

厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）  
分担研究報告書  
放射線治療モダリティ別支援プログラム、地域連携による人材育成及び  
品質管理に係る研究

研究分担者 成田雄一郎 弘前大学大学院医学研究科 講師

**研究要旨：**高精度放射線治療である IMRT と IGRT の、高精度性を確保しながら治療を実施していくために、本治療の立ち上げの際の技術的課題であるコミッショニング過程を支援可能なプロトコルの開発を目指し、そのプロトコル作成で評価項目にいった MLC の線量パラメータの検証方法および、それに必要な数値ファントムの開発、あるいは品質管理用治具の開発を実施した。本研究においては、具体的な第三者評価プロトコルの開発に向けて、具体的な評価項目の検討、治具等を開発したが、その結果は本邦の高精度放射線治療の高精度性を真に確保してく上で、非常に有用なものである。

## A. 研究目的

本邦において強度変調放射線治療 (Intensity Modulated Radiation Therapy ; 以下、IMRT) 及び画像誘導放射線治療 (Image-Guided Radiation Therapy ; 以下、IGRT) が全面的に保険収載され (2010 年 4 月)、関連学会からの技術的／物理的観点でのガイドライン整備が進められ、一部既に公開されている。IMRT を開始するにあたっては、治療計画や線量検証を実施する上で実施者の高い能力が問われる。しかしながら、技術的／物理的検証精度の信憑性を評価することができれば、コミッショニング精度の向上につながり、結果として線量検証等において偶発的に起こる問題以外で立ち止まることを回避でき、同時に得られる検証結果の信頼性も向上する。

IGRT を IMRT などの高精度治療と併用する場合には、ガイドライン上では画像誘導

装置の位置照合系中心とリニアック装置のビーム照射系中心の一致度、さらにこれらのレーザー照準器が示すアイソセンターとの一致度をそれぞれ 1mm 以内であることが望まれている。日々の品質管理の実施とその結果が重要であるが、その特性は施設毎、装置毎に異なる。その装置毎に異なる特性を事前に包括的に評価することが可能であれば、その結果は定期的に品質管理を遂行する上で大きな指針となり得るとともに、高精度治療装置としての限界点を事前に把握することができ、治療計画の適正評価にも活用することができる。

本研究では、IGRT/IMRT のコミッショニング、品質管理において第三者的にその精度を評価しうる共通プロトコルの開発を目指す。また、本プロトコルを活用し、東北がんネットワーク (放射線治療専門委員会) の地域連携ネットワークに登録してい

る東北6県にある放射線治療施設の高精度化の支援プログラムの構築を目的とする。

また、MLCによるIMRTでは、MLCのTougue&Groove効果に伴う線量低下が知られており、市販ベースの治療計画装置によってはこの効果を考慮しているものもあるが、IMRTの線量検証等で実測値と計算値に一定の誤差を発生させる。本研究では、このT&G効果に伴う線量低下モデルを構築し、線量検証の際に誘発される誤差を事前評価できる手法を開発する。

□

## B. 研究方法

### B-1 IMRT コミッショニング第三者評価法の開発

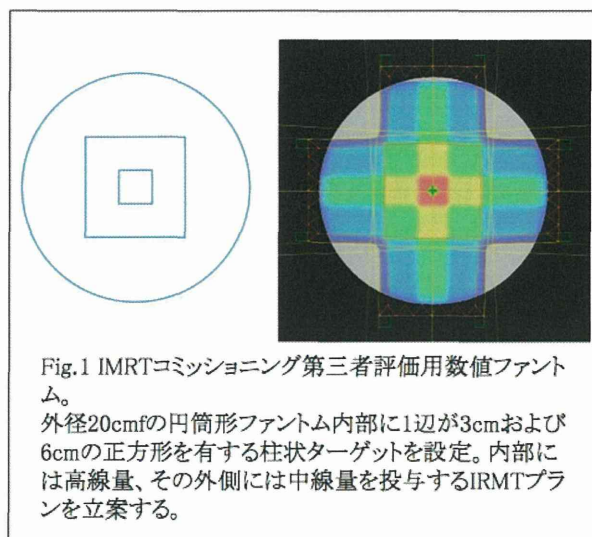
IMRT のコミッショニング時に求められる技術的・物理的要件は以下の3項目である。

- a) 治療計画装置入力のための基本ビームデータの精度
- b) 多分割絞り (Multileaf Collimator ; 以下、MLC) の線量特性として、治療計画装置に登録する MLC 透過線量、MLC 先端の Round-End 透過線量 (Dosimetric Leaf Gap あるいは Shift ともいう) の精度
- c) 事前線量検証に用いる線量測定器具あるいは装置を用いた線量測定において器具あるいはファントム固有の絶対線量変化パラメータの精度

上記、3項目のうちb)のMLCの線量パラメータはその測定法も厳密には確立しておらず、治療計画装置に登録後は、殆ど見

直されることがない。

そこで、これらのパラメータを第三者的に評価するために、どのメーカーの治療計画装置でも構築可能な数値ファントム (Fig. 1) を提案する。



本ファントムは内部に投与線量の異なる2領域（内側に高線量、外側に中線量）を有しており、IMRT治療計画を実施することで、照射線量の異なる2領域を作成することが可能である。この2つの領域は、MLCの線量パラメータの透過線量率とDosimetric Leaf Gap (DLG) の寄与率が異なる領域で、治療計画装置に登録しているこの2つのパラメータの精度を実測線量と比較することで評価した (Fig. 2)。その際、DLG及び透過線量率ともに実際に登録している数値の前後の値を再登録した際に、実測値にどのような変化が出現するかを評価した。

また、より現実的なMLC動作パターンとして、B-2で示す、Tongue&Groove (以下、T&G) 効果の有無を考慮したMLCパターンを作成し、計算結果と実測との比較を行った。これにより治療計画装置が考慮しているT&G



効果の精度を評価する (Fig. 3)。

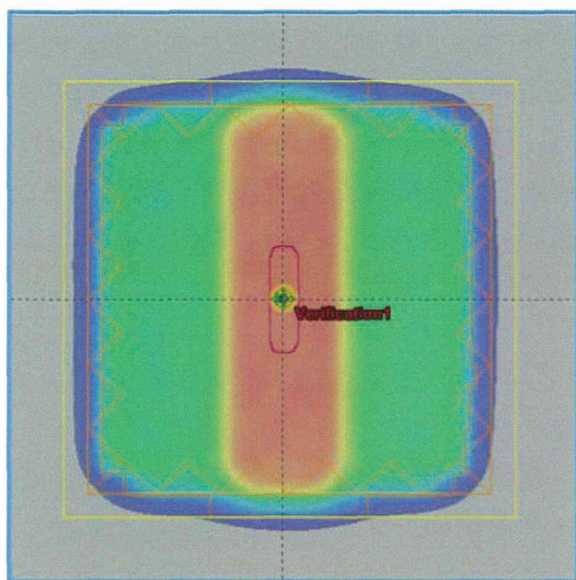


Fig.2 IMRTコミショニング評価用数値ファントムに対するIMRTプランのIntensity Map。中心部は高線量、その両側に中線量域が立案され、MLCの線量パラメータである、透過線量率およびDLGの寄与率が異なる。

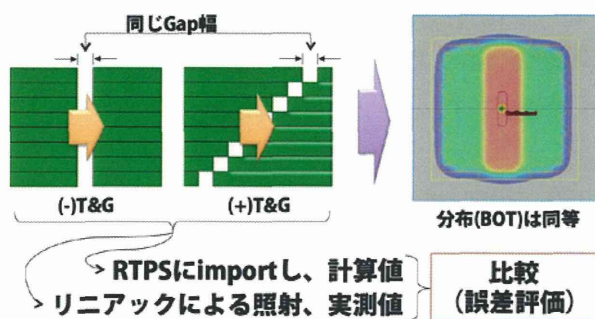


Fig.3 T&G効果を考慮したMLC動作パターン。BOTは両者同等。

B-2 IMRT 線量検証における Tongue&Groove 効果による誘発誤差の事前評価法の開発

B-2-1 使用装置及び測定条件

使用装置及び測定条件については以下の通りである。

- ・放射線治療装置：Clinac iX #5001 (VMS)
- ・線量測定電離箱：TN30013 #5165
- ・水等価ファントム：Tough Water
- ・線源-表面間距離：90cm
- ・測定深：10cm
- ・照射野：jaw size 10×10cm<sup>2</sup>
- ・エネルギー：6MV 10MV
- ・線量率：300D/R
- ・Leaf 速度：1.5cm/sec

B-2-2 線量低下量曲線の算出

全ての Leaf 対が任意の gap 幅、位置をそろえて等速で移動する DMLC パターンを作成し、その線量測定を実施した。ここでの測定ではT&G効果による影響は含まれないレファレンスの場合である (fig. 4)。Gap 幅の設定は 5mm, 10mm, 20mm, 40mm の 4 種類で行った。また、各々の Leaf の動作開始タイミングを、ある一定幅分(delay distance) 遅延させることで Leaf 側面の T&G 構造が時間差で介在し、T&G 効果を誘発させた時の線量測定を実施した (fig. 5)。

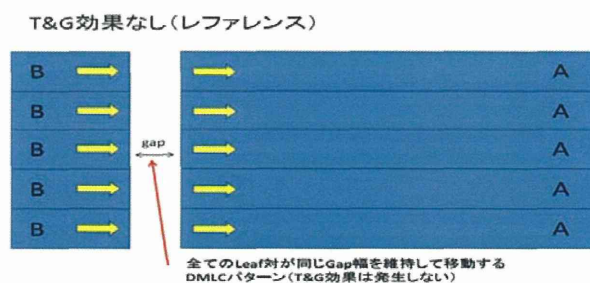


Fig.4 T&G効果がないMLC動作パターン。

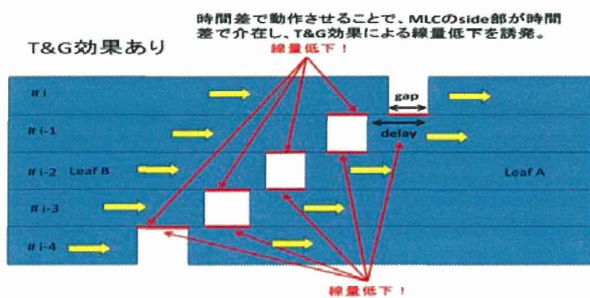


Fig.5 T&G効果を考慮したMLC動作パターン。

Delay distance の設定は 2mm 間隔で行い、Gap 幅の 2 倍の長さとなるまで測定を行った。このとき、種々のパターンにおいてすべての Leaf 速度は一定となるようにし、またすべての位置における Beam-on-time と Beam-hold off-time の比率が一定となるようにした。得られた測定結果をグラフにプロットすることで、delay distance の変化に応じた曲線を得ることができ、この曲線を線量低下率曲線とした。なお、delay distance=0mm 時の値を 1 とし、測定値は Transmission 成分を除外した値を用いた。

#### B-2-4 線量低下モデルの構築

異なる 4 種の Gap における線量低下量曲線を散布図表示したものを、測定値のばらつきを考慮し多項式近似を行った。また特にばらつきが大きい 0~6mm 区間と、それ以降の区間の二区間に場合分けし近似を行った。得られた近似曲線を微分法にて解析しモデル曲線を算出した。このときグラフの横軸の delay distance を Leaf 先端からの距離と置き換えてみると、線量低下量は Leaf 先端からの線量の積算値として表すことができる。よってこの積算線量を微分法で解析することは、Leaf 先端距離に応じた局所的な線量低下量として捉えること

ができる。

#### B-2-5 線量低下モデルの評価

構築したモデルの評価として、モデル曲線を用いて算出した測定日毎・Gap 毎の計算値と実測データを比較し、その誤差を見た。実測データ値は 1-3 で算出した BOT を補正した後の線量低下量を用いた。また実測データとモデル値との相関を見たときの評価も行った。

#### B-2-6 モデル適応時のフルエンスマップ表示

実際の前立腺 IMRT プランの MLC 動作データを用い、プログラム処理を行った。プログラム上では 0~1 の間の Time fraction 毎に、全 60 枚で構成される MLC の、隣接する Leaf で生じる delay distance を計算し、1-5 より算出したモデル式を適応させた。A サイドと B サイドの両 Leaf 対、6MV と 10MV の両エネルギーについても同様の処理を行った。また、TGU の計算の他、BOT の計算も行い、その比較を行った。

#### B-3 IGRT 機器の高精度性事前評価法の確立

本評価法を開発するに当たり、画像誘導機器搭載リニアックのレーザ、照射系座標中心、位置照合系座標中心一致の精度 1mm 以内を保証可能な品質管理ファントム (TM-WINS) を開発した。使用機器は Varian 社製の OBI 搭載 Clinac iX 機。TM-WINS は照射室のレーザ照準器 3 方向からのレーザに簡便かつ正確に設置可能な 3 点式調整つまみで設置する。基準点には  $\phi 3\text{mm}$  のタングステン

球が組み込まれている。照射系座標中心の検証には  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  に絞ったコプラナビームを4方向、ガントリ0及び $180^\circ$ のときのみ寝台角度を $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ のノンコプラナビームを照射し、それらをEPIDで画像化。位置照合系座標精度はOBI画像を4方向から取得する。取得した画像から各金属マーカを自動検出し、種々の座標系の一致度を評価した。

また、IGRT機器の高精度性を評価する目的で、本TM-WINSを用いて、ガントリ回転あるいは、寝台回転に対する詳細な照射系中心の変動、位置照合系中心の変動を計測した。

#### B-4 地域がんネットワークを含めた拠点病院のIMRT/IGRT支援体制の構築

(倫理面への配慮)

臨床治験あるいは、ボランティアによる臨床研究を行う際には、国立大学法人弘前大学における臨床研究に関する倫理指針を遵守し、倫理委員会に研究計画書およびプロトコルを提出し審査を受ける。

## C. 研究結果

### C-1 IMRTコミッショニング第三者評価法の開発

本研究では、Fig. 6に示すような第三者的評価プロトコルの構築を目指している。今回検討した項目は、Fig. 6の「MLCパラメータの測定」部分に相当する。

MLC透過線量率及びDLGの値が適切に取得できず、治療計画装置に誤差を含んで登録された場合、Fig. 7に示すようにIMRTの計算と実測値に誤差が生じることを確認した。また、線量プロファイルをみても、DLGの値が不適切の場合には、計算と実測のプロファイルに僅かな乖離が見られることが示された。

また、T&G効果の有無を再現したMLC動作パターンによる、治療計画装置による線量計算値と実測との誤差をFig. 8に示す。いずれの動作パターンにおいても、BOTの大きい中心(Center)での誤差が小さく許容されるのに対し、BOTの小さい偏心点(Side)での誤差が大きい。



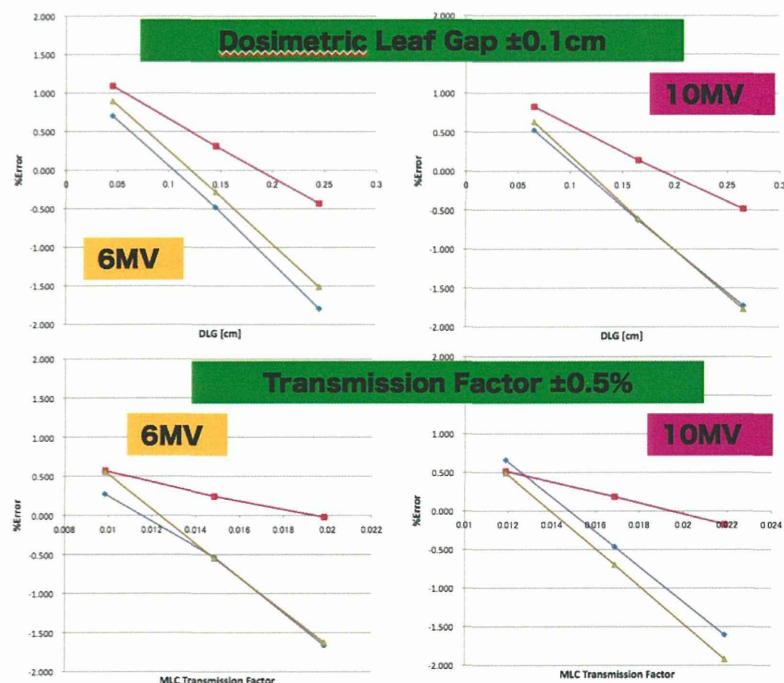
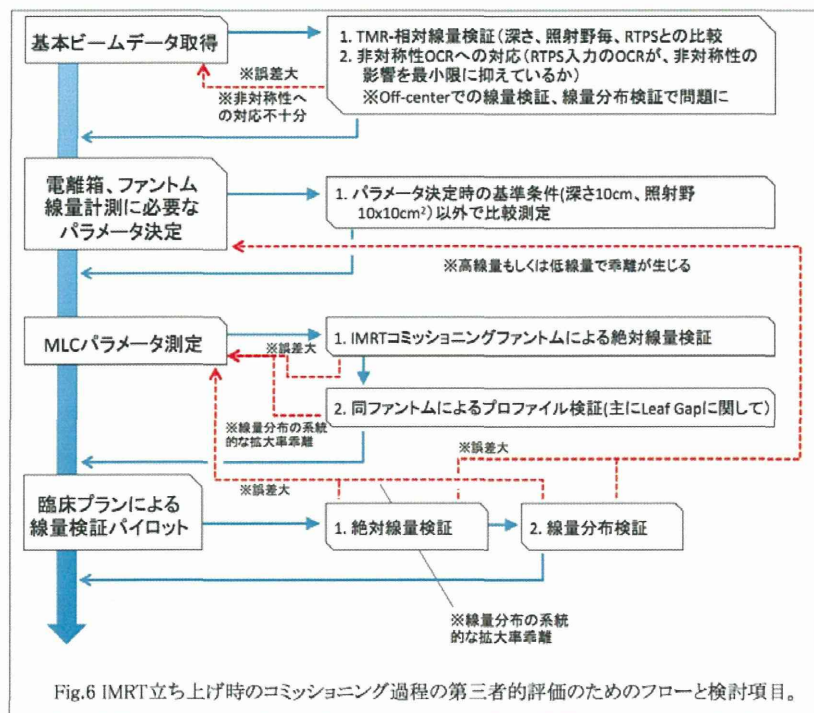
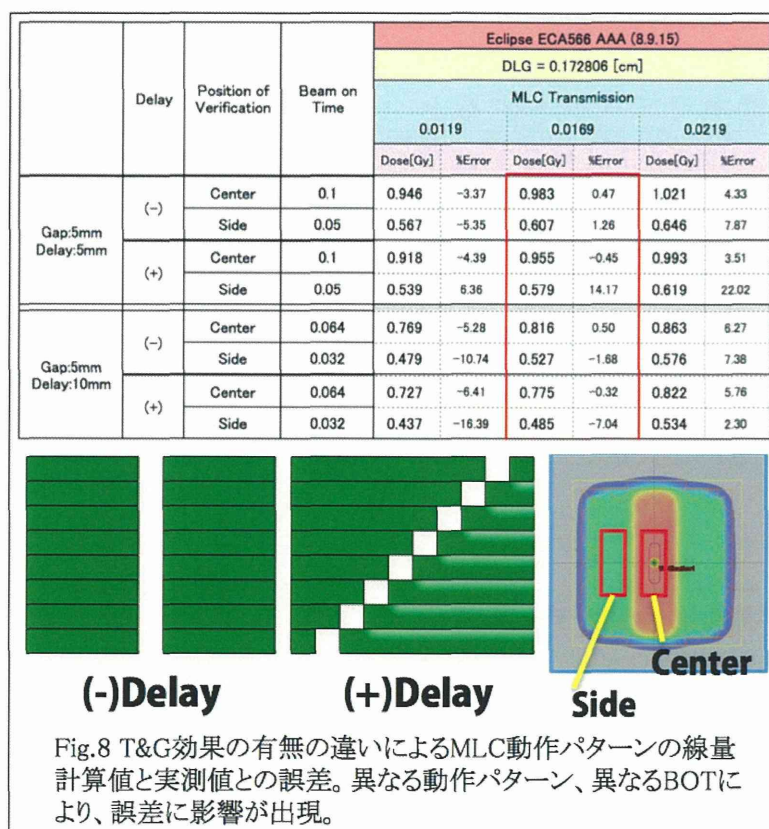
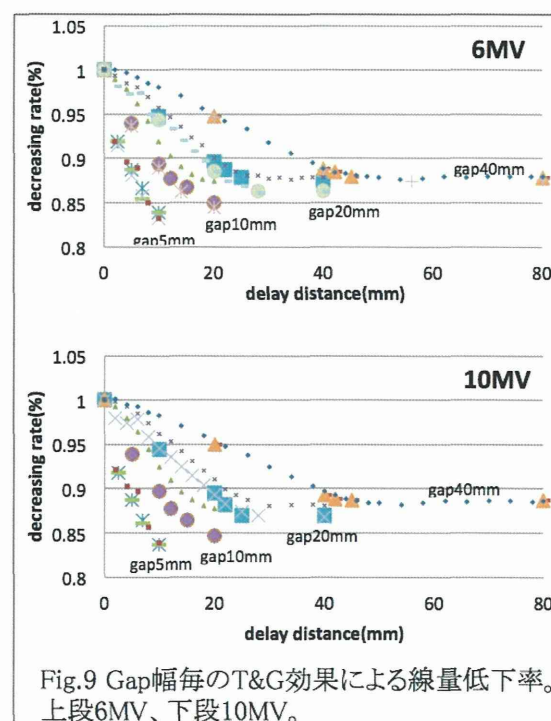


Fig.7 MLCパラメータのDLG(上段)および透過線量率(下段)を前後させた場合の実測線量と計算値との差。測定点は中心の高線量域(赤線)とその両側の中線量域(黄色および青色)で、真値から変動した場合の誤差の出現はDLGと透過線量率の寄与率の異なる点で変動する。



## C-2 IMRT線量検証におけるTongue&Groove効果による誘発誤差の事前評価法の開発

T&G効果を誘発させた条件下での線量低下率曲線は、fig. 9に示すようにGap幅に依存する。曲線の特徴として、いずれのGap幅でも直線的な線量低下を示したあと、遅延幅(delay distance)がGap幅の大きさを超えた地点でプラトーを形成するような傾向が見られた。また測定日によって値がばらつくことが確認できた。エネルギーによる差異はほぼないが、僅かながら値の違いはあった。



これを線量低下量率でプロットするとFig. 10に示すようにGapには依存せず、単なるDelay distanceに依存した曲線を示す。

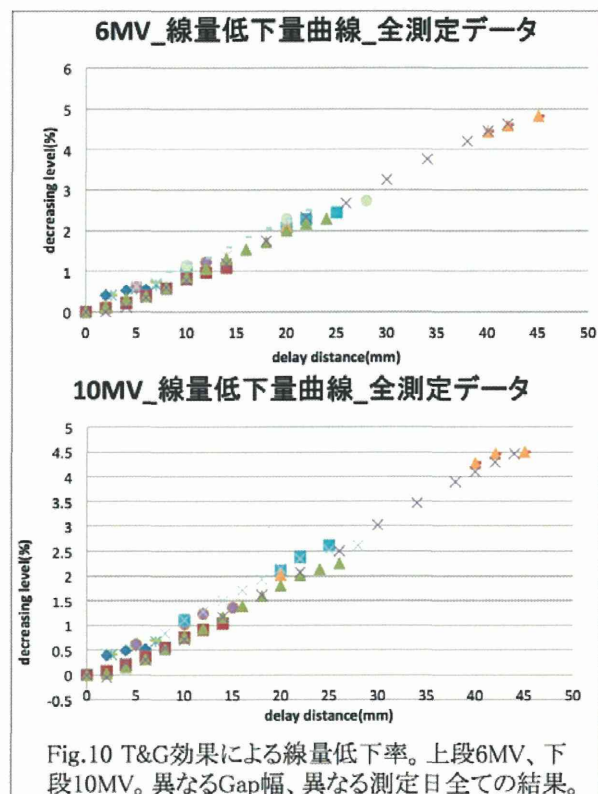
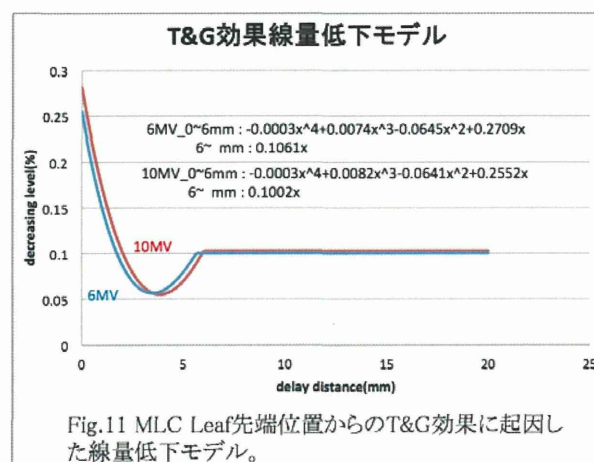


Fig. 10に示す線量低下量率曲線の近似曲線を算出し、その微分曲線を計算することで、MLC先端位置からの線量低下モデルを作成した(Fig. 11)。Fig. 10の近似曲線は5次の多項式で得ているため、微分曲線は4次の多項式で近似したモデルとなる。



また、このモデルを用いて、実測系と同じ結果として、MLC先端位置からの線量低下量を積算した結果をFig. 12に示す。

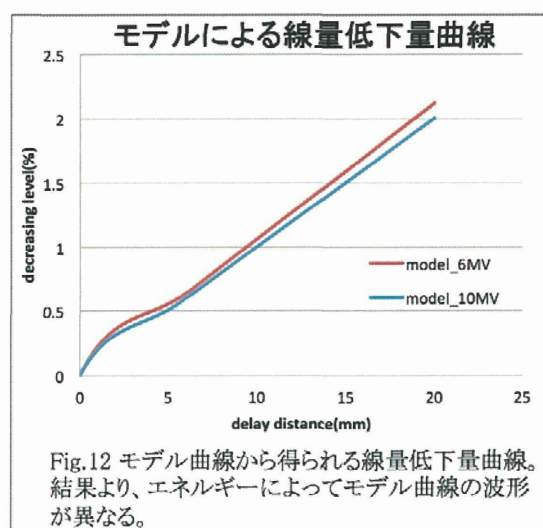


Table. 1には、Fig. 12で示したT&G線量低下モデルから算出した線量低下量曲線とFig. 10の実測との比較をまとめた。A. 誤差の平均は各測定点毎の誤差の平均であり、特にDelay distanceがゼロ付近での大きな誤差(低下量は僅かでも、誤差が大きい)、の影響で結果は相応の誤差となったが、B. Cで示す相関係数の結果を見る限りにおいては、近似モデルによる線量低下量率曲線は実測をよく再現できている結果とな



った。

また、本モデルを前立腺IMRTのMLCデータに適用した場合のT&G起因線量低下量をFig. 13に示す。T&Gは各MLC間で発生するが、これを有限の体積を持つ0.6cc電離箱（直

径6mm、長さ23mm）で線量検証をした際の、検証点毎の誤差マップを算定し、線量検証の誤差の信頼性向上を図る。

Table1. モデル計算値と実測値の線量低下率の比較

A. 線量低下率曲線の誤差の平均[%]

6MV_誤差評価				10MV_誤差評価			
測定日毎		Gap 毎		測定日毎		Gap 毎	
測定日①	-2.1	5mm	-7.0	測定日①	-4.9	5mm	-6.8
測定日②	-2.5	10mm	11.2	測定日②	-5.1	10mm	14.9
測定日③	-6.4	20mm	5.3	測定日③	-4.9	20mm	7.2
測定日④	-9.2	40mm	6.8	測定日④		40mm	7.0
測定日⑤	19.1			測定日⑤	21.6		
Ave.	-0.2	Ave.	4.1	Ave.	1.7	Ave.	5.6

B. 相関係数、決定係数（6MV）

6MV_相関評価_測定日毎			6MV_相関評価_Gap 毎		
	相関係数 r	決定係数 r2		相関係数 r	決定係数 r2
測定日①	0.999	0.998	5mm	0.855	0.731
測定日②	0.999	0.998	10mm	0.957	0.915
測定日③	0.996	0.993	20mm	0.989	0.979
測定日④	0.994	0.988	40mm	0.997	0.994
測定日⑤	0.993	0.986			

C. 相関係数、決定係数（10MV）

10MV_相関評価_測定日毎			10MV_相関評価_Gap 毎		
	相関係数 r	決定係数 r2		相関係数 r	決定係数 r2
測定日①	0.998	0.996	5mm	0.862	0.744
測定日②	0.998	0.996	10mm	0.963	0.927
測定日③	0.994	0.987	20mm	0.986	0.972
測定日④			40mm	0.997	0.994
測定日⑤	0.993	0.986			

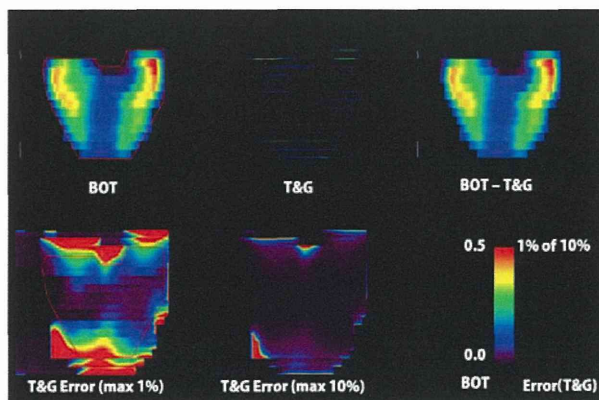


Fig.13 前立腺IMRTのMLCデータから算定したT&G起因の線量低下量の算定。  
下段誤差は、0.6cc電離箱を用いた場合の、各線量検証点におけるT&G誤差量を示す。

### C-3 IGRT機器の高精度性事前評価法の確立

Fig. 14およびFig. 15にIGRT機器の高精度性を評価する目的で開発した品質管理治具(TM-WINS)を示す。当治具は、レーザー中心点に直径3mmのタングステン球が埋め込まれており、治療ビームの高エネルギーX線、位置照合用の低エネルギーX線の両方に対する高い描出能を有する。また、高精度性の評価に必要な専用ソフトの開発も行っている。



# For IGRT-QA TM-WINS

監修：弘前大学大学院医学研究科 放射線科学講座 成田雄一郎先生

(特許申請済)  
Information



本体の傾斜補正が容易です。



小型なので治療前での短時間QAに対応可能です。



レーザー光の合わせ込みが容易です。



DICOM(EPID MV Image)



DICOM(EPID,etc KV Image)



ON Line



ON Line



Windows-7




Technology of Radiotherapy

販売、開発：有限会社タイセイメディカル 大坂市北区南森町1丁目3番9号 柏尾ビル207号 電話 06-6314-5255

アールテック(株) 〒175-0092 東京都板橋区赤塚1-2-9 あおきビル2F 電話 03(5667)7464

ソフトウェア開発：(株) Technology of Radiotherapy 〒112-0002 東京都文京区小石川2-1-2 11山京ビル6F 電話：03-3668-0845

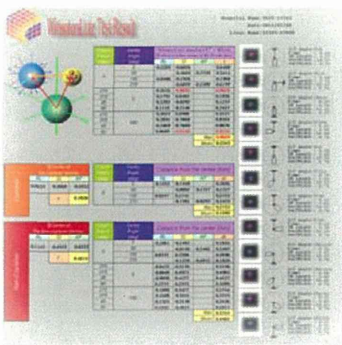
Fig.14 画像誘導機器搭載装置の高精度性評価のために開発したIGRT品質管理治具




# For IGRT-QA TM-WINS

監修：弘前大学大学院医学研究科 放射線科学講座 成田雄一郎先生


Winston Lutz test用治具/専用ソフトウェア  
(特許申請済)  
Information




Winston Lutz QA全表示例




TM-WINS QA全表示例




Morning QA例




Windows-7 Window:1240x1024 Memory:4GB



DICOM (16..32BIT),EPID,JPG,etc



MAC OS-X Window:1240x1024 Memory:4GB 別途Crossover Softwareが必要

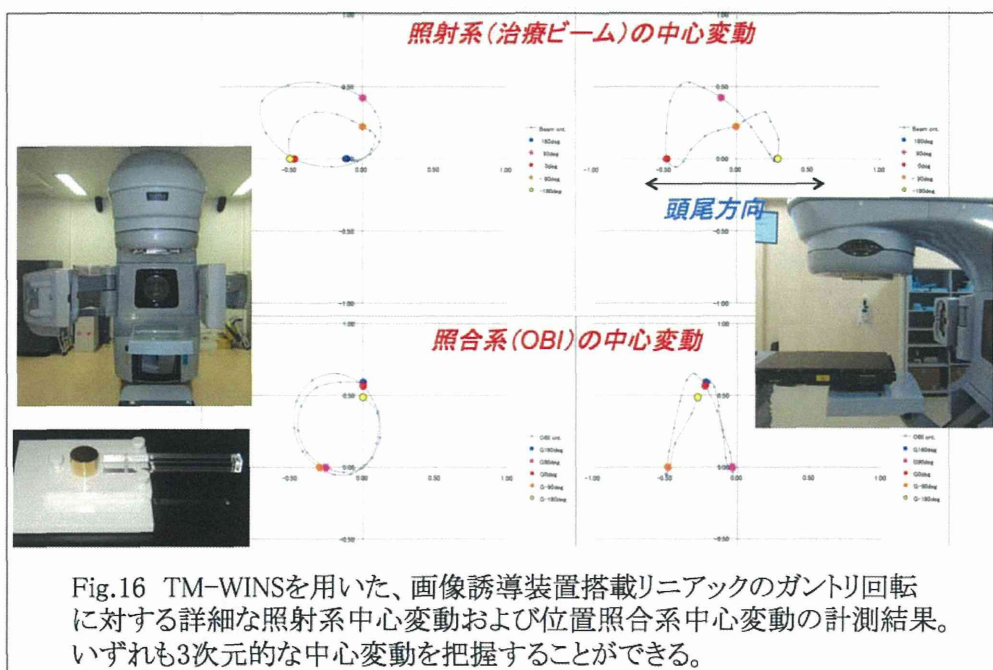


Online Image Calculation

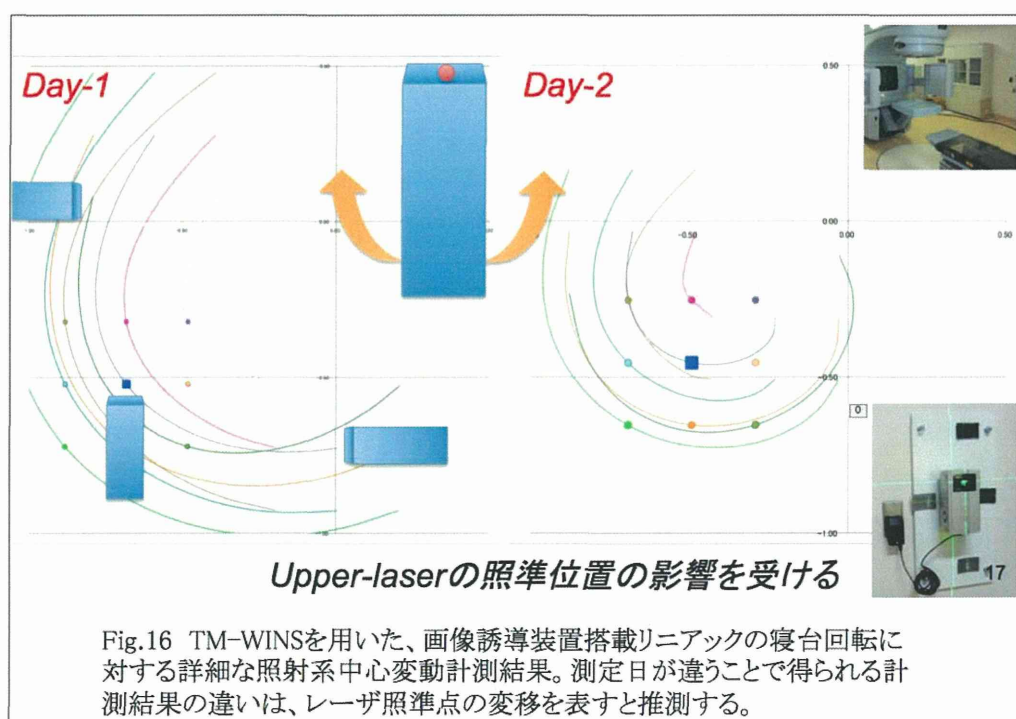
Fig.15 TM-WINS専用のIGRT機器高精度性評価のソフトウェア

TM-WINSを用いて画像誘導装置搭載リニアックのガントリ回転、および寝台回転に対するビーム照射系と位置照合系中心の高精度性評価の結果をFig. 16およびFig. 17に示す。この回転中心精度特性は装置によっても異なり、またTM-WINSを設置する際に用いるレーザ照準点の管理状況によっ

てもその影響を受けることが予想される。そのため、この結果はレーザ照準器の管理をする上で有用な情報をもたらすとともに、リニアック装置の高精度性を第三者的に評価あるいは維持するために有用である。







## C-4地域がんネットワークを含めた拠点病院のIMRT/IGRT支援体制の構築

研究期間内に実施したIMRT/IGRT支援

1). 兵庫県立がんセンターIMRT研修会  
(2012/2/11)

「頭頸部IMRTデモンストレーション」－  
治療計画実習－

2). 東北がんネットワーク 技師・物理士  
メーリングリスト立ち上げ

・岩手医科大学 前立腺IMRT治療計画・検証法講習会 (2011/7/19-22 in 青森県中)

・岩手医科大学 頭頸部IMRT治療計画講習  
会 (2012/5/26 in 岩手医科大学)

3). IMRTコミッショニング第三者評価法開発に関連し、青森県立中央病院（県拠点病院）に評価依頼

4). 前立腺がんIMRT講習会 (講師参加)  
(2013/3/9開催予定)



## D. 考察

放射線治療における品質保証、特にIMRTやIGRTといった高精度放射線治療の普及とその技術的・物理的精度を確保していくことは急務であると思われる。少なくともがん拠点病院においては、既に保険収載されたこのような高精度治療の均てん化と品質保証を両立させることが強く求められていると認識している。しかし、今年度のがん対策基本計画概要においては、IMRTなどは、集約化すべきとの見解がだされたが、いずれにせよ、欧米並みの高精度品質管理体制の構築が急務であるとする。本研究は、IMRT普及の妨げとなっている、IMRTの立ち上げ時の技術的・物理的コミッショニング過程を支援可能な、かつ同時にその精度を第三者的に評価することができるプロトコルの開発を目指し研究を実施してきた。また、IGRTにおいては、保険収載が既に行われた以上、ガイドライン等が示す高精度性を確保することは義務ではあるものの、それを適切に実施しその高精度性を確保、維持していく具体的な方法に乏しいのが現状であり、本研究においてその高精度性を第三者的に評価し、維持していく方法の開発を実施してきた。今回検討したMLCの線量パラメータの精度検証においては、治療計画装置に登録するパラメータの精度を第三者的に評価可能な数値ファントムの開発をと評価項目の検討を実施できた。今後は、本プロトコルをもとに、既にIMRTを立ち上げている施設あるいは新規に立ち上げを予定している施設において、IMRTの技術的・物理的精度を確保する支援が可能であるかの検証を検討する。また、IGRT高精度性第三者評価

においては、高精度性評価に必要な品質管理治具の開発と使用実績はあげたものの、具体的な評価プロトコルの開発までは実施できず、今後さらに研究をすすめる。

## E. 結論

本成果は、放射線治療モダリティの中でIMRTとIGRTという高精度治療の普及および高精度性の確保を支援可能な第三者的評価法の開発が実施できた。今後は、その実証試験をさらにすすめ、がん拠点病院すべてにおいて高精度治療が真に高精度に立ち上げられる支援プログラムの開発を進める。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

第101回日本医学物理学会学術大会

(2011. 04. 07-10 パシフィコ横浜)

「IGRTのためのQCファントム(TM-WINS)の開発」 成田雄一郎、他

第103回日本医学物理学会学術大会

(2012. 4. 12-15 パシフィコ横浜)

「IGRTの実施に向けた品質管理ファントムTM-WINSの開発と使用経験」 成田雄一郎、他

第23回日本放射線腫瘍学会学術大会

(2010. 11. 18-20, 東京ベイホテル東急)

「画像誘導放射線治療(IGRT)開始に向けた当院における QA/QC プログラムの開発」 成田雄一郎、他

第24回日本放射線腫瘍学会学術大会  
(2011. 11. 17-19, 神戸ポートピアホテル)

「IMRTプランにおけるTongue&Groove効果の定量化に向けた基礎評価」 成田優輝、成田雄一郎、他

第25回日本放射線腫瘍学会学術大会  
(2012. 11. 23-25, 東京国際フォーラム)

「IMRTプランにおけるTongue & Groove効果による線量低下モデルの構築」 成田優輝、成田雄一郎、他

第68回日本放射線技術学会総会学術大会  
(2012. 4. 12-15, パシフィコ横浜)

「放射線治療における2次元電離箱式配列検出器の空間分解能の検討」 小原秀樹、成田雄一郎、他

2011年バリエーションセミナー (2011. 9. 3, 東京)

「IMRTの照射線量、線量検証の精度を確保するための方策」

## G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

### 1. 特許取得

発明の名称：放射線治療装置におけるアイソセンターの変位測定方法、その変位の調整方法、及び変位測定用ファントム

出願番号：特願2011-186486

出願日：平成23年08月29日

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし



厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）  
分担研究報告書  
放射線治療モダリティ別拠点病院支援プログラム及び品質管理に係る研究

研究分担者 遠山尚紀 千葉県がんセンター 技師（物理）

研究要旨：強度変調放射線治療(IMRT)の均てん化のために、前立腺がんIMRTの治療計画に関する研修会を計画し実施予定である。また、郵送によるIMRT第三者評価システムを構築し、臨床試験参加施設と都道府県がん診療連携拠点病院の計5施設に対して実施した。また、本システムの線量計測精度の不確かさを算出した。外部委員を含んだ放射線治療品質管理委員会を運用し、治療計画立案における修正回数を4分の1に減少することが可能であった。

## A. 研究目的

先端的がん治療である強度変調放射線治療（IMRT）実施における地域間格差を是正するために、特に、施設間格差が予想されるIMRTの治療計画に関する効果的な研修会の実施方法を検討する。

また、安全かつ質の高いIMRTを実施するために昨年度構築した郵送によるIMRT出力線量の第三者評価システムを継続して運用し、問題点と有用性を明らかにするとともに、本システムの線量計測精度の不確かさを算出する。

外部委員を含んだ放射線治療品質管理委員会の有用性について明らかにする。

## B. 研究方法

昨年までの研究成果を基盤とし、今年度は、都道府県がん拠点病院を対象として、前立腺がんIMRTの治療計画に関する効果的な研修会の実施方法を検討する。

また、昨年までに構築した郵送によるIMRT出力線量の第三者評価システムを継続運用し、前立腺癌IMRT/IGRT併用寡分

割照射法の第Ⅱ相臨床試験と連携し、臨床試験参加施設と、都道府県がん診療連携拠点病院を対象に実施し、問題点と有用性を明らかにする。また、モンテカルロシミュレーション利用し、線量計として利用しているガラス線量計の校正条件とMLC全閉条件、IMRT条件の校正定数への影響を検討するとともに、本システムの線量計測精度の不確かさを算出する。また、本システムの事業化について問題点を検討した。

また、外部委員を含んだ放射線治療品質管理委員会を千葉県がんセンターで設置し、その有用性について検討する。

（倫理面への配慮）

本研究は個人的情報を取り扱うものではなく、特記すべきことはない。

## C. 研究結果

前立腺がんIMRT治療計画研修会は、都道府県がん診療連携拠点病院等から9施設16名（医師9名、診療放射線技師・医学物理士が7名）が参加予定である。参加者中

10名が放射線治療経験が10年未満であり、また、IMRT実施予定施設2施設、IMRT実施中(100症例未満)の施設が2施設あり、参加者は、今後IMRTの臨床開始または患者増加が期待されるものであった。会場は、国内でIMRT実施時に最も臨床使用されている治療装置メーカーのトレーニングセンターを利用し、治療計画装置の実機を用いた臨床運用に即した研修会とした。研修会は1日間とした。午前中に前立腺がんの輪郭描出に関する講義と実習を、午後は、前立腺がんIMRTの治療計画と位置照合等の臨床運用に関する講義と実習を計画している。治療計画実習では、臨床で利用される位置照合の違いを考慮し、骨照合による治療計画と標的照合によるものの両者に対応できるように配慮した。また、今回使用する資料は、将来的に都道府県がん診療連携拠点病院等に配布可能になるように作成している。

第三者評価プログラムについては、昨年度開発した本邦初となる郵送によるIMRT出力線量の第三者評価システムを利用し、前立腺癌IMRT/IGRT併用寡分割照射法の第Ⅱ相臨床試験と連携し、臨床試験参加施設と都道府県がん診療連携拠点病院を対象に本システムを5施設において実施した。その結果と、問題点と有用性を下記にまとめる。

- ・ 5施設に対して第三者評価を実施したが、全施設において線量、照射位置ともの設定した許容値内であった。しかし、1施設において、照射位置の誤差が2mm（許容値3mm）を超えた施設があり、施設との情報交換により治療計画CT装置の位置決めレーザーの誤差

が発見された。よって、施設の質の向上に貢献できるシステムであることが確認された。

- ・ 昨年同様、ファントムの郵送から返送まで約2週間で実施可能であった。また、第三者評価プログラム実施において先方から問題となるような質問も無く、本システムは安定して運用可能であった。

物理的精度に関する検討では、モンテカルロシミュレーション利用し、線量計として利用しているガラス線量計の校正条件とMLC全閉条件、IMRT条件の校正定数への影響を検討し、校正条件と比較しIMRT条件での校正定数の変化は0.5%以内であり、ガラス線量計を用いたIMRTの出力線量測定は、高精度で実施可能なことが明らかになった。また、本システムの線量計測精度の不確かさを世界標準である国際標準化機構(ISO)など7つの国際機関が共同で作成した「計測における不確かさの表現ガイド」に従い算出した。その結果、本システムの線量計測における不確かさは、相対標準不確かさ( $k=1$ )で2.3%であった。この値は、国内で実施されている医用原子力技術研究振興財団の治療用出力線量測定事業におけるガラス線量計を用いた線量計測における相対標準不確かさ( $k=1$ )の校正条件1.6%、照射野条件1.8%と比較し、IMRTの照射条件の複雑さから不確かさは増加したが、その影響は限定的であり、実用上問題の無い線量計測精度であることが確認された。

本システムの事業化における問題点は、本システムを運用する医学物理士等の技術者を育成することと、本システムを運用

する恒常的な機関が欠如していることであった。

外部委員を含んだ放射線治療品質管理委員会を設置し、治療エラー（ニアミス・インシデント）減少のために治療エラーを定義し、エラー集計、対策を講じ、その結果を分析した結果、治療計画あたりの修正回数は、約0.4回から約0.1回と4分の1に減少した。対策として、①メモの利用による担当者への伝達と記録、②スタッフへの報告・注意喚起、③チェックシートの利用、④カンファレンスでの治療計画の相互確認が有用であった。重要な治療エラーでは、メーカーへのマニュアル改善を要望し、実現した。外部委員の意見により、評価方法の再検討、対策案の改善が可能であった。

#### D. 考察

IMRT治療計画に関する研修会実施により、各施設のIMRT治療計画の均てん化が期待される。今後、IMRTを導入していない都道府県がん拠点病院を中心に研修会を実施することで、IMRTの均てん化に貢献できるものとする。また、臨床的、物理技術的な相談に応じることができる支援センターなどを設置し、遠隔支援体制の検討が必要である。

IMRT第三者線量評価プログラムにおいては、郵送によるIMRT出力線量の第三者評価システムを構築・運用し、技術的問題は無く、高精度な線量計測技術を利用し、実施可能であった。しかし、本システムを継続的に運用するための人員（医学物理士等）には、IMRTに関する物理技術的知識と、臨床現場での運用経験が必要である。また、IMRTにおける出力線量を定期的に

確認することが、IMRTを実施する全施設に対して望まれるが、本システムを運用する恒常的な機関（米国におけるRPC: Radiological Physics Centerなど）が必要である。

外部委員を含んだ放射線治療品質管理委員会を設置により、継続的に放射線治療業務の改善が可能となった。また、外部委員により、エラーの対策の妥当性、健全性が確保できた。今後、放射線治療の高度化・患者数増加に安全に対応するため、外部委員を含むQC委員会の設置は有用であり、放射線治療実施施設の標準とすべきである。

#### E. 結論

先端がん治療であるIMRTの均てん化には、放射線治療計画装置の実機を用いた研修会と第三者線量評価プログラムを並行して実施することにより効果的な支援が可能である。両者とも恒常的なシステムに移行することで、国内におけるIMRTを含めた放射線治療の質の向上に大きく貢献できるものである。また、放射線治療の質・安全性の向上・確保には、第三者が定期的に介入可能なシステムの構築と、放射線治療特有のエラーの情報共有システムが必要である。

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) Matsuo Y, Onishi H, Nakagawa K, Nakamura M, Ariji T, Kumazaki Y, Shimbo M, Tohyama N, Nishio T, Okumura M, Shirato H, Hiraoka M., J Radiat Res. 2012 Dec 13,



Guidelines for respiratory motion management in radiation therapy

高精度放射線外部照射研究会, 2013  
年 2 月, 京都

## 2. 学会発表

- 1) 遠山尚紀, IMRT のコミッション  
ングにおけるピットフォール, 第 25 回  
日本高精度放射線外部照射研究会,  
シンポジウム 1, 2012 年 7 月, 広島
- 2) 遠山尚紀, 治療計画装置の線量計算  
アルゴリズム, 平成 24 年度第 1 回東  
北がんプロフェッショナル養成推進  
プラン東北大学医学物理セミナー,  
2012 年 8 月, 宮城
- 3) N. Tohyama, S. Hashimoto et al.,  
Validation of IMRT postal  
dosimetry audit using  
radiophotoluminescence glass  
dosimeter, ASTRO 2012 annual  
meeting, 2012 年 10 月, 米国
- 4) 遠山尚紀, IMRT ガイドライン概説,  
日本医学物理士会高精度放射線治療  
ガイドライン講習会, 2012 年 10 月,  
東京
- 5) 遠山尚紀, 他, IMRT 出力線量の第三  
者評価のための郵送計測システムの  
検討, 日本放射線腫瘍学会第 25 回学  
術大会, 2012 年 11 月, 東京
- 6) 遠山尚紀, ガイドラインに準じた  
IMRT の線量検証, 東北ラジセラ研  
究会, 2012 年 12 月, 宮城
- 7) 遠山尚紀, 外部委員を含む放射線治療  
品管理委員会の有用性, 第 26 回日本

## G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）  
分担研究報告書  
地域連携による放射線治療の機能強化及び人材育成に係る研究

研究分担者 黒田勇氣 山形大学医学部 助教

**研究要旨：** 東北地方のがん診療連携拠点病院31病院が参加する東北がんネットワークの放射線治療分野での有効性を検証した。本研究を通じて、地域がんネットワークが1) 広域災害時のセーフティネット、2) 地域の放射線治療実施情報の発信、3) 東北地方のがんがん放射線治療の方法の統一、4) 粒子線をはじめとする高度医療施設の適正配置、5) 合同人材育成など、さまざまな面から有効であることが示された。広域がんネットワークはその地方に放射線治療の高度化に必須の組織であり、国の施策として全国に設置されることが望ましい。

## A. 研究目的

東北がんネットワークにより病院の連携を強化することで、地域での放射線治療提供体制にどのような影響があるかを実証する。

## B. 研究方法

東北がんネットワーク内に放射線治療部会を組織、1) 放射線治療情報共有、2) 災害対策、3) 均てん化事業、4) 人材育成などさまざまな活動を行い、その効果を検証した。

## C. 研究結果

### 1) 地域の放射線治療情報の発信

IMRT、小線源治療、内部照射などの特殊放射線治療の実施状況がはじめてまとめられ、HPを通じて医師、患者向けに発信された。リソース情報が、医師、患者レベルで達成された。HPへのアクセス数は平均で50程度であった。HPを見て東北地方へ

首都圏から治療に来る患者も見られた。

### 2) 広域災害時の有効性

東日本大震災時には東北地方で20以上の施設で放射線治療が停止する事態となった。本ネットワークは震災から4日以内に被害状況を把握し、参加施設と情報共有、患者移動の調整、大学を超えた医師派遣調整をおこなった。広域災害に備えて広域がんネットワークは必須であることが示された。

### 3) 放射線治療の均てん化

東北地方で、特に大学から非常勤で派遣されている病院の放射線治療プロトコルを統一するために、東北がんネットワーク放射線治療コンセンサス会議を定期開催した。これも広域がんネットワークなくしては達成出来ない成果である。

また、ハイビジョン遠隔放射線コンサルテーションシステムも広がりを見せており、現在4県、7病院が結ばれている。ほぼ毎日、利用されており、質の高い放射線治療の提

供に威力を発揮している。

#### 4) 粒子線治療の広域適正配置

東北がんネットワーク内に粒子線コンソーシアムを立ち上げた。目的は、地域内の粒子線治療施設の有効活用と、新規粒子線治療施設の適正配置である。現在までコンソーシアム会議が1回開催され、東北地方に重粒子線治療装置は1カ所、陽子線治療施設は数カ所必要であるとの認識で一致した。今後、広域での粒子線治療装置の適正配置を実際に指導しうる全国唯一の組織として機能していくことが期待される。

#### 5) 人材育成

東北地方では現在6医学部が設置されているが、がんプロフェッショナル養成基盤推進プランは種々の背景で3つに分かれた状態となっている。東北地方が一丸となって人材育成を行うため、東北がんネットワークが調整役をつとめ、3つのがんプロ合同での放射線腫瘍医リクルートセミナーを実施することができた。参加者も6大学すべてから得ることができ、盛会であった。地域がんネットワークが人材育成の面からも有効であることが示された。

### D. 考察

いままで、地域がんネットワークの有効性を検証した研究はなく、散発的かつ漫然とネットワークらしきものが存在するだけであった。本研究を通じて、地域がんネットワークが1) 広域災害に対するセーフティネット、2) 地域がん医療情報の共有、3) 広域でのがんがん放射線治療の方法の統一、4) 高度医療施設の適正配置、5)

広域合同人材育成など、さまざまな面から有効であることがはじめて示された。

広域がんネットワークは地方の放射線治療の提供体制の高度化に必須の組織であり、国の施策として全国に設置されることが望ましいと考えられた。

### E. 結論

広域がんネットワークは有効であり、質の高い放射線治療の提供に大きく寄与する。

### F. 研究発表

#### 1. 論文発表

- 1) Kuroda Y, Murakami N, Morota M, Sekii S, Takahashi K, Inaba K, Mayahara H, Ito Y, Yoshimura R, Sumi M, Kagami Y, Katsumata N, Kasamatsu T, Itami J. Impact of concurrent chemotherapy on definitive radiotherapy for women with FIGO IIIb cervical cancer. J Radiat Res. 2012;53:588-93.

#### 2. 学会発表

### G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

#### 1. 特許取得

なし

#### 2. 実用新案登録

なし

#### 3. その他

なし