

強度変調放射線治療の基礎 —頭頸部—

有路貴樹 上田隆司 伍賀友紀 大山正哉* 花井耕造

IRYO Vol. 63 No. 12 (848-854) 2009

キーワード 放射線治療, IMRT (強度変調放射線治療), SIB (同時ブースト照射法)

はじめに

強度変調放射線治療：intensity modulated radiation therapy (IMRT) は平成20年4月に保険適応となったことから、さらに注目されている治療法である。IMRTとは患者に対し照射する放射線に線量勾配を付けて不均一な照射を行う方法である。通常照射では照射野内の放射線強度は均一であるが、IMRTでは意図的に不均一にすることで放射線が多くあたる照射範囲と少なくあたる照射範囲を作る。IMRTではこのような不均一な照射を多方向から入射することで3次元的な線量分布を得る。この様子を黒色のペンで表現すると従来法は太いペンで照射野を濃く均一に黒くしているのに対して、IMRTでは太さや濃さの違うペンで照射野を塗り分ける(図1)。しかしながらこの技術はまだ国内で普及しているとはいえない¹⁾。IMRTは腫瘍に高線量を照射し、かつリスク臓器には線量を低くすることで治療可能比の高い照射法である。頭頸部腫瘍のようにリスク臓器と標的体積が複雑に存在する領域では原発巣とリンパ節領域には十分な線量を照射すると同時

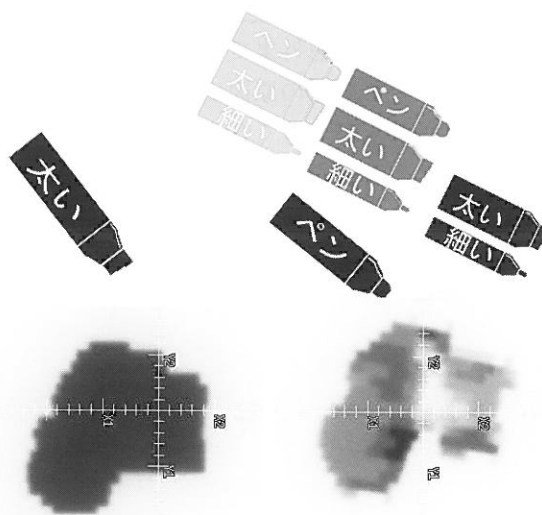


図1 IMRTをペンに置き換えた場合のイメージ図
左図は従来の照射法をイメージしたもので黒く均一に塗られている。右図はIMRTによるイメージであり、いろいろなペンを使って塗り分けている。放射線の多く照射される部分は黒く、照射されない部分は淡い灰色となる。

国立がんセンター東病院 放射線部 *国立病院機構東京医療センター 放射線科
別刷請求先：有路貴樹 国立がんセンター東病院 放射線部 〒277-8577 千葉県柏市柏の葉6-5-1
(平成21年6月18日受付)

The Basics of Intensity Modulated Radiation Therapy -Head&Neck-

Takaki Arij, Takashi Ueda, Tomonori Goka, Masaya Ooyama and Kouzoh Hanai, National Cancer Center Hospital East, *NHO Tokyo Medical Center

Key Words: radiation therapy, IMRT (intensity modulated radiation therapy), SIB (simultaneous integrated boost)

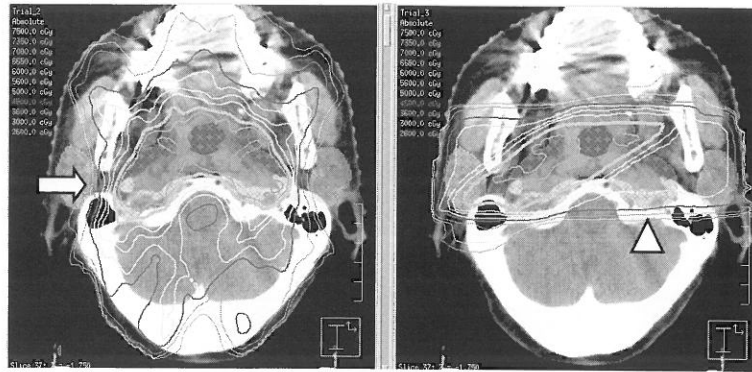


図2 上咽頭 IMRT と通常照射における線量分布の比較

左図は IMRT の線量分布，耳下腺の線量が低減されている（矢印）．右図は通常照射の線量分布，耳下腺へ高線量が照射され，左頸動脈鞘と左傍咽頭間隙が線量不足となっている（三角）．

に耳下腺や脊髄への線量を減らすことが可能である（図2）．高度な治療である反面，放射線治療装置の QA (quality assurance) ・ QC (quality control) を怠ると放射線照射過誤につながる恐れがある．とくに MLC (multi leaf collimator) の管理は重要な項目となる．本稿では国立がんセンター東病院で行っている頭頸部 IMRT の概要について紹介する．

IMRT の原理

多方向から放射線を照射することで中心部分に放射線を集中させる．MLC を用いて照射開口幅を変更することで集中させる部位の範囲や形状そして位置が決められる．コンピュータでこの集中させる部分を計算させて最適な線量分布を作成する．IMRT を用いない従来からの照射法ではリスク臓器が耐用線量を超えないように照射期間の後半で計画を作り直していた（図2）．病変が両側頸部リンパ節に存在する場合などは放射線量が足りない部分が出てしまう．このため照射適応外になる場合もある．治療計画装置を用いて足りない所にマニュアルで照射野を作成したり，電子線を追加して補っていた．

装置の特徴

少し昔の装置では部屋を暗くして照射野ランプを見ながら鉛ブロックを使用して照射を行っていた（図3上段）．1照射門ごとにこの作業を行うために治療室に入り部屋を暗くして位置を調整していた．近年，MLC が装備され腫瘍の形に合わせた形状がコンピュータ制御により作成されるようになり，放

射線を局限して照射できることから根治を目的とした治療が多く行われるようになった（図3下段）．さらに IMRT では1照射門あたり10パターン前後に MLC の形状を変化させ照射を繰り返す．1回の治療では100パターン前後の形状に MLC を変化させている．このため治療時間は約15分必要となる．

IMRT において腫瘍とリスク臓器が近接している場合は急峻な線量勾配がつく．このため位置精度がより重要になる．治療室内で画像収集装置 FPD (flat panel detector) を利用して CT (computed tomography) 撮影を行い，3次元的に位置補正を行える装置が多い（図4）．

IMRT 治療計画

IMRT の放射線治療計画は専用のコンピュータである治療計画装置：radiation treatment planning system (RTPS) を用いて放射線腫瘍医により肉眼的腫瘍体積：gross tumor volume (GTV) や臨床標的体積：clinical target volume (CTV) を CT (computed tomography) 画像に描き込むことから始まる．治療時の動きや再現性を考慮して CTV に数ミリのマージンを付加した計画標的体積：planning target volume (PTV) を作成する．リスク臓器：organs at risk (OAR) にも放射線量を評価するために輪郭を描き，適切なマージンをつけて PRV (planning organ at risk volumes)²⁾ も作成する．CTV にはさらに high risk と intermediate risk と low risk などに分けて処方線量を決める．唾液腺障害や嚥下機能などの晩期障害を減らすための理想的な線量分布を作成するためには，筋肉や筋膜，

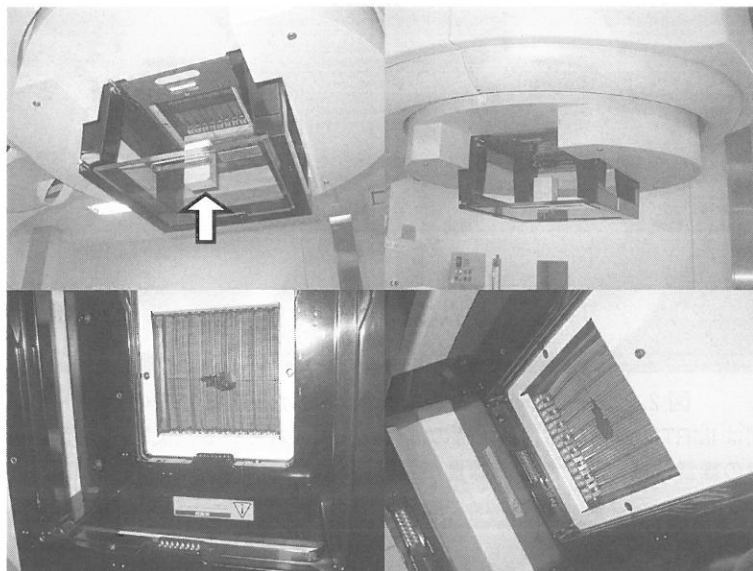


図3 鉛ブロックを使用した照射配置と MLC による照射
 透明プラスチックの板の上に鉛ブロック (矢印) をのせて照射野ランプで確認しながら遮蔽する位置を調整する (上段)。1 cm 幅の合金が体軸方向に41対配置され腫瘍の形状に合わせてコンピュータ制御により駆動する (下段)。

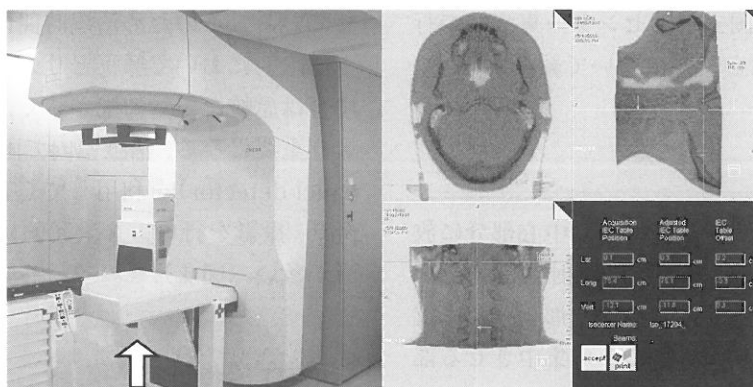


図4 画像収集装置と高エネルギー X 線 CT 画像
 放射線発生装置 (リニアック) に装着された画像収集装置 FPD (矢印)。ガントリーが回転しながら画像収集を行う。画像再構成により高エネルギー X 線 CT 画像が得られる (右)。

血管や脳神経などのさらなる解剖の理解が必要である (図5, 6)³⁾⁴⁾。

皮膚表面付近や空洞に target がある場合はビルドアップ, 計算グリットサイズ, モデリング精度の影響を受け過線量となる場合がある。これは IMRT の特徴である inverse planning 法が原因として挙げられる⁵⁾。このため皮膚炎の頻度等の観察が必要である。

最適化

計画用 CT 画像に関心領域: region of interest (ROI) を入力し, ガントリーやコリメータの角度を解剖学的な位置関係などから決定した後, 最適化 (optimize) と呼ばれる処理を行う。IMRT の是非はこの optimize によって結果が変わりえる重要な工程である。通常1-2日以上はこの作業に費やされる。またこの作業は IMRT に特有であることから, 経験を積んだ施設で研修をうけるなど, 技術を習得する必要がある。

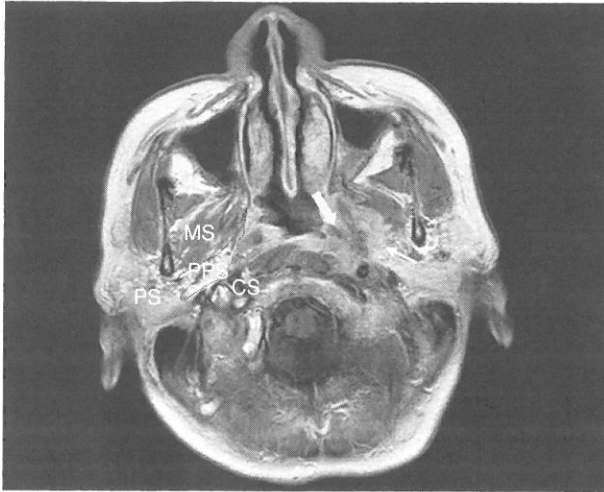


図5 上咽頭のMRI画像

代表的な間隙を示した。PPS：傍咽頭間隙，MS：咀嚼間隙，PS；耳下腺間隙，CS：頸動脈間隙
 ↑：傍咽頭間隙から咀嚼間隙への病変の進展を示す。
 ⇒：口蓋帆帳筋，内側翼突筋が不鮮明。

Plan を変更せず照射野内の投与線量を変えて標的領域と予防領域の照射を同時に行う SIB (simultaneous integrated boost) 法⁶⁾といわれる特殊な方法が使われる場合がある。この方法を用いることで治療後半に予防照射部分を除いて再度計画を行う必要がなく，QA・QCを行う手間が省ける。しかし臨床的には確立している方法ではない。また予防照射部分の1回線量が低下する可能性があることから注意が必要である。放射線の最大線量は処方線量110%を超えないようにし global MAX や dose volume histogram (DVH) などを確認する。すべての Axial 面で線量分布を確認し target に予定した線量が得られていることを確認することが重要である。治療期間の後半ぐらいから抗がん剤の副作用による悪心や口腔内乾燥，味覚障害などにより食欲減退がおき体重が減少する場合はしばしばみられる。この場合は体輪郭の変化により予定した放射線量が照射されていない可能性があるため，CT 画像を利用するなどして線量を確認する必要がある。その結果から再計画をする場合もある。IMRT の再計画を迅速にできるスタッフの体制が必要である。

IMRT 計画の評価

ICRU Report 50で定められている線量評価方法は PTV を代表する点での吸収線量である。しかし IMRT では PTV における体積の95%に処方線量となるように計画する (D95=Prescription Dose)。このため従来法による70Gy と IMRT による70Gy では線量に違いがあり，IMRT が3-5%多くなる。IMRT では予防照射において最初から最後まで

放射線治療 QA

IMRT を行う場合は計画したとおりに放射線が照射されているか症例ごとに検証を行う。目に見えない放射線を安全に利用するために電離箱線量計を用いた線量測定とフィルムを用いた線量分布にて検証

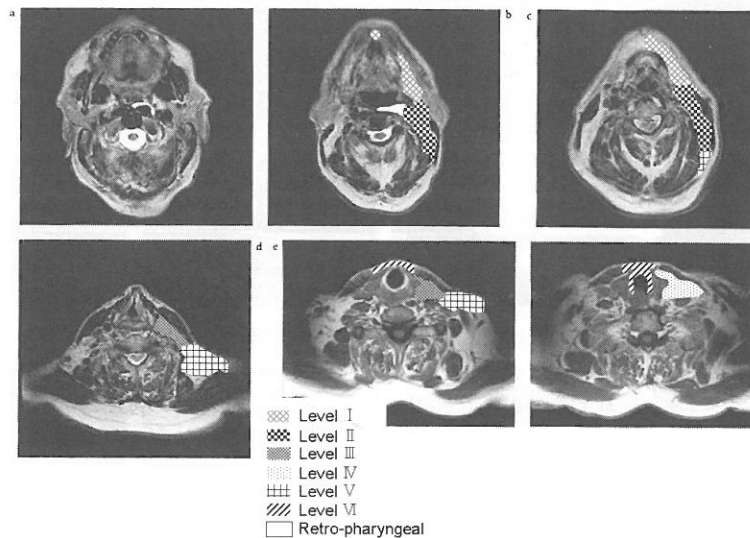


図6 リンパ節のLevel分類

Level I-VIおよび Retro-pharyngeal space (咽頭後間隙)を示す。

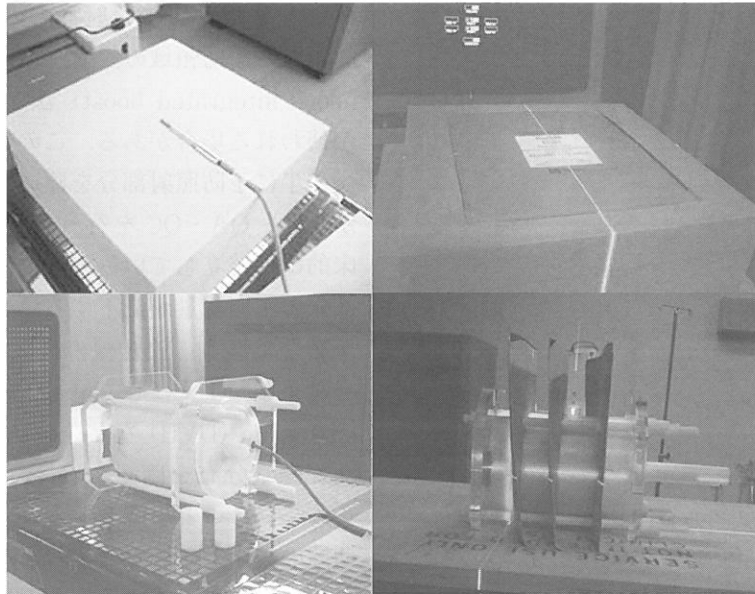


図7 検証に用いられるファントムと測定器

積層ファントムと電離箱線量計を用いた測定 (左上), 積層ファントムとフィルム (右上), 円柱ファントムと電離箱線量計による測定 (左下), 円柱ファントムとフィルム (右下)

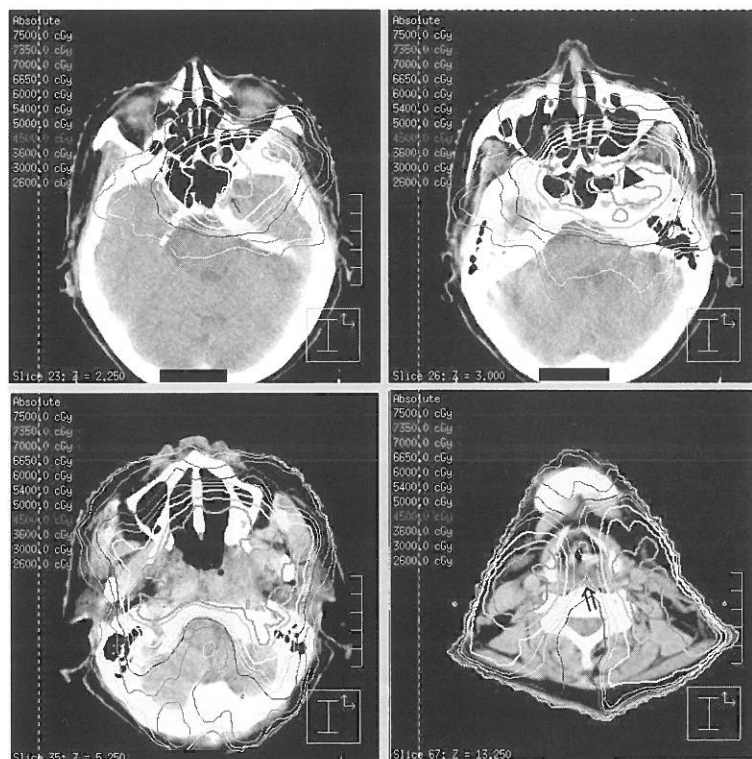


図8 上咽頭IMRT線量分布図

(左上) ↑:メッセル腔への照射を示す。(右上) ▲:翼口蓋窩を含む線量分布を示す。(左下) 耳下腺の線量を抑えて腫瘍に高線量を照射。(右下) ⇒:嚥下機能を温存する目的にて喉頭被裂部の線量を抑え両側リンパ節への線量は担保している。

を行うのが一般的である (図7)。放射線治療部門では電子化にともない自動現像機を所持しない施設

が増え、フィルムに代わり線量分布を評価するものとして平面線量計を利用する施設もある。しかしな

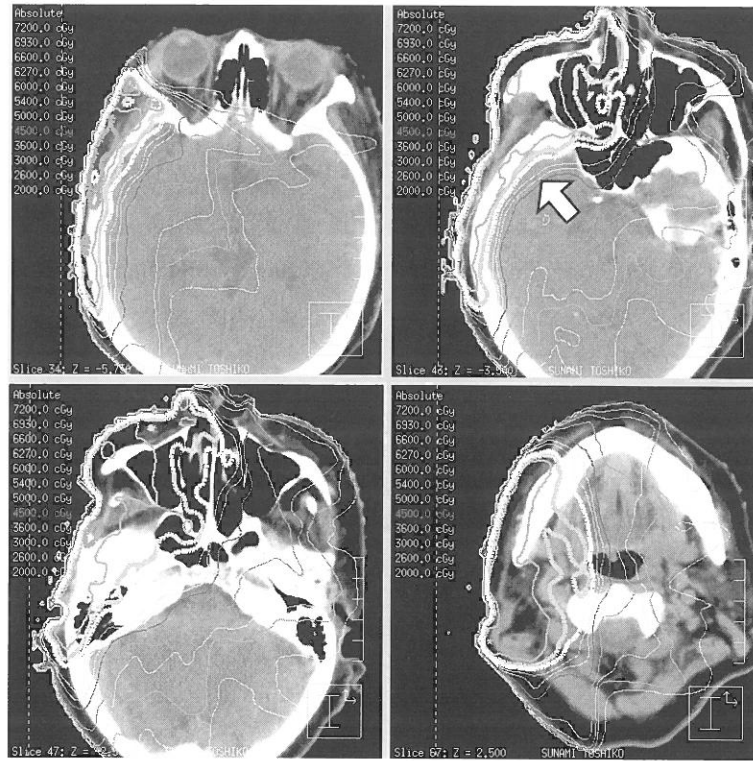


図9 IMRT に特徴的な線量分布

脳実質には線量を抑えて側頭窩に緩やかなカーブを描き高線量が照射されている(矢印)。

がらフィルムの空間分解能の優位性から基礎的な検証であるフェンス試験などを経験してから変更することで精度管理の要所が捉えやすくなると思われる。また放射線発生装置の精度管理やMLC位置精度の担保は重要である。とくにMLCはIMRTを行う場合より精度よく行う必要がある⁷⁾。1回の治療で通常照射の数倍-10数倍である800-1500MU前後照射することから1mmでも位置誤差があると放射線の過照射や過小照射になる可能性がある。IMRTでの検証はMLCに大きく依存しているといっても過言ではない。

臨床例 1

上咽頭がん T4N2c における IMRT の臨床例を示す。右咽頭粘膜間隙と右傍咽頭間隙を主体とし脳神経三叉神経第三枝の神経症状と画像所見から卵円孔からメッケル腔への浸潤が疑われた。また咀嚼間隙や翼口蓋窩まで照射 target とした(図8)。処方線量は PTV high risk に70Gy, PTV intermediate risk に60Gy, PTV low risk に54Gy とした SIB 法を用いた計画である。

臨床例 2

右耳下腺様嚢胞がんにて再発、切除を繰り返した。術後照射のため IMRT による照射が行われた。眼球、涙腺を避けて側頭窩に緩やかなカーブを描き高線量が照射されている。IMRT に特徴的な線量分布である(図9)。

まとめ

本稿では、頭頸部 IMRT における概要や IMRT 独特の工程である最適化などについて述べた。IMRT は放射線量に勾配をつけて腫瘍には高線量を照射する。しかし、病気の進展を見誤ると十分な放射線が照射されない。また、放射線治療装置の品質管理も重要であり、とくに MLC の管理は必須である。これらのことから IMRT を始める施設では上記の特殊な技術や管理法について実際に治療を行っている施設で研修を受ける必要がある。

[文献]

- 1) 永田 靖. 第11回日本高精度放射線外部照射研究会強度変調放射線治療 (IMRT) の国内現状調査と将来展望-アンケート集計と訪問調査結果.
- 2) The National Cancer Institute Guidelines for the Use of Intensity-Modulated Radiation Therapy in Clinical Trials. January 14 2005.
- 3) Gregoire V, Scalliet P, Ang KK ed. Clinical Target Volumes in Conformal and Intensity Modulated Radiation Therapy. Berlin ; New York : Springer, c2004
- 4) Clifford Chao KS ed. Intensity Modulated Radiation Therapy for Head & Neck Cancer. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, c2003.
- 5) 有路貴樹. 第57回放射線治療分科会. ゼロから始めるIMRT CT撮影・治療計画・評価の決定 ; 放射線治療分科会誌 2008 ; 23(1).
- 6) G Studer, Huguenin PU, Davis JB et al. IMRT using simultaneously integrated boost (SIB) in head and neck cancer patients. Radiat Oncol 2006 ; 1 : 7 .
- 7) Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group. Intensity-modulated radiotherapy current status and issues of interest. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2001 ; 51 : 880-914.