

最新の 5 mm リーフの特徴と呼吸性移動対策に関して

エレクタ株式会社リサーチフィジックス

依田 潔

はじめに

エレクタの最新 5mm リーフ MLC (Agility) の特徴とエレクタの呼吸性移動対策 Symmetry に関して概説させていただきます。すでに、製品カタログが出ているので、数値データについては、そちらを参照していただければ十分な情報を得ることができますので、本稿では、カタログには書いていないことを少しご紹介したいと思います。

Agility の特徴

Agility の機械設計が開始されたのは 2005 年であり、完成まで 7 年程度かかっていますが、これは従来の 10mm リーフ MLC の機能ブロック 1 つ 1 つを原理原則に立ち戻って見直して、今後の放射線治療技術の進歩に十分対応できるように基本設計に膨大な時間を費やしたからだと考えています。エレクタの MLC では、CCD (Charge Coupled Device) カメラより放射線耐性が高い CID (Charge Injection Device) カメラによるリーフ位置検出を実現しています。これまでの 10 mm リーフではリーフ先端に光を反射するシートを貼り付けていたのですが、これは、レトロリフレクタと呼ばれる光を入射方向に戻すための微小反射構造を含むシートです。たとえば、自転車などに貼り付けて、自動車のドライバーに自転車からの反射光を検知させるために使われているものです。新しい Agility でも、CID カメラが使われていますが、レトロリフレクタの代わりに、リーフ先端に埋め込んだ人工ルビーチップに、近紫外 LED の青色光を照射し、その結果得られる赤い蛍光を検出しています。これ以外に、緑色 LED を光照射野用に使っていますが、光学フィルタを用いることにより、各色を分離検出しています。リーフ位置制御については、最大リーフ速度 3.5 cm/sec に対してダイナミック・トレランス 1 mm を確保するためには、カメラ方式以外では技術的に非常に難しいという判断があったと聞いております。ダイナミック・トレランス 1 mm という意味は、VMAT 中のリーフ制御誤差が、1 mm よりも十分小さいという意味です。トレランスを超えた誤差が発生した場合は、最終的にはインターロックがかかって、ビームが終了してしまいます。これ以外にも、Agility では面白い変更がありました。これまでの 10 mm リーフでは、アイソセンタ面に対抗する 2 つのリーフ間の最小ギャップが定義されていたのですが、Agility では実寸で 1mm と定義されています。この結果、オフセンタでは、リーフギャップが焦点位置から徐々に見えなくなり、遮蔽が極めてよいこととなります。最後に、余談ですが、新しい MLC で人工ルビーチップが採用されたことを一番喜ぶのは、弊社のエンジニアだと思います。これまでの反射シートは、徐々に劣化するため、交換が必要でしたが、これは徹夜作業だと聞いています。もしも、同じ反射シートですと、Agility では枚数が 2 倍になって、徹夜だけでは済まなかったはずです。なお、Agility では、最大リーフ速度が 3.5 cm/sec 、それをサポートするリーフガイドが最大 3 cm/sec でダイナミックに動きますが、実は同じく

らい大事な働きをしているのが最大 9 cm/sec で動くジョーです。1 回転 VMAT の照射時間の IEC 規格上の最小値は 60 秒です。なるべくこれに近づけるためには、照射野を高速に変化させる必要がありますが、照射野はリーフとそれに直交するジョーの両者で構成されるため、ジョーの速度も非常に重要です。ちなみに、治療計画装置で計算するのは、リーフ先端座標だけです。治療機側で、リーフガイドをどこまで移動して、そこからリーフをどれだけ伸ばすかという 2 つの変数に分離する必要がありますが、これはすべてリニアックコントローラの内部で計算しています。治療計画装置のシーケンスが対応すれば、照射野幅 30cm の VMAT および sliding window IMRT を実現することも、ハードウェア的に可能になっています。結果的に、リンパ節を含んだ大きな PTV を 2 つの照射野に分けて照射する必要性が、ほとんどないと言えそうです。

Symmetry の特徴

Symmetry については、2012 年の JASTRO のランチョンレクチャで、3 施設の先生方が臨床適用結果を報告されましたので、参加された方は、その特徴をすでにご存知かもしれません。一言で言えば、その日の肺腫瘍、肝腫瘍などの腫瘍中心の時間平均座標をリニアックのアイソセンタに一致するように寝台を自動補正すると共に、その日の腫瘍の呼吸性移動範囲が、計画時に設定した ITV, PTV 内に留まるかを照射前に目視確認できる機能です。さらに申しあげれば、4D CBCT を取得できますので、治療計画 CT が 4D 対応でなくても、治療計画 CT と 4D CBCT を同一日に実施することにより、4D 治療計画に近いワークフローを構築することが可能です。これについては、公立八女病院の水上先生が 2012 年の JASTRO で学会発表されました。エレクタの 4D CBCT は、ガントリをゆっくり 1 回転させて 4 分で（次のバージョンでは 3 分の予定）10 種類の呼吸位相に対する CBCT 3D 画像を計算します。実際に経験された方は、ご存知と思いますが、ガントリが 1 回転すると、時間遅れなく、すぐに、4D のムービー画像が表示されます。なぜ、こんなに早いのでしょうか？理由は簡単で、4D CBCT のボクセルサイズは 2 mm なのです。これまでの 3D CBCT の標準ボクセルサイズは 1 mm であり、データ取得中に逐次的な再構成アルゴリズムを走らせて、ガントリが 1 回転すると直ちに描画できていましたので、10 位相であっても、演算時間はこれまで以下だと想像しています。なお、Symmetry は、加点請求が可能な呼吸性移動対策の 1 つと考えられますが、ガイドラインによれば、請求するためには自然呼吸下で 10 mm 以上動くことを計測し、さらに CTV に比べて、ITV の照射野の拡大が 5 mm 以下という記録を残す必要があります。ITV 法では、横隔膜を圧迫せずに CT 撮像して、次に横隔膜を圧迫して再度 CT をとって、治療計画する必要があるようです。換言すれば、初めから横隔膜を圧迫してはいけないわけです。CT 撮像を 2 回実施することは患者の利益に反するので、加点請求をしていない Symmetry 施設を知っています。なお、ゲーティングやトラッキングすれば、自然呼吸下で 10mm 以上動くことを確認後、照射野の拡大を 5mm 以下のマージンで照射することは理論的に可能です。ただし、腫瘍の位置を実時間で正確に知るには、マーカーを X 線で連続透視する以外に難しく、連続透視した場合は被曝を考慮する必要があります。幸いにも、開

発が進んでいる **MRI linac** の場合、ナビゲーションエコー技術で、**X** 線を用いずに、呼吸性移動に伴う腫瘍位置を実時間で検出可能なことがわかってきました。追加の被曝がなく、治療時間も伸びない安全なトラッキング照射が **MRI linac** で実現できる日がいずれ来るはずで
す。呼吸性移動を有する膵臓がん、腎臓がんなどの放射線治療がマーカーレスで可能になる
かもしれません。