歴史を線量分布と位置決めという2つのキーワードでまとめた年表である。IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) がBrahmeによって提案されたのは1988年であるが、歴史的には原体照射や患者の高精度位置決めの提案が先行したことがわかる。海外の研究はPhDによるものであるが、日本では、放射線腫瘍医が多くの先駆的な医学物理技術を提案したこともわかる。結果的に、日本の場合、提案後ただちに臨床適用されていることが特徴的である。

最近ではIGRT (Image Guided Radiation Therapy) という言葉がしばしば使われる。IGRTにおける患者画像は、CT以外に超音波による方法も提案されていたが、リニアックのガントリにコーンビームCTを搭載した製品が登場してからは、これが標準になりつつある。IMRTを実施するためには、患者位置決めを正確に、かつ何度もこれを再現できることが必須である。前者は位置決めの確度 (accuracy) を意味し、後者は精度または再現性 (precision, reproducibility) を意味している。コーンビームCTを用いた最近のIGRTにより、高い位置決め確度および精度を維持できることがわかってきた。IMRTの1つであるVMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) を開始する場合

はコーンビームCTを搭載したりリニアック装置を使うことが望ましいと考えている。なおVMATは一般名詞であり、学術用語である。

IMRTとVMAT

JASTROのIMRTガイドラインで、IMRTは次のように定義されている。「IMRTは3次元原体照射の進化形であり、逆方向治療計画 (インバースプラン) に基づき、空間的、時間的に不均一な放射線強度を持つ照射ビームを多方向から照射することにより、病巣部に最適な線量分布を得る放射線治療法である。」IMRTは、固定多門型と回転型に分類できる。固定多門IMRTとは、いわゆるstep & shootとsliding windowであり、回転型IMRTがVMATである。

VMATは以前IMAT (Intensity Modulated Arc Therapy) とよばれていたが、近年リニアック制御ソフトウェアが進歩し、ガントリ回転中にビームを照射しながら線量率・ガントリ回転速度などを実時間制御できるようになってきた。この結果、IMATに比べ短時間で照射を完了できるようになった。東大病院では1世代前のリニアック制御ソフトウェアを用いたIMATの臨床が2007年11月にスタートしたが、当時は照射開始から終了まで10分かかっていた。現在、典型的なsingle arc VMATのビームオンタイムは110秒であり、入退出、コーンビーム位置決めを含めた時間は10分程度である。

VMATの治療計画

VMATでは、たとえば5度おきに多数のコン

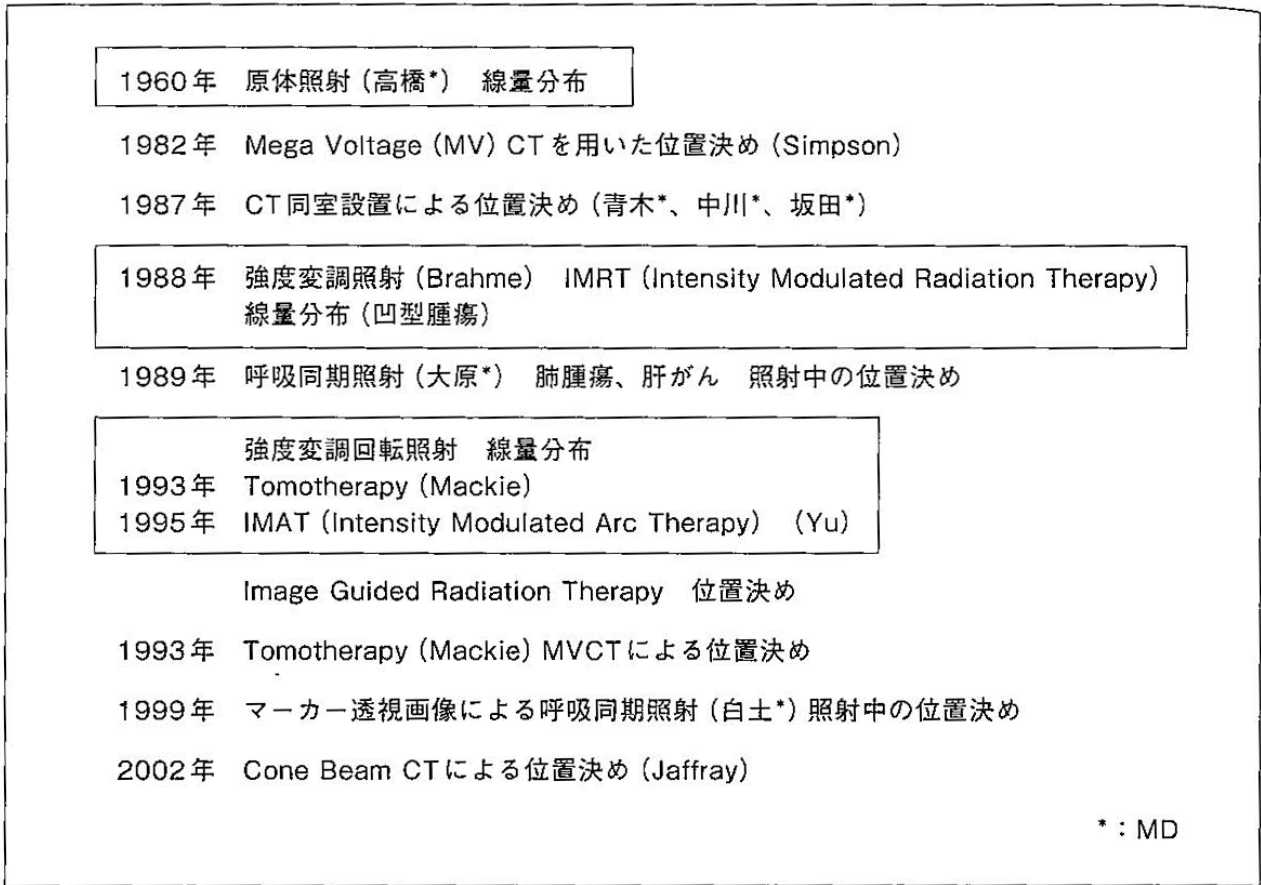


図 X線治療物理の歴史 (対向2門からの進歩)

トロールポイントを定義し、治療計画をスタートする。この結果、各コントロールポイントに対する照射野、MUなどが計算される。VMATプランは、治療計画装置内部で固定多門ビームからアークビームに変換後、DICOM RT形式でリニアックの照合装置に転送される。

Elekta製リニアックと組み合わせて使える商用のVMAT用治療計画装置としてElekta CMSのERGO++がある。今後リリースが予定されているVMAT対応の治療計画装置であるElekta CMSのMonaco/VMATおよび他社製のVMATエンジンは、いずれも固定多門のintensity mapをベースにVMATシーケンスを計算し、照射野およびビーム強度の両者を最適化する。一方、ERGO++では打ち抜き原体または原体の照射野が採用され、ビーム強度のみが最適化される。

ERGO++は、前立腺VMATに関して多くの治療実績を有する。歴史的にも、前立腺腫瘍に対しては打ち抜き原体照射が臨床適用されてきた。ERGO++によるVMATは、打ち抜き原体照射では対応が困難であったPTV内の線量均一度を改善するために、最適なビーム強度を最適化するのであるといってもよいであろう。

ガントリ回転中の照射野の動きはきわめて緩慢であり、従来の打ち抜き原体照射を実施していた施設では非常に安心な治療方式と考えられている。より複雑な解剖構造を有する頭頸部腫瘍に関するVMAT計画を効率よく立案するためには、照射野およびビーム強度の両者を最適化する必要があることもわかってきた。現在Monaco/VMATが東大病院をはじめ海外の数施設で評価されているところである。なおERGO++の最後

の++は、このシステムがC++で記述されていることに由来する。

VMATの線量検証

施設におけるVMATの線量検証は、基本的には固定多門IMRTと同様である。ただし、固定多門IMRTでしばしば実施されていた門ごとの検証ができず、全線量評価のみになる。

東大病院ではアイソセンタ線量と直交3面のフィルム検証が一般的であり、アイソセンタ線量検証には円筒型の自作水ファントム、IMRT用の商用水等価固体ファントムなどが利用されている。フィルムはradiochromic型に徐々に移行してきているが、現時点で、まだ高価である。2次元ダイオードアレイを代表とする平面検出器は上記のフィルム法に比べ初期費用が相当高くなるが、測定と同時に検証できる。

VMATの制御

制御アルゴリズムは装置に依存するため、ここではElekta社の場合を説明する。治療計画の項で説明したように、治療計画時はコントロールポイントはガントリ角に対して定義されるが、照射中はMUを基準にコントロールポイントが定義される。すなわち、各コントロールポイントで定義された積算MUに対してガントリ角、MLC (Multi Leaf Collimator)、back-up jaw、コリメータ角がテーブルルックアップされ、これら4つの機械要素が、単一のリニアックコントローラでデジタルサーボ制御される。コントロールポイント間では線形補間されたガントリ角、MLC座標、back-up jaw座標が、線形補間された積算MUに対して実時間でテーブル参照されサーボ制御される。なお線量率はサーボ制御されておらず、多少の変動が許容されているが、MU値の関数として規定されたガントリ角を実時間で維持できるように、線量

率を実時間測定することにより、ガントリ回転速度を常にフィードバック制御している。

上記4つの機械要素について許容値以上の機械誤差が生じた場合は、いったん動作を中断し、当該機械要素のみを駆動して許容レベルに戻した後、照射を再開するdynamic toleranceの考え方を採用している。

VMATの臨床適用施設

Elekta VMATの臨床開始施設数は世界で約20である。リニアック制御装置の対応は完了しているため、今後、Monacoが次のバージョンでVMAT対応になれば、この治療計画装置を使用しているElekta施設でVMATが臨床開始されることになる。国内ではElekta VMATの臨床開始施設は東大病院 (2008年8月)、大阪市大病院 (2009年3月)、順天堂練馬病院 (2009年4月) の3施設であり、3施設が臨床稼働している国は日本だけである。

治療部位としては、前立腺、頭頸部、骨転移腫瘍などが報告されているが、国内では東大が最も早く臨床をスタートしたこともあり、症例数も多く、前立腺は50例程度に到達している。また、今年のESTROのポスター発表では、ERGO++を用いたVMATが日本の上記3つのVMAT施設から合計で7件ポスター発表された。

まとめ

従来の固定多門IMRTと同様の線量分布を、きわめて短時間で患部に付与できることは大きなメリットと思われる。VMAT技術は今後もますます進化していくことは間違いないであろう。同時に、画像を利用したpatient on the dayに基づいた革新的な放射線治療技術が開発され、VMATをはじめとするIMRTに併用される日も近いであろう。