

AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

旭川医科大学研究フォーラム (2007.12) 8巻1号:2~7.

強度変調放射線治療における線量照合と絶対線量評価法の開発

西部茂美、山田裕樹、油野民雄

依頼論文

強度変調放射線治療における線量照合と絶対線量評価法の開発 (先進医療の名称：強度変調放射線治療；平成19年7月1日承認)

西部茂美* 山田裕樹* 油野民雄**

【要 旨】

本稿は、強度変調放射線治療（IMRT）における線量検証において、目的とする測定対象と測定に必要な測定系の選択、線量照合と絶対線量評価法について述べた。IMRTの治療計画で得られる線量分布は、標的容積に高線量を集中させ、かつ重要臓器では最低限に抑えた分布の構築が理想的である。その実現のために、放射線治療前の線量検証が必須ではあるものの、患者体内での検証では不可能である。したがって、IMRTの場合は絶対線量の評価はむろんのこと、治療計画上の線量分布そのものが重要な意味を持ち、その検証においてはフィルム法が極めて有効な手段となる。しかしながら、その手順は極めて煩雑であるため、その解決策として、我々は絶対線量に変換する自動解析処理ソフトウェアを開発したことで、その評価法を確立することができた。更に精度の高い線量検証法が開発されることを期待するものである。

キーワード 強度変調放射線治療、線量検証、フィルム測定系、品質管理

1. 研究背景と目的

直線加速器を利用した三次元原体照射法を発展させた強度変調放射線治療（Intensity-Modulated Radiation Therapy：以下、IMRT）は、欧米を中心に臨床応用されるようになってきている。IMRTの最大の利点は、病巣を含む標的を均等高線量域内に包み、同時に病巣周囲正常組織をこの高線量域内から外すことが可能なことである^{1)~2)}。今までの照射法では、照射野の広がりを制限することができても、放射線束自体の強度（スペクトル）を制御することができなかった。したがって、目的臓器以外の正常組織に対する被曝の軽減には限界があり、障害の発生は無視できない状況にあった。この手法は、従来の放射線治療の問題点を克服するものである。

上記の目的を達成するためには、放射線照射部位の線量スペクトルを腫瘍の感受性に合わせるため、照射野内を不均一（強度調整）にした放射線治療における線量精

度管理法の確立が必要である^{3)~4)}。その際、正常組織への線量を最小限にする一方で、ビーム強度をこれらの原体照射野に合わせて修正した三次元の標的容積に限りなく近似させた線量分布を実現するために、治療計画計算上の線量と実際に照射される目的臓器の線量との照合及びその絶対線量評価法を開発することにある。

本稿では、旭川医科大学病院で実施しているIMRTのための線量の検証に関して検討したので報告する。また、本稿で論じるIMRTは分節多分割絞り（segmental-MLC, SMLC）による^{5)~6)}。

2. 使用機器

直線加速器：HL-1500 10 & 4MV-X線、MLCリーフ幅10mm 40対（ELEKTA社製）
治療計画装置：FOCUS R3.2.1、XiO R4.33.02（CMS社製）
CT装置：Aquilion 16（東芝メデイカル社製）
線量率計・電離箱：AE-132a JARP型線量計、C-110（応用技研社製）

*旭川医科大学病院 放射線部 **旭川医科大学 放射線医学講座

フィルムデジタイザー：VXR-12 (Vidar 社製)
 人体等価固体ファントム：Tough Water (GAMMEX 社製)
 画像診断用フィルム：EDR2-2 READY PACK (Kodak 社製)

3. 研究方法

3-1 線量分布の評価に用いるフィルムの物理特性の検証

三次元的な線量分布の評価をするために、人体等価固体ファントム (以下、TW) 中の基準となる深部 (5 cm) に画像診断用フィルムを挟んで一定の方向から基準整形照射野サイズ (10 cm²) で 10MV-X 線を曝射 (25cGy~400cGy の範囲で、25cGy 毎) し、図 1 に示すように照射されたフィルムの濃度と基準線量との物理特性を検証する。



図 1 人体等価固体ファントム中のフィルム配置例

3-2 電離箱による中心線量の検証

線量計の有感体積との相関関係を考慮して JARP 型線量を用いて TW の基準深部 (5 cm) の中心線量を測定する。

3-3 絶対線量評価のための解析処理ソフトウェアの作成

上記条件で照射された複数のフィルムをフィルムデジタイザー (VXR-12) でスキャンし、スキャンした画像データを最新の高速コンピュータ (設備備品) 内に取り込み、得られた画像の濃度分布に最適な回帰式

をフィットさせ相対線量を算出する。相対線量から絶対線量に変換するアルゴリズムの構築と画像表示 (線量分布) のための自動解析処理ソフトウェアを開発する。

3-4 治療計画線量計算値と実測値との比較

治療計画装置 (FOCUS, XiO) で IMRT 用に計算された線量分布の各マトリクス値と同一条件で実際に照射されたフィルムから取得した線量分布強度並びに電離箱による絶対線量を評価する^{7)~9)}。これらの線量分布は個々の強度変調線束の集合体である。

4. 結果

4-1 線量分布の評価に用いるフィルムの物理特性の検証

フィルムの濃度と基準線量との物理特性を検証し、数式化した (図 2)。濃度 (横軸) と線量 (縦軸: cGy) の関係は近似式を用いて回帰させ、相関係数 R²=0.9997を得た。

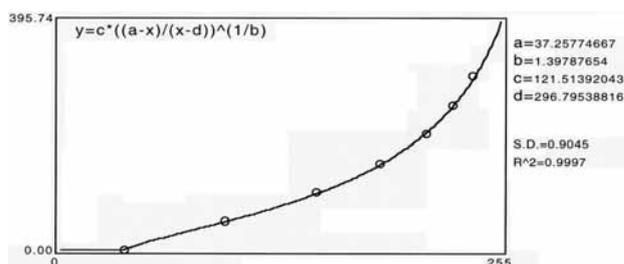


図 2 Rodbard の回帰式を適用

4-2 電離箱による中心線量の検証

患者のビームデータを TW に移行する際に各ビームの深さが大きく変化するために、中心線量が大きく異なる場合がある。そのため、各ビームの強度ウェイトを TW 用に調整し患者と同じ投与線量にする必要がある。表 1 に前立腺癌の患者 5 症例に対する IMRT では、本方法により測定した中心線量の結果を計算値と比較して示した。5 症例の全てにおいて 7% の誤差以内であった。

表 1 前立腺癌患者 5 症例に対する IMRT の計画値との比較

Region	Patients	Plan (Gy)	Measured (Gy)	Error (%)
Prostate	P .26	2.00	2.13	+6.5
Prostate	P .27	2.00	2.06	+3.1
Prostate	P .28	2.00	2.09	+4.6
Prostate	P .29	2.00	2.07	+3.3
Prostate	P .30	2.00	2.09	+4.4

4-3 絶対線量評価のための解析処理ソフトウェアの作成

絶対線量に変換する自動解析処理ソフトウェアを開発した。図3は表示の1例である。

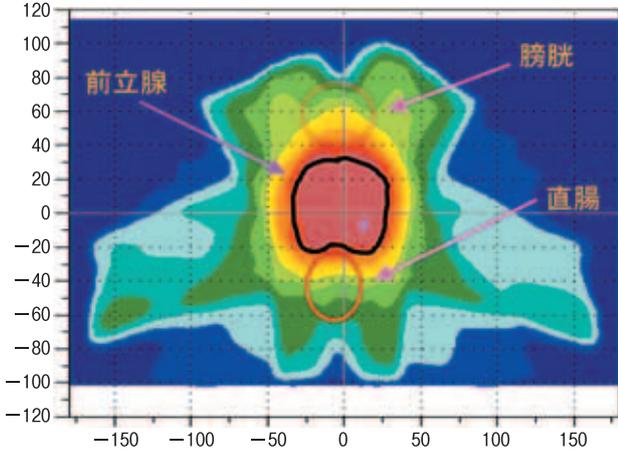


図3 前立腺癌患者のCT横断面上における線量カラー表示：膀胱および直腸の線量を可能な限り低く抑える

4-4 治療計画線量計算値と実測値との比較

前立腺 IMRT の5門照射(図4)(180, 108, 36, 324, 252°, 200cGy)の0°方向にイニシャライズした強度変調マップの治療計画線量計算値とフィルム法による実測値とのcoronal面での比較結果の1例を示す(図5)。STD=100cmとし、評価点の深さは0°方向のビームの深さとしてTWの深部5cmに設定した。測定におけるフィルムの位置も同様である。強度変調マップの計算と測定両者の差を等線量曲線にて比較すると、線量強度の僅かな差が大きな誤差として評価された。また図6は中心位置におけるL-R方向(患者の左右)T-G(患者の体軸)方向のプロファイルを示す。治療計画線量計算値(200cGy)を100%として正規化したフィルムによる実測値との30%、50%、90%等線量の領域では、31症例数の全てにおいて1%以下であった。また、最大線量域(100%)での誤差は何れの症例においても2%以下であった。

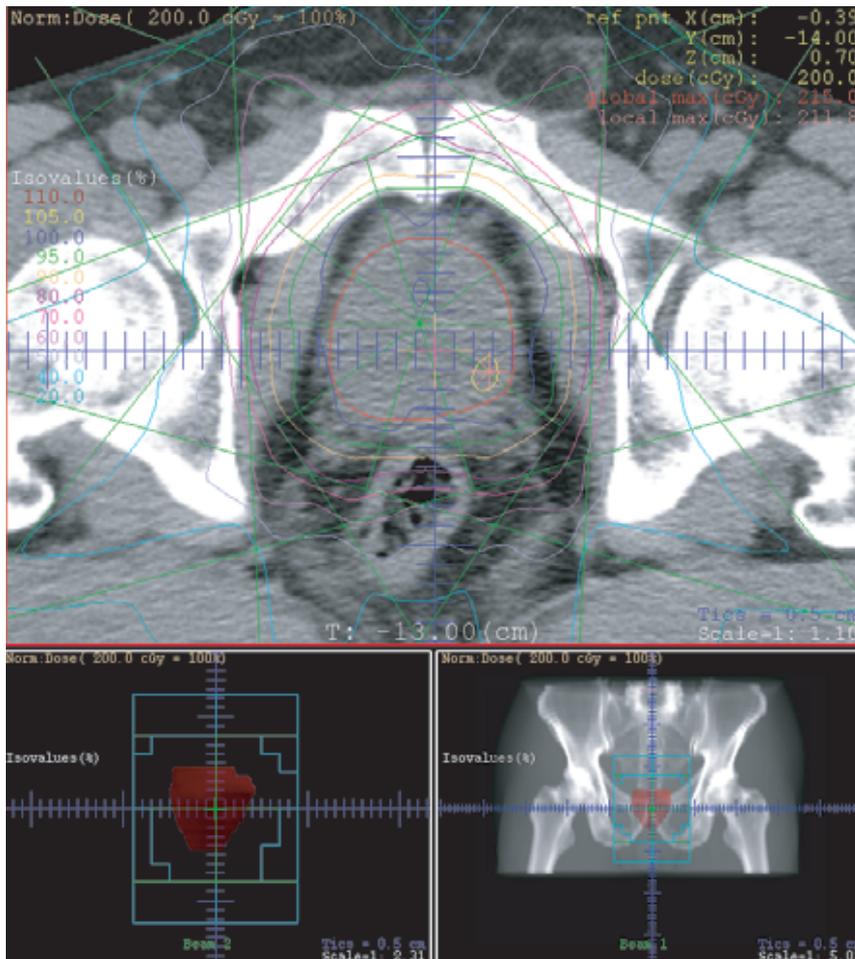


図4 前立腺癌患者の等線量曲線：上段はCT画像上での線量表示、下段は治療相当部

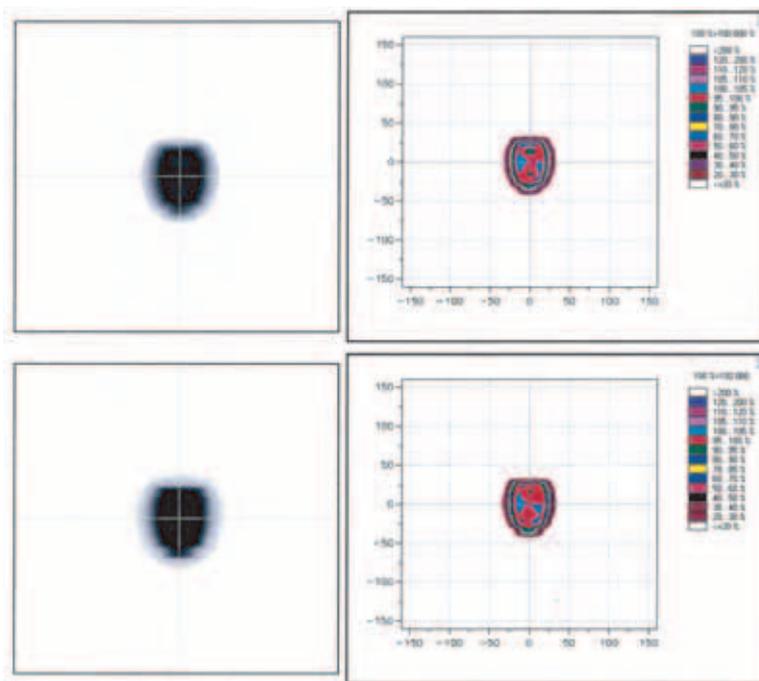


図5 上段は治療計画装置により計算された強度マップと線量分布図
下段はフィルム法による強度マップと線量分布図

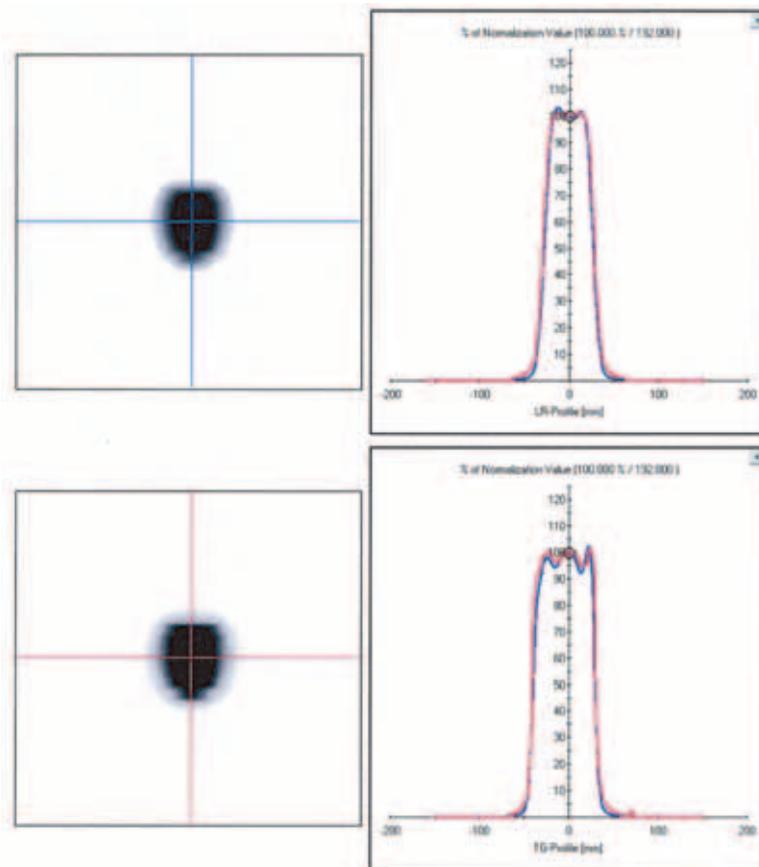


図6 上段は治療計画装置により計算された強度マップとフィルム法による強度マップとの
L-R 方向のプロファイルカーブの比較
下段は同様に T-G 方向のプロファイルカーブの比較 (青：計画値、赤：実測値)

5. 考 察

IMRT 適用の際、実際の患者体内においての治療計画線量分布の検証については、患者と同じ輪郭で同一密度から構成されたファントムを使用することが最適である。しかしながら、線量検証の実際の過程においては、このようなファントムは入手が不可能である。そこで、我々は CT 画像を基に IMRT 治療計画装置から計算された実際の患者データを、密度が既知の TW ファントム中における二次元的あるいは三次元的に表示した線量分布図や標的容積の中心線量の測定について述べたが、検証を行う対象により使用する線量計は適切に選択する必要がある。特に評価点が強度変調マップの急峻な線量域に存在する場合、測定する評価点を移動して測定することも工夫の一つとなる。

線量分布、中心線量、強度変調マップにおける計算値と実測値との比較による検証結果の是非に関しては、治療計画装置に入力した加速器のビームデータが維持されているか、加速器自身の機械的精度が担保されているかによって、治療結果に対して信憑性が異なる。特に加速器の出力の安定性、ビームの平坦性、MLC の稼働位置再現性が実際の照射に対して、多大な影響を及ぼし、加速器の日常点検や定期点検は無論のこと、加速器の性能維持に関して常日頃より真剣に取り組むべきである¹⁰⁾。

6. 結 論

我々は、IMRTにおける線量の検証において、正常組織への線量を最小限にする一方で、ビーム強度をこれらの原体照射野に合わせて修正した三次元の標的容積に限りなく近似させた線量分布の構築を実現するために、治療計画計算上の線量と実際に照射される目的臓器の線量との照合及びその絶対線量評価法を確立し、絶対線量に変換する一連の自動解析処理ソフトウェアを開発した。また、治療計画線量計算値 (200cGy) を100%として正規化したフィルムによる実測値との31%、50%、90%等線量の領域では、31症例数の全てにおいて1%以下であった。また、最大線量域 (100%) での誤差はいずれの症例においても2%以下であった。更に簡便で、精度の高い線量検証法が開発されることを期待するものである。

参考文献

- 1) Brahme A. Optimization of stationary and moving beam radiation therapy techniques. *Radiation Oncol* 12: 129-140, 1988.
- 2) Kallman P, Lind B, Eklof A, et al. Shaping of arbitrary dose distribution by dynamic multileaf collimation. *Phys Med Biol* 33: 1291-1300, 1988.
- 3) Low DA, Gerber RL, Mutic S, Purdy JA. Phantoms for IMRT dose distribution measurement and treatment verification. *Int J Radi Concol Biol Phys* 40: 1231-1235, 1998.
- 4) Tsai JS, Wazer DE, Ling MN, Wu JK, Fagundes M, et al. Dosimetric verification of the Dynamic intensity-modulated radiation therapy of 92 patients. *Int J Radi Oncol Boil Phys* 40: 1213-1230, 1998.
- 5) Verhey L, Xia P, et al. Clinically practical intensity modulation for complex head and neck lesions using multiple Static MLC fields. *Int J Radi Oncol Biol Phys* 39: 237, 1997.
- 6) Boyer A, Geis P, Grant W, et al. Modulated beam conformal therapy for head and neck tumors. *Int J Radi Oncol Boil Phys* 39: 227-236, 1997.
- 7) Boyer AL, Xing L, Ma C, et al. Theoretical considerations of monitor unit calculations for intensity modulated beam treatment planning. *Med Phys* 26: 187-195, 1999.
- 8) Kung J, Chen G. A modified Clarkson integration for IMRT. *Med Phys* 26: 1135, 1999.
- 9) Xing L, Chen Y, et al. Monitor unit calculation for an intensity modulated photon field by a simple scatter summation algorithm. *Phys Med Biol* 45: N1-N7, 2000.
- 10) 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会編：多分割コリメータによる強度変調放射線治療の機械的精度確保に関するガイドライン (Ver. 1). 日本放射線腫瘍学会誌, 16(3), 192-203, 2004.

Development of the Absolute Dose Measurement and Dosimetric Verification in Intensity-Modulated Radiation Therapy

NISHIBU Shigemi*, and YAMADA Hiroki*, and ABURANO Tamio**

Summary

This report of dosimetric verification for IMRT intensity modulated radiation therapy, we examined the selection of a portal-film dosimetry in accordance with the purpose of physical measurement and the process of data analysis. Because of the high dose conformation in the target volume and minimum dose in the organs at risk in IMRT, dosimetric verification is essential. Because the performance of dosimetric verification in a patient is not allowed, a physical phantom and dosimeter must be used. We developed automatic analysis processing software to certainly convert into absolute dose. We hoped that an ease method of dosimetric verification that still maintains a high level of accuracy will develop as a result of this great effort.

Key words Intensity modulated radiation therapy, Dosimetric verification, Portal-film dosimetry, Quality assurance

*Department of Clinical Radiology, Asahikawa Medical College & Hospital

**Department of Radiology, Asahikawa Medical College