

学術特集

最近の放射線治療

放射線治療技術の進歩とそれにかかわる診療放射線技師の役割

埼玉県放射線治療技術研究会 代表世話人

埼玉県立がんセンター 松田一秀

サイバーナイフ

当院の CyberKnife® について

埼玉医科大学国際医療センター 中央放射線部 松森孝志

トモセラピー

トモセラピー

埼玉県立がんセンター 放射線技術部 清宮幸雄

kV 画像誘導搭載リニアック

kV 画像誘導搭載リニアック

埼玉県厚生連 久喜総合病院 放射線科 西山史朗

MV 画像誘導搭載リニアック

MV 画像誘導システム搭載リニアック

医療法人社団愛友会 上尾中央総合病院 放射線技術科 渡部敬洋

放射線治療にかかわる資格

放射線治療の認定制度

医療法人社団東光会 戸田中央総合病院 放射線科 東口陽向

放射線治療技術の進歩とそれにかかわる診療放射線技師の役割

埼玉県放射線治療技術研究会 代表世話人
埼玉県立がんセンター 松田 一秀



放射線治療分野は係わるモダリティが多岐にわたる。治療実行までに治療計画CT、X線シミュレータでの撮影・透視があり、MRIやPET画像を治療計画装置(Radiation Therapy Planning System : RTPS)でフュージョンさせるなど、マルチモダリティによる治療計画が行なわれている。

CT装置一つをとっても、4D-CT、Large-Bore-CTなど、放射線治療計画に特化したものもあり、選択肢は様々である。さらに治療の際には、Cone-Beam-CTや超音波を用いた画像誘導放射線治療(Image Guided Radiation Therapy : IGRT)など高精度な治療に向けて多種の分野が複雑に関係している。

また、外部放射線治療以外にも¹⁹²Irを用いたHDR-RALS、前立腺がんに対する¹²⁵I seedによる密封小線源治療、甲状腺がんに対する¹³¹I、骨転移による疼痛緩和治療に用いる⁸⁹Sr、低悪性度B細胞性非ホジキンリンパ腫に対する⁹⁰Yなどの非密封線源治療もあり、放射性核種の特徴や線種、体内作用機序も理解しておく必要がある。

以上のように「放射線治療」を一言で解説することは困難である。従来から使用されている外部放射線治療装置については、直線加速器によるX線、電子線治療があり、最近では陽子線、重粒子線治療も生命保険会社のTVコマーシャルにより、一般にも知られるようになってきた。

従来の直線加速器を用いた外部放射線治療の多くは、ガントリを一門ごとに静止させて、対向照射や多門照射が行なわれ、照射野形状は矩形、不整形照射野では鉛ブロックが多用されてきた。この方法では目的とする照射野形状が満足に得られないこともあり、重要臓器がある程度は含まれてしまう事例も少なくあった。また重い鉛ブロックを保持させることに苦勞したものである。最近の治療器のガントリヘッド内に搭載されたMulti Leaf Collimator (MLC)は一枚のLeaf幅が2 mm ~ 10 mmのもので、高速かつ高精度に駆動することにより、marginを最小限に抑えた照射野の設定が安全かつ簡単にできるようになった。さらにそのMLCを一門照射ごとに駆動させながら照射を行ない、対象臓器の形状に似た線量分布を作り出す強度変調放射線治療(Intensity Modulated Radio Therapy : IMRT)、さらにそれを発展させた回転型強度変調放射線治療(Volumetric Modulated Arc Therapy : VMAT)など、治療器に付帯したMLCなどの機器の進歩により、副反応の少ない放射線治療が現実化されている。

これらの治療では、対象臓器とリスク臓器との間に急峻な線量勾配領域が発生するため、患者さんの位置合わせが重要になってくる。以前は、治療前にLinac Graphyを撮影して、照射位置を確認するのみに

とどまったが、前述の画像誘導が搭載されたことにより、治療計画 CT 時の画像と、まさに今、治療寝台上で得られた患者の CT 画像、または超音波画像とを重ね合わせることができるようになった。患者皮膚マーカーを目安にはするが、実画像からの臓器の位置を合わせた患者固定が行えるようになり、日々のセットアップエラーの低減が図られている。照射中においては、治療ビームを利用して照射中の MV 透視画像も得られるようになり、体内臓器に対して安心して照射ができるようになった。さらにあの大きな治療器本体を 0.1°、mm 単位オーダーの精度で駆動できるようになったことも、高精度な放射線治療を可能にしている。

またインバースプランニングにより、複雑な分布図を計画、作成する RTPS のソフトウェア、ハードウェアの進歩も治療技術の向上に大きく貢献している。数年前は一つの結果を導き出すのに数十分掛かっていた複雑な計算が、最近では数分で済むようになった。短時間で結果を複数導き出せることにより、治療計画ビームの選択肢が格段に増加した。

一般的に直線加速器と呼ばれていた外部放射線治療装置もその外観を大きく変え、小型化された加速器をロボットアームに搭載して Pin-Point 照射を行なう Robotic Radiosurgery System、診断用 CT とよく似た、いわゆるヘリカルスキャンで IMRT 照射を行なう Tomo Therapy など、その照射方法に特徴的な装置がここ数年で出現してきている。このあたりの詳細は後出の寄稿者に委ねることにする。

新しい照射技術は、機器の進歩のみに頼ってはい片手落ちである。我々は算出された治療計画の通りに実照射が行えているかを日々検証し、結果を検討しなければならない。

各種学会では物理的、技術的ガイドラインが作成され、加速器、RTPS の QA/QC (コミッションング)、治療計画 CT など周辺モダリティの精度管理を行わなければ安全な放射線治療は担保できないとされている。

医科診療報酬点数からみた放射線治療は、DPC (Diagnosis Procedure Combination : 診断群分類) 包括対象外であり、我々診療放射線技師は保険点数に深くかかわっている。特筆すべきは、放射線治療分野においてのみ、経験年数が問われている点である。放射線治療の専門性が重要視されていることは言うまでもなく、専門的知識を持った上で様々な品質管理業務を行い、正確かつ安全な放射線治療を完遂しなければならない。

放射線治療を担当する診療放射線技師の存在意義は、その仕事内容から各方面から評価されており、結果、診療点数早見表には以下のような文面が掲載され、保険点数での加算、施設基準が定められている。我々はこれらの加算されている意味を踏まえて知識の習得、自己研鑽^{けんさん}に努め、日々の放射線治療業務に反映させなければならない。

- ・放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師（放射線治療の経験を5年以上有する者に限る）が1名以上配置されている。
- ・放射線治療における機器の精度管理、照射計画の検証、照射計画補助作業を専ら担当する者（診療放射線技師その他の技術者等）が1名以上配置されている。
- ・放射線治療に係る医療機器の安全管理、保守点検及び安全使用のための精度管理を専ら担当する技術者（放射線治療の経験を5年以上有する者に限る）が1名以上いる。
 - ・放射線治療専任加算：330点
 - ・外来放射線治療加算：100点
 - ・IMRTに関する施設基準に適合している場合：3,000点
 - ・画像誘導放射線治療加算：300点
 - ・体外照射呼吸性移動対策加算：150点
 - ・定位放射線治療の施設基準に適合している場合：63,000点
 - ・定位放射線治療呼吸性移動対策加算：10,000点（動体追尾法）5,000点（その他）
 - ・医療安全管理料2に関する施設基準に適合している場合：1,100点

最後に、今回の学術特集の企画および、寄稿の機会をいただきました。関係方々に感謝申し上げます。

筆者略歴

- 平成元年 自治医科大学付属病院
- 平成5年 埼玉県循環器病センター準備事務所
- 平成6年 埼玉県立小原循環器病センター
- 平成10年 埼玉県立循環器呼吸器病センター（名称変更）
- 平成16年 埼玉県立がんセンター

取得資格

- 平成元年 診療放射線技師
- 平成14年 超音波検査士
- 平成16年 医学物理士
- 平成17年 放射線治療品質管理士

当院の CyberKnife[®] について

埼玉医科大学国際医療センター
中央放射線部 松森 孝志

1. 装置紹介

1-1 製品および仕様

- 製品名・CyberKnife[®] II G3 (写真1)
 - ・ Software Version 9.1.0
- インストール状況
 - ・ Standard Treatment Couch
 - ・ Synchrony[®]
 - ・ Xsight[®] Spine

1-2 システム構成

- 線形加速装置
(6MV-X線、400MU/分、重量約150kg)
- 治療マニピュレーター (KUKA社製)
(6軸関節動作、0.2mmの反復性能、重量1525kg)
- 画像トラッキングシステム
(X線発生装置、アモルファスシリコン検出器等)
- モーター制御による治療寝台
(5軸モーター制御寝台、対応体重159kg)
- 治療計画システム
(MultiPlan[®] Version 4.0.3)

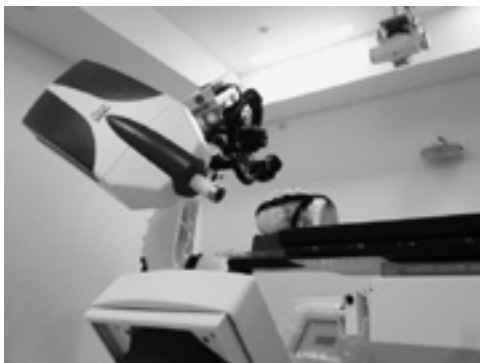


写真1

2. 治療人数と件数 (2008年～2012年)

2008年7月末から治療開始。2008年は32人58件、2009年は118人246件、2010年は135人186件、2011年は79人118件、2012年は119人

193件で、総人数483人801件であった(図1)。

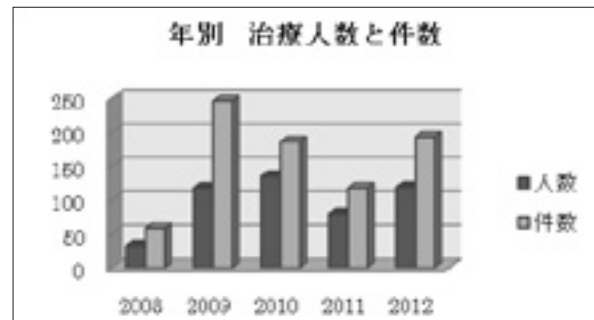


図1

月別で統計したところ12月が最も多く、5月は比較的少なかった(図2)。

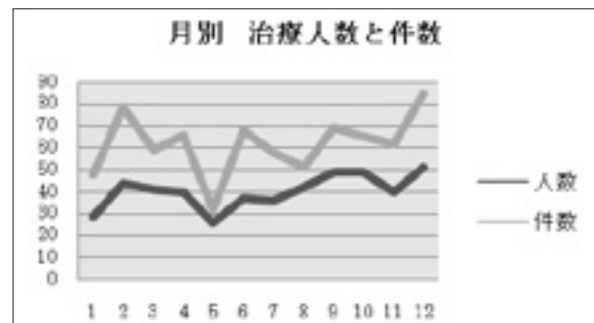


図2

3. 治療部位の割合と分割回数の割合

頭部領域では、転移性脳腫瘍が大半を占めていた(図3)。

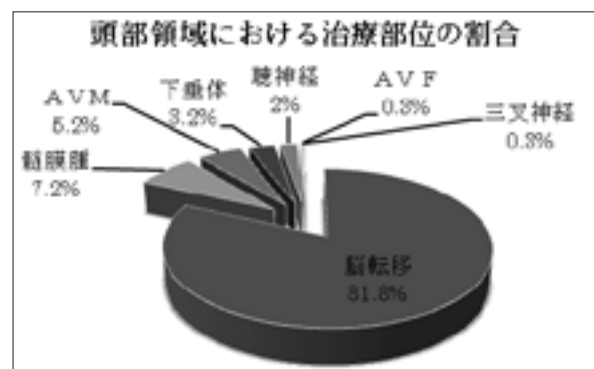


図3

頭頸部領域では、咽頭鼻腔、眼部（MALToma、脈絡膜）、副鼻腔、ルビエールリンパ節、頸部リンパ節の順で多かった（図4）。

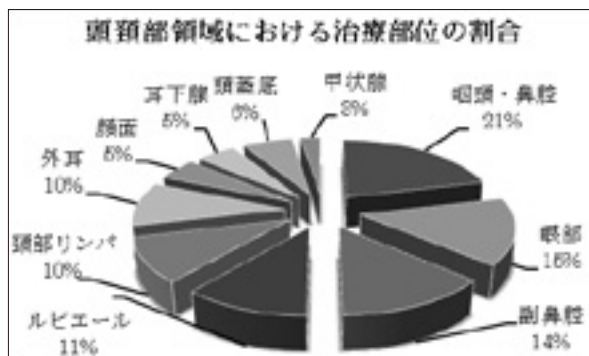


図4

体幹部領域では、椎体の治療が多く、次いで肺、骨盤骨（腸骨、恥骨、坐骨）で、転移性骨腫瘍の治療が半数を占めていた（図5）。

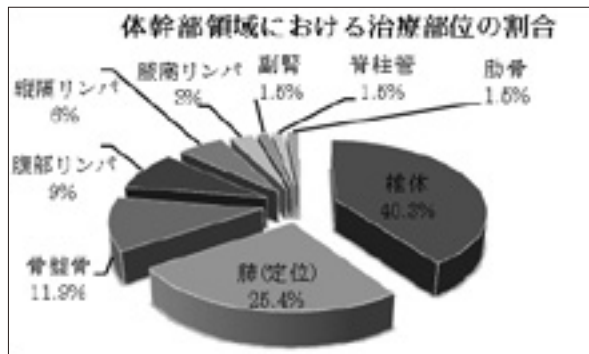


図5

分割回数は1分割が殆どであるが、隣接するリスク臓器への線量や標的体積を考慮し、分割回数を変更する場合がある（図6）。

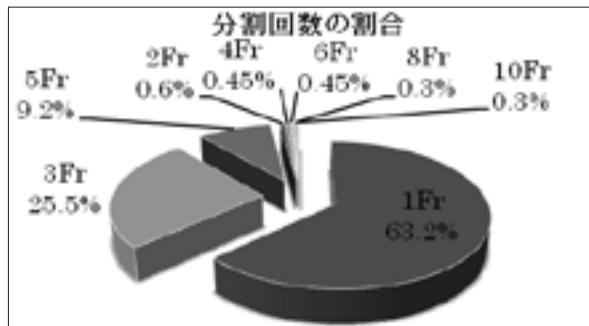


図6

4. 始業前点検（所要時間 約 30分）

①システムの状態確認②X線管球ウォームアップの実施③B.B.テストの実施（ビーム中心

をリニアックから放たれたレーザー光に置き換え、ビーズを目掛け放たれた光の位置を目視で確認する作業。追跡精度を確認できる（写真2）④壁面レーザーの位置確認⑤パチポジションの確認⑥リニアックウォームアップの実施⑦線量校正の実施（写真3）⑧線量校正後の再確認⑨直線性の確認⑩インターロック動作確認を始業前に行う。



写真2：B.B.テストの様子



写真3：Calibration Adjustment ウィンドウ
線量校正調整メニュー

5. 各部位における固定方法

長時間におよぶ治療を考え、無理な体位をとらせない様にする。顔の向きや体位は自然な状態（リラックスした状態）にする事が望ましい。体幹部の固定では、再現性や固定精度が重要になる。

5-1 頭部および頭頸部領域

頭蓋トラッキングにて治療を行える領域では、シェルを使用し固定する。当院では枕と頭部の間にスポンジをあてがい、クッション性を高めている（写真4）。また軽く膝を曲げた体位が比較的好まれる。

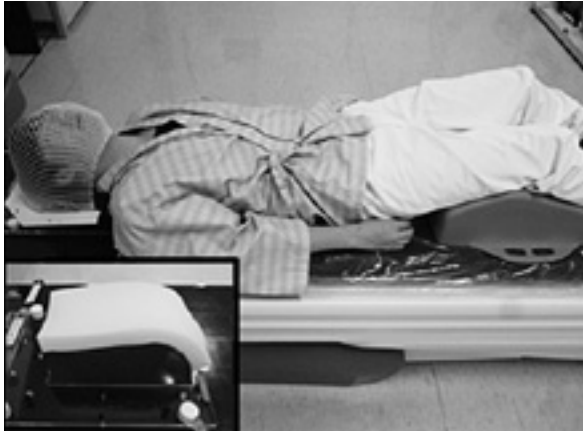


写真4

5-2 頸部および上部胸椎領域

主に椎体トラッキングで治療を行うため、背部は平らにするか、吸引式固定バッグを使用する。シェルは前胸部までカバーできるものが望ましく、固定精度を重要視したい（写真5）。



写真5

5-3 下部胸椎および腰椎領域

背側を吸引式固定バッグで固定し、腹側はボディーシェルにて固定するのが当院の方法である（写真6）。腕は脇に下してビームを遮らない様にする。前腕部がトラッキングの妨げになる場合は工夫する。挙上も可能だがリニアックとの接触や挙上による腕の疲労を考えなければならない。

～腹臥位での固定～

再照射のケースでは、リスク臓器の線量制約があるため、腹臥位をとる事がある。呼吸による上下動を最小に抑える工夫が必要となる。標的が表層近くになるため、治療にかかる時間は短くなる。



写真6

5-4 骨盤部および前立腺

下部腰椎から骨盤までをしっかり固定するとともに、足先から踵にかけて型を取りたい。腹側はボディーシェルで固定する（写真7）。



写真7

5-5 呼吸トラッキング下での固定

肺治療では呼吸トラッキングを行うため、専用のベストを着用する。背側の吸引式固定バッグのみの固定となる（写真8）。



写真8

6. Node と Beam-Path について

サイバーナイフのヘッド先端は、空中に設定された球体表面上（写真9）の既定ポイントを次々に移動して照射を行っていく。そのポイントを「ノード」と呼び、約100ポイントある。ポイントとポイントとを結んだ道筋を「ビームパス」と呼び、頭部用と体幹部用に別けられている。全ノードを使用するビームパスや全ノードの半分位しか使用しないビームパスが設定されている。最近では前立腺用のパスも新たに設定されている。治療計画時に設定した条件により、治療所要時間が左右される。アイソセントリックな治療であれば20分程度で完了する。標的の形状や体積により、60分を超える場合もある。



写真9

7. トラッキングシステムについて

基準画像として、事前に作成されたデジタル再構成放射線画像 DRR (Digital Reconstructed Radiography) とライブ X 線画像を関連付けて位置情報を算出する。算出された数値はロボットが補正し、位置誤差を最小限にする。

7-1 頭蓋トラッキング

頭蓋の骨格の造りを識別して、それらを突き合わせることにより、基準 DRR とライブ X 線画像の位置のズレを算出する（写真10）。トラッキングアルゴリズムにより、ライブ X 線画像と DRR の平均輝度の比率を表す輝度ゲイン値が算出されるが、その値が1に近くなる撮影条件下で実行す

れば追跡誤差を少なくできる。設定パラメータはほとんどの場合デフォルト値が有効となる。

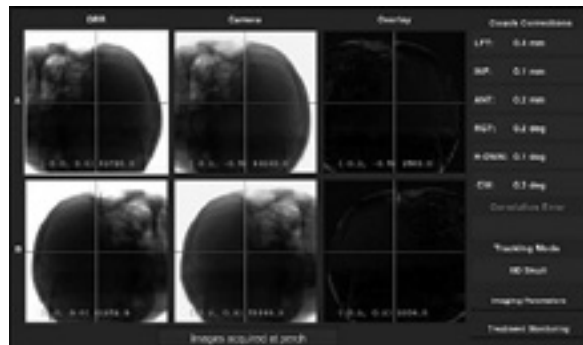


写真10

7-2 椎体トラッキング

患者体内における骨格（椎体）の造りのズレを計算するシステム。追跡の対象となる椎体は予め治療計画時に ROI 設定されていて、この領域における位置のズレを算出する。このモードでは81ノードグリッド（写真11）を使用し、DRR のノードに対して、ライブ X 線画像のノードの位置ズレを監視する。81ノードグリッドは任意の大きさに変更できるが、傾斜をつける事ができないため、湾曲した部位では設定に注意が必要となる。また固定具の完成度により再現性が左右される。

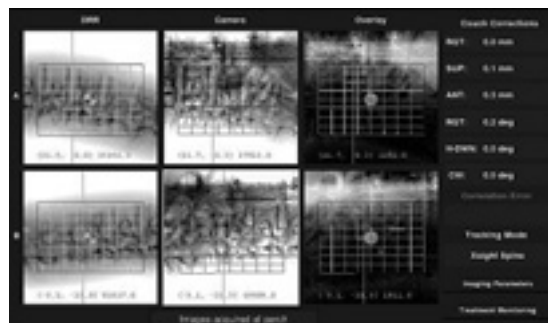


写真11

7-3 フィデューシャルトラッキング

金などのマーカを体内の標的周囲に挿入して追跡するシステム。肺や前立腺などの軟部組織に用いられる。治療計画時と治療時の配置が一致している事が第一条件で、3個以上の識別ができれば6軸の位置が算出される（写真12）。臨床では、マーカの配置が治療計画時と異なる事が考えられ、初回治療開始前には、CTによる位置確認が必要になる。配置ズレや位置ズレが生じた場合、追跡できないマーカを無効にする事が可能である（写真13）。

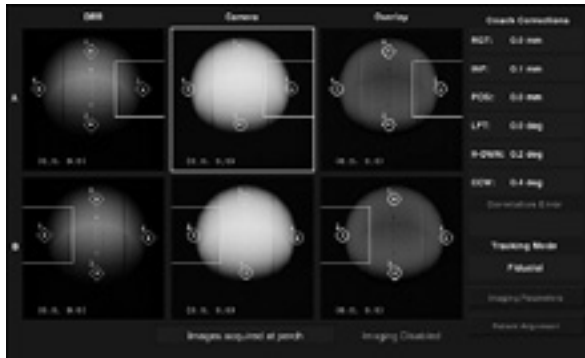


写真 12：QA 用 Phantom 使用
追跡マーカ 4 個

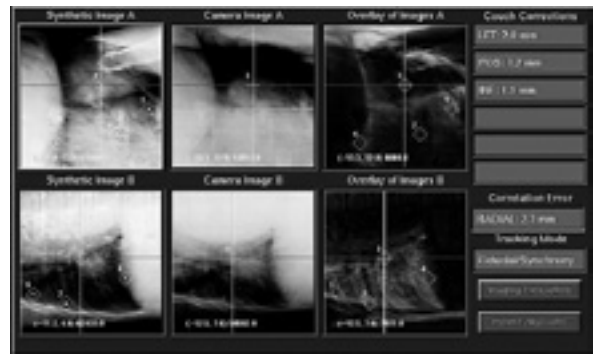


写真 14-1：金マーカ 1 個追跡

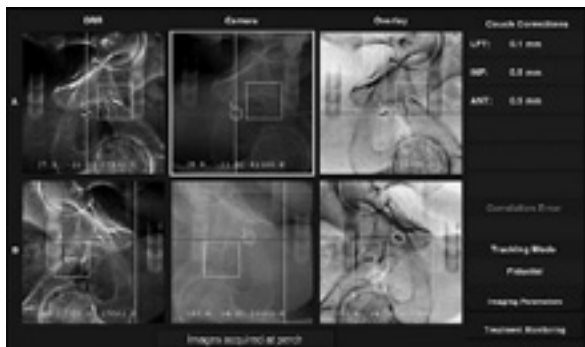


写真 13：追跡マーカ 1 個



呼吸トラッキングのイメージ

マーカの個数や挿入配置には注意が必要で、以下の約束事がある。① 3 個以上が望ましく②マーカ間隔は 20mm 以下にしない③標的から離れた位置に配置しない④直線配列にしない、など。

7-4 フィデューシヤル／呼吸トラッキング

呼吸により変位する標的の周囲に、挿入した金などのマーカの動きを X 線画像で追跡すると同時に、体表面に取り付けた LED マーカの呼吸による動きを監視カメラにて追跡して、両者の位置関係から相関モデル（直線変位モデル、曲線変位モデル、二重曲線変位モデル）を構築し、最終的に LED マーカの呼吸追跡にて治療を行うシステム（写真 14-1）。呼吸追跡中は絶えず照射が行われるが、体動による変位や呼吸変動により相関モデルが失われた場合は緊急停止する。（写真 14-2）には上から、LED マーカの波形グラフ、各軸方向における相関グラフ、相関誤差グラフが示されている。

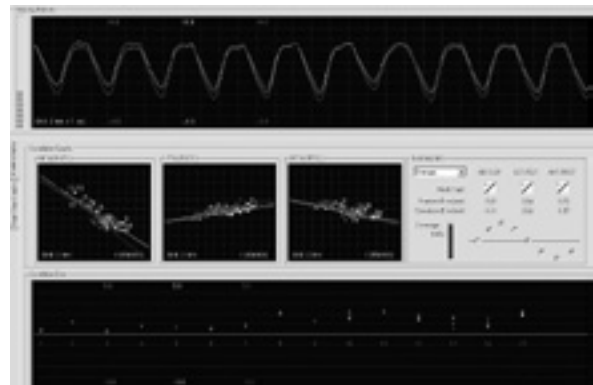


写真 14-2：相関モデルの構築過程

8. 産業用ロボット研修について

サイバーナイフは産業用ロボットを使用しているため、研修施設にて特別教育を受ける必要がある。関係法令、産業用ロボットに関する知識、教示などの作業に関する知識、検査などの作業に関する知識、実技などを学習し、修了証を受け取ることができる。

トモセラピー ～県内初の導入～

埼玉県立がんセンター
放射線技術部 清宮 幸雄

1. はじめに

近年、放射線治療患者数の増加に伴い、放射線治療機器の技術革新は目覚ましい、相まって照射技術の進歩も著しい。腫瘍部へのピンポイント照射が飛躍的に向上し、副作用の軽減もされている。埼玉県立がんセンターは昭和50年11月開院以来、高度がん医療の実践と研究を通じ、県のがん医療水準の向上に努めてきた。開院後35年が経過し、この間の医療の進歩や患者の動向を踏まえ、このたび新病院を建設することになった。2014年1月には、埼玉県立がんセンターが埼玉県立がんセンター新病院としてオープンする。放射線治療部門は、加速器4台（内1台がトモセラピー（以後 TomoHD）図1）と小線源治療装置が稼働する予定である。まだ稼働していない装置であるが、導入されれば埼玉県内では初めてとなる。現状でのTomoHDについて紹介したい。

2. 新病院工程

新病院の建屋完成引き渡し2013年7月を予定。その後、装置搬入や病院引っ越しを経て2014年1月にオープンの予定である。

3. 装置工程

搬入から治療照射開始まで4カ月程度である。

- ・搬入開始 2013年5月
- ・設置 2.5カ月
- ・ビーム調整 14日間
- ・取扱い説明 14日
- ・治療開始

許認可関連は、ビーム調整前までに終了させる。

- ・病院開設許可申請（所轄医務課）
- ・機械等設置届（労働基準監督署）
- ・放射線発生装置の使用許可申請（文部科学省）
- ・放射線取扱主任者届、放射線障害予防規程届（文部科学省）
- ・施設検査（原子力安全技術センター）

高周波利用届（電波管理局）

- ・診療用高エネルギー放射線発生装置備付届（保健所）



図1：TomoHDの設備

4. 採算性

保険点数制度で、主に強度変調放射線治療（IMRT）行う予定なので次の項目が認められる。（基準を満たした場合に限る）

- ・医療機器安全管理料 1100点
- ・放射線治療管理料（強度変調放射線治療）5000点
- ・強度変調放射線治療 3000点
- ・画像誘導放射線治療加算 300点
- ・医学的管理加算 330点
- ・施設基準加算 100点

TomoHD（リニアック2台分の価格）の購入で、1日20名程度のIMRT治療を行い、5年後には回収できると聞いている。

5. TomoHDシステム概要

TomoTherapy社製 TomoTherapyHi-ArtSystemは、Wisconsin大学のMeckie教授により、1990年に創案され、強度変調放射線治療（IMRT：Intensity Modulated Radiation Therapy）の専用機とした新しい放射線治療システムである。

世界で200以上の施設に導入されている。国内では2005年より導入が開始され、現在27施設32台が稼働している。現在は日本代理店の日立メディコが販売、保守サービスを全国展開している。

TomoHD は、IMRT 技術と、CT ベースの画像誘導放射線治療（IGRT：Image Guided Radio Therapy）技術を組み合わせて、IMRT 照射の精度を向上させることが出来る（図2）。

5-1 強度変調放射線治療（IMRT：Intensity Modulated Radiation Therapy）

IMRT: 線量の強度を制御しながら多方向から照射することによって、ターゲットの形状に合わせて線量を投与する照射方法で、ガントリーを回転しながら寝台を移動させ照射するヘリカル照射と「高速バイナリ MLC」によって、強力な強度変調が可能である。

IMRT は複雑なビームデータを管理し、高精度なセットアップなどの品質管理が重要になるが、TomoHD は、問題となる治療プランのビームデータ検証が装置に一体化したシステムで行えることから、検証の手順、時間を大幅に短縮できる。

5-2 画像誘導放射線治療

（IGRT：Image Guided Radio Therapy）照射の直前や照射中に患者の画像を取得し、画像情報から位置のズレを求め、補正してから照射を行う治療方法である。TomoHD では、治療直前に MVCT を取得し、治療計画時に使用した CT 画像と重ね合わせ、照射ターゲットの位置ズレを毎回確認することができる（図3）。

画像と治療で、同一ビームソースを使用するため、簡便に精度の良い画像取得が可能である。

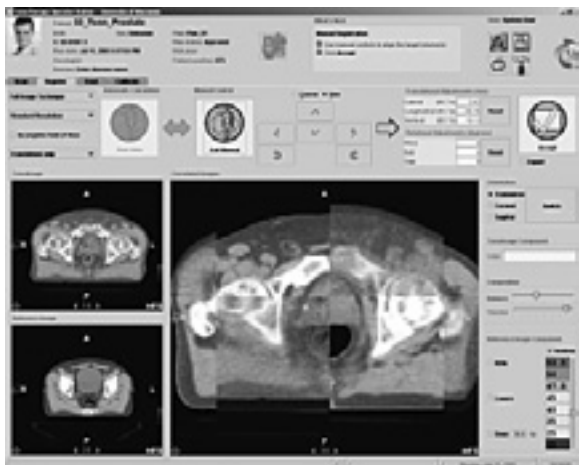


図2：TomoHDによるIGRT

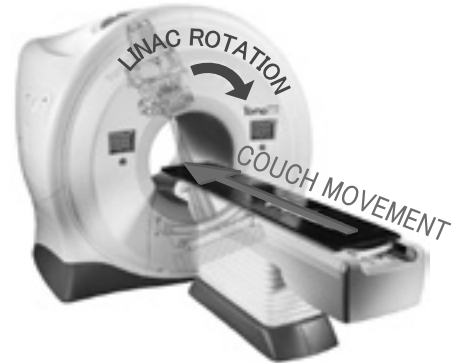


図3：TomoHDによるIGRT

5-3 固定照射方式（トモ・ダイレクト）

TomoHD は、トモ・ダイレクト（固定照射機能）が追加され、脳転移に対する全脳照射や骨転移等の単純な照射（図4）は、トモ・ダイレクトを用いることにより、照射時間を短縮することが可能となった。またIMRT 照射だけでなく3DCRT 照射が可能となった。以下に特長を記す。

- 1) 一般的なリニアックの外照射にも対応できる。
- 2) スループット向上に寄与する。
- 3) ヘリカル照射に比べ照射時間が短縮可能。
- 4) 複数の部位も一度のセットアップで照射可能。
- 5) IMRT モードと 3DCRT モードが選択可能。
- 6) ヘリカル照射との使い分けが可能。

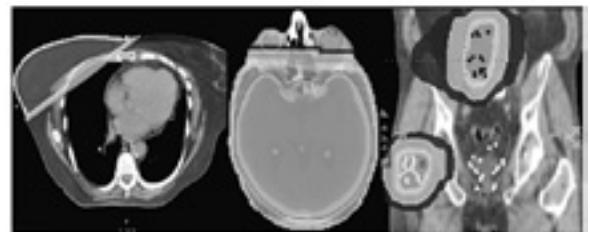


図4：TomoHD（固定照射方式）線量分布

6. リニアックとの違いと特徴

6-1 照射範囲

TomoHD は、ヘリカル照射のため従来のリニアックに比べ、1回の照射で長い範囲の照射が可能となった。

(1cm × 1cm ~ 40cm × 130cm)

6-2 多分割コリメータ(MLC: Multi Leaf Collimator)

TomoHD では、シャッターのように「開く」か「閉じる」かの「高速バイナリ MLC」（図5）を採用。開閉速度が 20ms と高速のため、強力な強度変調が可能であり、複雑な IMRT プランの照射が可能となる。



図5：高速バイナリ MLC

6-3 散乱線

MLCは10cm厚のタンゲステンで作られており、MLCの漏れ線量は少ないため正常組織への線量が少ない。またリニアックで使用されているフラットニングフィルタがないため、照射野外への散乱線が少ない。

6-4 スタッフの負担

TomoHDには、QAのための専用機とソフトウェアが付属しているため、従来の装置に比較し、治療計画、データ測定、品質管理において、スタッフへの負担が少ない。

6-5 MVCTを用いたIGRT

前立腺の位置および周囲臓器の状態は、不規則な変化を日々生じるため、治療開始時にMVCTを用いた照合を行うことで、セットアップ誤差を最小化した精度の高い位置照合が達成できる。また頭頸部がんの治療経過中には、腫瘍の縮小や体輪郭の変化により、線量分布が変化するが、MVCTを用いたIGRTの手法は、治療中のcontour変化の検出だけでなく、線量分布の変化の検証、再計画などに有効な手段となる。

7. 適応

頭頸部定位放射線治療（SRS・SRT）、体幹部定位治療（SBRT）などの小さな腫瘍から、頭頸部がん、肺がん、乳がん、前立腺がんへの照射、さらには全脳全脊椎照射、全骨髄照射のような長い範囲の照射まで、全身の様々な放射線治療に対応している。照射時間は線量分布や照射長にもよるが、前立腺では約3分程度、頭頸部腫瘍では10分程度で照射可能である。

原発性の頭頸部がん、前立腺がん、脳腫瘍に対してのIMRTは保険適応であり、臨床的有用性についてはコンセンサスを得られている（図6）。

頭頸部がんはIMRTのよい適応疾患といえる。脳神経、脳幹部、脊髄などの線量制限、唾液腺機能温存や下顎骨の線量低減などの利点が多い。保険適応となった疾患としては、産婦人科がんや肛門がんなどの骨盤部腫瘍、乳がん、肺がんに対しての強度変調放射線治療の有用性が報告されている。今後、これらの疾患以外に対しても、適応の拡大が必要である。

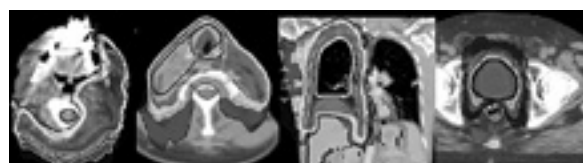


図6：TomoHDによる線量分布

8. まとめ

放射線治療は高齢化社会を向かえ、臨床的ニーズの拡大が予想される。特に高精度放射線治療のIMRTへの臨床的ニーズは非常に高く、IMRT専用機であるTomoHDの導入は、IMRTの普及に大きく貢献できると思われる。さらに、トモ・ダイレクト機能の標準装備により、一般のリニアックが行う通常の放射線治療領域もカバーできるため、1台の加速器で治療している施設でも新規導入・更新を検討できる。一方、新規の治療装置であるが故に、限られたマンパワーの中でTomoHDの有効的な運用を行うための治療法の標準化や運用法、適応症例の選定について施設ごとに十分な検討が必要であろう。

TomoHDを順調に稼働させる事で、放射線治療の成績向上と患者の安全を担保した質の高い医療を提供することを目標とする。さらには、県内放射線治療担当の先生方と治療技術を共有化した共同研究を開始できれば幸いである。

謝辞：日立メディコ様より資料提供いただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

「kV 画像誘導搭載リニアック」

～久喜総合病院における高精度放射線治療について～

埼玉県厚生連 久喜総合病院
放射線科 西山 史朗

1. 当院紹介

1-1 はじめに

当院は、2011年4月に埼玉県厚生連 幸手総合病院が久喜市に移転すると同時に、久喜総合病院として開院した(図1)。またそれに伴い、放射線治療装置が新設された。私は2011年3月に久喜総合病院のリニアック室の立ち上げのために入職し、黙々と機器の搬入や様々な測定やコミッションニングなどをリニアック配属の仲間と3カ月程かけて実施した。そして2011年6月に初めて患者に照射し終えた時の感動は、今でも鮮明に覚えている。



図1：久喜総合病院 外観

1-2 機器や設備など

使用リニアック装置は、Elekta社製 Synergyであり、Beam軸と垂直方向に画像照合用のkVのX線管球と画像検出器であるFlat Panel Detector (FPD)を搭載したX-ray Volumetric Imager (XVI) Systemが付属している(図2)。このXVI Systemは、2D画像取得、あるいはCone Beam Computed Tomography (CBCT)による3D画像取得を可能とし、Image Guided Radiation Therapy (IGRT:画像誘導放射線治療)に対応している。また関連付属機器として、アイソセンターにおけるLeaf幅が2.5mmで56対の外装micro Multi Leaf Collimator (mMLC)や呼吸モニタリングシステムであるアブチェスも所有している。



図2：Elekta Synergy

1-3 スタッフの配置

配属されたスタッフは、放射線治療医1名、診療放射線技師4名(医学物理士1名、放射線治療品質管理士1名を含む)、放射線治療専属看護師3名で構成されている。診療放射線技師・看護師とも、診断部門とのローテーション業務はなく、放射線治療専属として配属され、スタッフ間、あるいは患者ともより良いコミュニケーションが図られている。

1-4 治療内容

主な治療内容は、乳房温存術後照射、前立腺がんの根治的照射が多数を占めているが、他には骨転移などの緩和照射、頭部に対する定位放射線治療(Stereotactic Radiation Therapy: SRT)や体幹部定位放射線治療(Stereotactic Body Radiation Therapy: SBRT)も施行している。1日約25～30名の照射件数であり、定位照射などの高精度放射線治療は、1日の最後に実施される。

2. kV 画像誘導使用リニアックについて

2-1 各社kV 画像誘導使用リニアックの比較

kV画像誘導を使用しているリニアックは、多くのメーカーが開発し、商業化されている。昨年

出版された American Association of Physicists in Medicine (AAPM) の Task Group-179 (TG-179)¹⁾ に、kV を利用した代表的な商業的リニアックの特徴が比較されている。主には、Elekta 社の XVI System、Varian 社の On Board Imager (OBI) System、Siemens 社の Primatom が挙げられている。また私の知る限りでは、kV を使用した2つの X 線管球を、患者の斜め後背面の床に設置して、体軸に対して斜入した 2D 画像を取得する ExacTrac X-ray System (ブレインラボ社) や、また Gantry 内に 2 対の kV イメージングシステムを搭載し、正面、側面の 2D 画像や CBCT も容易に撮影が可能である、三菱重工が開発した MTI-TM2000 (Vero 4DRT) も挙げられる。

2-2 画像照合軸とビーム軸の関係

IGRT で重要な事は、リニアックに搭載された FPD が捉えた画像軸と治療ビーム軸がある 1 点 (Iso Center : IC) で交わる事である。しかし、照射ヘッドを有する Gantry の自重によるダレ、あるいはリニアックにロボットアームとして搭載された位置照合用の X 線管球や FPD の自重のダレもあるので、必ずしも誤差ゼロの 1 点で交わる事はない。この Systematic な誤差を極力小さくするために、Synergy では様々な工夫がなされている。

まず基準となるのは、Gantry 回転軸、Collimator 回転軸、寝台回転軸も含めた総合的なビーム軸である IC である。この IC 位置を取得するために、タングステン素材である 8mm 径 Ball Bearing (BB) を装備した QA ツールを寝台に設置し、外部レーザーを使用してセットアップする (図 3)。これを MV 画像取得用の FPD (iViewGT) で Gantry 角度 4 方向、コリメータ角度 2 方向 (0°、180°) をそれぞれ取得し、照射野中心に対する BB の 3 軸の平均誤差を算出し、BB 位置を補正する。修正した BB 位置で CBCT を取得し、各 Projection image の補正值 (FlexMap) を算出し、位置照合用ユニットのダレによる画像中心誤差を 0 に近づける。最後に修正した BB 位置に合わせて外部レーザーを修正する。当院では月に 1 回の頻度でリニアック QA の一つとして実施している。

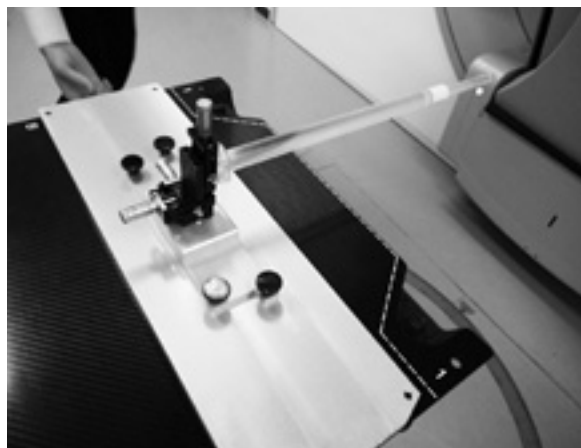


図 3 : 8mm 径 BB を装備した QA ツール

2-3 2D Matching と 3D Matching

kV を利用した画像取得には、主に 2 種類ある。一つは、任意の角度で撮影した kV 画像と治療計画装置から取得した Digital Reconstruction Radiography (DRR) を重ね合わせて位置誤差を算出する 2D Matching である (図 4)。これは主に患者に対して正面像と側面像が利用され、A-P 方向、R-L 方向、S-I 方向の 3 軸の誤差を算出する。この補正は、XVI System、MOSAIQ、どちらでも可能であるが、当院では小数点第 2 位 (0.00cm) までの測定レンジをもつ MOSAIQ を使用している。もう一つは、患者の体軸に対して 360° 方向から各 Projection image を取得した後、再構成により 3D 断層像を得て、治療計画 CT との Fusion を実施する XVI System を使用した 3D Matching がある (図 5)。3D Matching は、2D Matching の 3 軸に加え、R-L 軸に対する Cranial-Caudal 方向、S-I 軸に対する Rotate 方向、A-P 軸に対する Rotate 方向が算出される。しかし、6 軸に対応した寝台 (6D Couch) でなければ、3 軸のみの補正となる。



図4：MOSAIQによる2D Matching



図5：XVI Systemによる3D Matching

3. SynergyのkV-CBCTの特徴

3-1 FlexMapについて

前章でも述べたが、FlexMapとはCBCTを撮影した際の各Projection imageのX軸方向、Y軸方向のICに対する補正值データである。このFlexMapを使用する事により、kV画像照合系の機械的なSystematic errorをソフトウェア上で補正し、ICに画像照合中心の合わせこみが可能となる。CBCTによる3D画像中心の合わせこみのみでなく、XVIで撮影した2D画像にも適用される。当院では、重さ50kgの外付けmMLCをGantryにマウントした場合は、若干FlexMapに変異が認められるので、mMLCを使用したSRTでは、mMLC用のFlexMapを使用している(図6)。

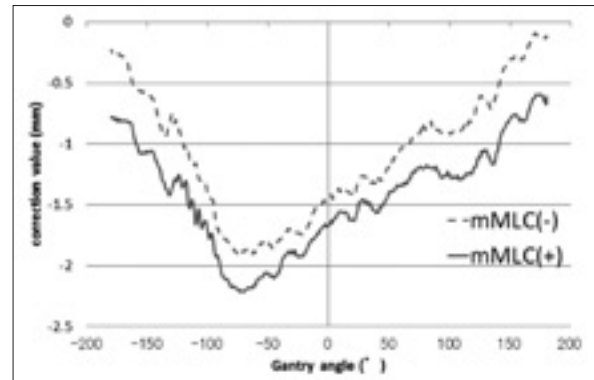


図6：Projection imageのX軸側の画像中心の補正值データ

3-2 撮影条件のカスタマイズ

XVI Systemにおける2Dおよび3Dの撮影条件の変更は、ユーザー側で容易に出来る。撮影条件は、INIファイル(テキストデータ)で書き込みされており、2D、3Dどちらもカスタマイズが可能である。例えば、CBCTの撮影条件では、Nominal mA Per FrameやNominal ms Per FrameでフレームあたりのmAや照射パルス幅(msec)が可変可能であり、またX線管球とFPDの回転方向(clock wise: CWおよびcounter clock wise: CCW)や回転速度(Projection image数)、さらに収集スタートポジションと収集終了ポジションを決定するGantry角度も任意に指定可能である。当院では、ターゲットが体の側部に近い場合などは、Gantryと寝台が緩衝するため、予めProjection image収集開始ポジションと収集終了ポジションを該当患者専用の撮影プロトコルとして作成し利用している。また前立腺がんの治療において、直腸のガスや便の確認のために、頻りにCBCTが必要な場合は、上記の方法でProjection imageを減少させる事により撮影時間の短縮や被ばくの低減を実現している。

4. 臨床におけるIGRT

4-1 前立腺

前立腺がんの治療時のIGRTのプロトコルを下記に示す(図7)。プロトコル①は治療開始5日間、その後週1回実施する。プロトコル②はkV画像MatchingのみのいわゆるBone Matchingのプロトコルである。寝台補正後のXVIでの位置確認において、さらに誤差がある場合は、再度MOSAIQにてkV画像Matchingを実施する(図8)。またkV画像を取得した際に、直腸内にガス

や便の存在が疑われる場合は、プロトコール①を適用する。CBCTによりPTV内の明らかなガスの影響で、Targetが変位していると認められた場合は、放射線治療室専属の看護師に依頼し、ネラトンチューブを使用してガス抜きを施行している(図9)。

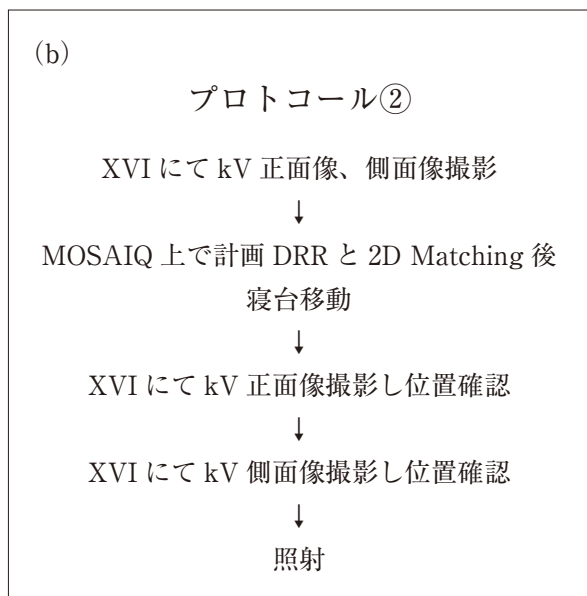
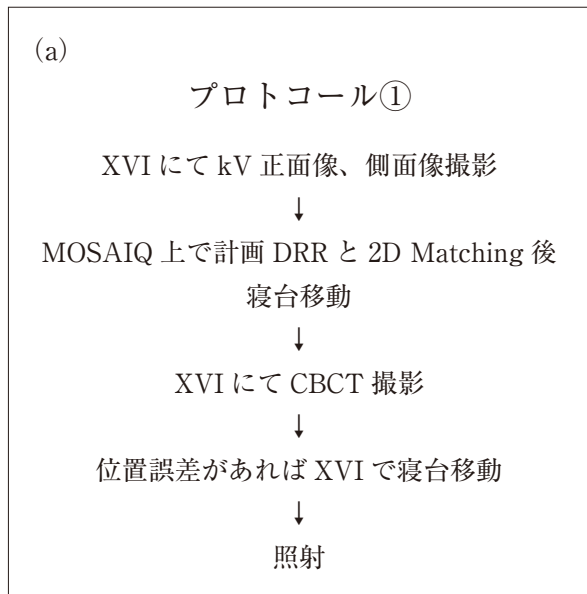


図7：前立腺がん治療におけるIGRT手順
(a) プロトコール①, (b) プロトコール②

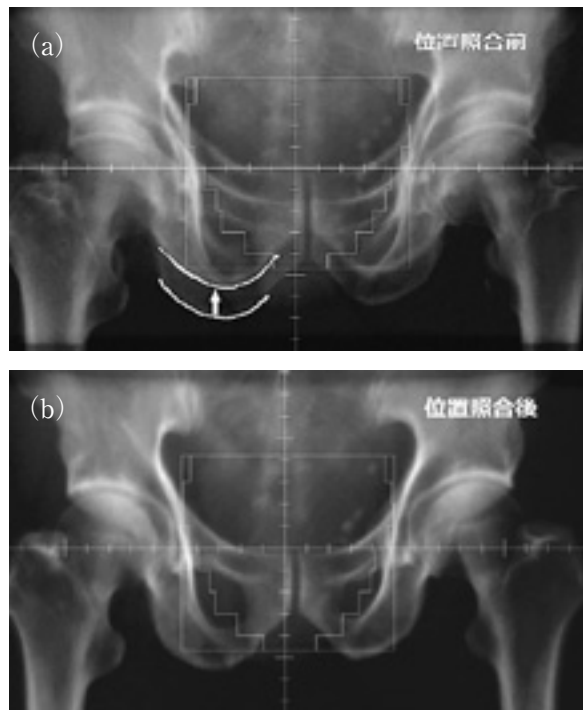


図8：骨盤部の2D Matching
(a) 照合前, (b) 照合後

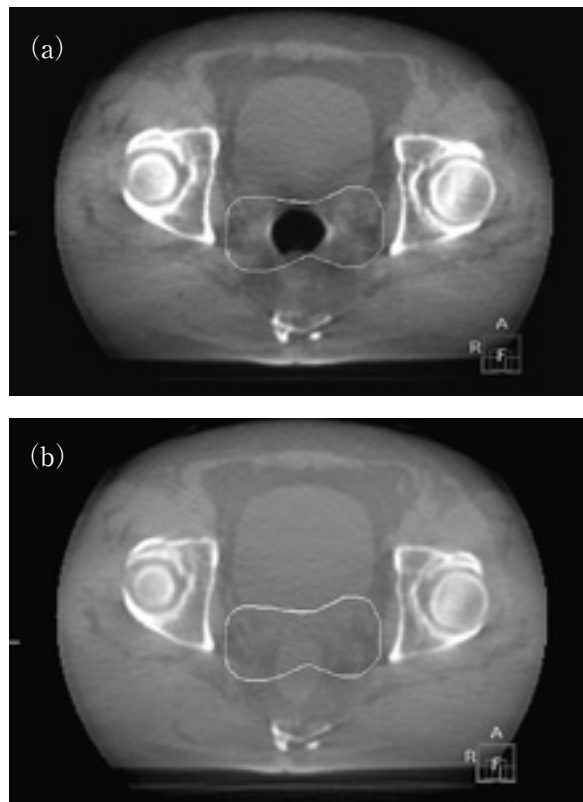


図9：前立腺がん治療における3D Matching
(a) ガスあり, (b) ガス抜き後

4-2 頭部 SRT

当院における SRT は、主に mMLC を使用した頭部への照射である。頭部 SRT に対するプロトコールを下記に示す (図 10)。頭部 SRT 実施時の患者固定は、Head FIX を使用している。これは、患者専用のマウスピースを作成するものである。このマウスピース中央には小孔が空いており、外部の吸引器から陰圧をかけて、患者の上顎内にマウスピースを吸着させて頭部を固定する。患者は治療中常に開口しているため、なるべく IGRT に時間をかけないようにしたプロトコールである。

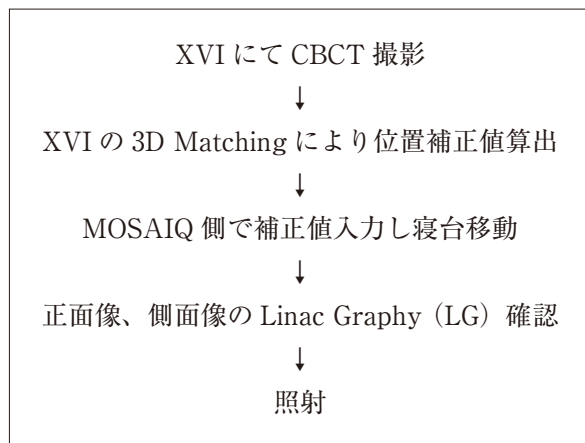


図 10：頭部 SRT における IGRT 手順

5. IGRT の QA

5-1 画像中心軸の QA

IGRT の QA で特に重要なのは、IC に対する画像中心軸のズレを定量的に測定し、管理する事である。当院では、PENTA GUIDE (QUASAR, MODUS MEDICAL DEVICES Inc) を使用して週 1 回の QA として設定している (図 11)。セットアップはもちろん外部レーザーであるので、この外部レーザーが IC と 0.25mm 未満で一致している事が前提である。もし外部レーザーを調整した場合や、変位が認められた場合は画像中心軸 QA を速やかに実施している。誤差の解析は MOSAIQ を使用し、許容値は 1mm 未満を設定している。これは AAPM TG-142 の SRS/SBRT を実施する施設の基準と同等である²⁾。



図 11：画像中心軸の QA ツール (PENTA GUIDE)

5-2 寝台移動精度 QA

IGRT を実施する上で、重要な項目の一つとして寝台の移動精度が担保されている事が挙げられる。当院では寝台移動精度 QA も PENTA GUIDE を使用している。このファントムには、Off-Center となるマークが刻印されており、ファントム中心からの既知の距離 (Superior site 14mm, Right site 10mm, Anterior site 12mm) を示している。セットアップは外部レーザーにて Off-Center Point に合わせる。そして既知のシフト移動量を、MOSAIQ の Auto Table Movement に入力し寝台をシフトさせる。このシフト後の寝台位置を記録した後、外部レーザーに対して PENTA GUIDE 中心を合わせて修正し、その時の修正値を寝台移動誤差値とする。当院の測定では MOSAIQ、あるいは XVI を使用した場合も 1mm 未満の精度を保証している。

5-3 CBCT の画質 QA

CBCT の画質の品質管理について、当院では、Catphan CTP503 (The Phantom Laboratory) を使用して、Mean pixel value の均一性、Low Contrast 分解能、3 軸方向のスケール、また空間分解能を毎月の QA として実施している (図 12)。リファレンスの値は、受け入れ試験時のデータとし、毎月の測定値と比較し確認している。通常、特に大きな変動が認められる事は少ないが、例えば XVI 管球の交換や FPD のキャリブレーション等を実施した後は、リファレンスデータを基に入念に確認する。

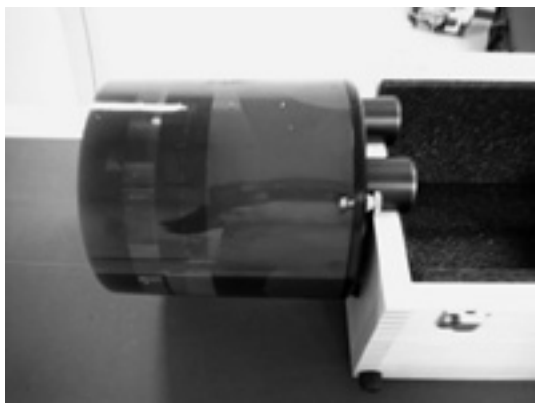


図 12：CBCT の画質 QA ツール (Catphan)

6. IGRT の注意点

6-1 IGRT の注意点

治療計画の問題の一つに、CTV delineation が施設間、あるいは医師間によって異なる事が挙げられる。従来の放射線治療では、十分に確保されていた PTV margin が多少異なる CTV を含んで治療可能であったが、IGRT 下では治療計画時に PTV margin が縮小して計画されるため、過小評価された CTV が照射されなくなる可能性が増大する。これは画像照合系の精度が担保されている事はもちろん大前提であるが、CTV の delineation の定義も統一される事が非常に重要である。よって画像照合系の精度のみの判断で、安易に PTV margin を減少するべきではない。自施設の画像照合系の精度と CTV delineation の決定を適切に判断して臨床に生かす事が重要である。

6-2 観察者間の照合差

IGRT の問題の一つに、観察者間誤差が挙げられる。これは、Inter- and intra-observer variability の事であり、位置照合者が変わる事によって、照合方法が異なる問題である。照合方法が観察者によって変化すれば、CTV への過小線量、またはリスク臓器への過大線量となる可能性がある。この問題をできる限り減少させる方法として、当院では位置照合の観察者は、技師 3 名を固定としており、治療専属の配属として対応している。治療計画 CT 撮影時以外は、常にコンソール前に専属の技師が観察しているので、綿密な情報共有が可能となっている。また毎日 IGRT を施行する患者の位置照合後の補正值を照射録に記録している。さらに Microsoft Office Excel にも同時に記録しグラフ化する事で、系統的な位置誤差を時系列に

表示させ、観察者間の位置照合差を判断する目安としている (図 13)。

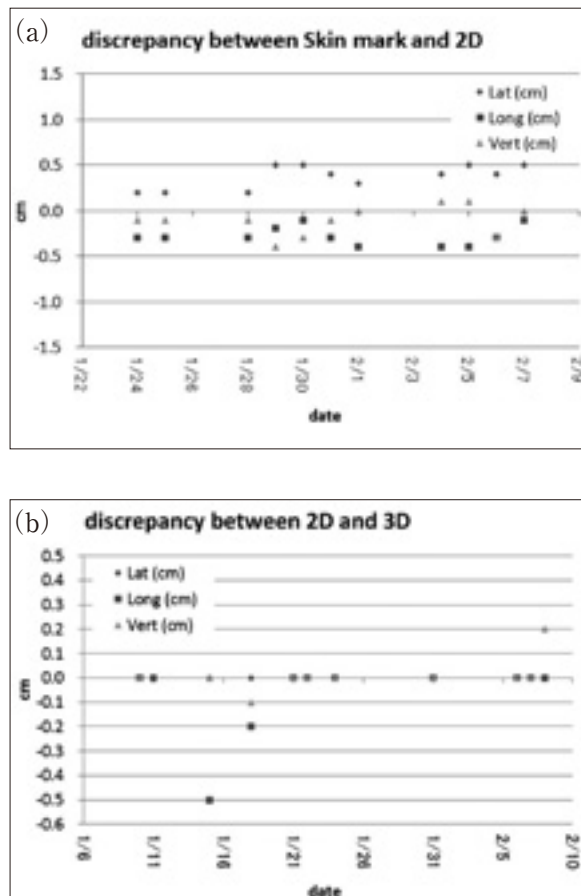


図 13：患者個々の IGRT の位置照合記録
(a) 2D Matching, (b) 3D Matching

6-3 IGRT による被ばくについて

kV-IGRT において患者の被ばくの問題は避けて通れない。位置照合における被ばくよりも治療にメリットがあるとして、kV を使用した撮影が軽視されがちであるが、我々は IGRT 時の患者の被ばくに対して十分に考慮する必要がある。海外でも IGRT の線量に関して様々な論文が発表されている。Letourneau らは、XVI System を使用して 32cm 径の Body Phantom の、IC、皮膚表面の 1 回線量が、それぞれ 2.8cGy、4.4cGy と報告している³⁾。Islam らも、円筒型のファントムを用いて、線量測定を施行した。彼らも、XVI System の CBCT を用いて、円筒型のボディファントムの様々な深さにおいて、1.6-2.3cGy のポイント線量を報告している⁴⁾。また Hammoud らは、OBI System において、人体ファントムを用いて熱ルミネッセンス線量計 (TLD) を使用し

た測定を施行した。彼らは、42分割の前立腺治療において、毎日CBCTを施行すると、皮膚線量が1.5-2.5Gy、体部の線量で1.3-1.8Gyになると報告した⁵⁾。M.W.K.Kanらは、OBI Systemを用いて、人体ファントムの各臓器にTLDを設置して、臓器線量を詳細に測定している。やはり35回のCBCT撮影は、いくつかの臓器に1.5-2Gyを照射し、2次がんの発生確率の3～4%の追加をもたらすとして、低線量モードでのCBCT撮影を強く推奨している⁶⁾。また被ばく線量を低減させる方法として、Liu Bらは、撮影条件は変化させず、Projection image numberを減少させる事で、画質や幾何学的な位置照合精度を低下させずに被ばくを低減する事ができたと述べている⁷⁾。当院でのIGRTにおける被ばく低減についての取り組みは、例えば前立腺がんの治療の場合、排ガス後の確認のCBCTは、Liu Bらが提唱したProjection image数を減少させたカスタマイズCBCTを使用している。また2DのkV画像を取得する線量は画質とのトレードオフであるが、患者の体格に合わせて撮影条件を調節してできる限りの低線量撮影を実施している。

7. 今後の展望

7-1 将来に向けて

kV画像誘導を使用したIGRTに限られた事ではないが、いくら装置が高精度放射線治療に対応したとしても、結局、装置を扱い管理するのは診療放射線技師をはじめ、様々な専門的知識を持った「人」である。現在、諸団体が様々なテーマに対して学術大会や勉強会を実施しているが、我々も新しい技術の習得や知見を深めるために努力を重ねる必要がある。その理由は、放射線治療はチーム医療であり、各職種がMutual respect（相互尊重）の精神で業務に取り組むべきであるからだと筆者は考える。確かに診療放射線技師法では、全ての業に対して「医師の指示の下・・・」の文言が明記されているが、こちらからも医師に対して十分な情報を発信して、医師と共に最善の治療を構築し、患者に提供する事が重要である。もし、自分や自分の家族が病に侵され、放射線治療を行う事になったら、自信を持って自施設で照射を希望する環境、またはチームになればと心から強く思う。

引用文献

1. Jean-Pierre Bissonnette et al.: Quality assurance for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies: A report of the AAPM TG-179 : Medical Physics, Vol. 39, No. 4, April 2012
2. Eric E. Klein et al.: Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators : Med. Phys. 36 (9), September 2009
3. Daniel Létourneau et al.: Cone-beam-CT guided radiation therapy: technical implementation : Radiotherapy and Oncology 75 (2005) 279-286
4. Islam MK, Purdie TG, Norrlinger BD, et al.: Patient dose from kilovoltage cone beam computed tomography imaging in radiation therapy. :Med Phys 2006;33:1573-1582.
5. Hammoud R.: On-board imaging system: Implementation and quality assurance procedures. :AAPM Lecture 2006.
6. Monica W. K. Kan et al.: Radiation dose from cone beam computed tomography for image-guided radiation therapy : Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., Vol. 70, No. 1, pp. 272-279, 2008
7. Liu b et al.: A comprehensive study on decreasing the kilovoltage cone-beam CT dose by reducing the projection number. : J Appl Clin Med Phys. 2010 May 12;11 (3):3274.



[執筆者紹介]

1974 年生まれ

2011 年 3 月 金沢大学大学院医学系研究科
保健学専攻博士前期課程
保健衛生学修士

2011 年 3 月 久喜総合病院 入職
放射線科科長補佐
第 1 種放射線取扱主任者
医学物理士
放射線治療品質管理士

「MV 画像誘導システム搭載リニアック」

～当院における画像誘導システムを用いた放射線治療～

医療法人社団愛友会 上尾中央総合病院
放射線技術科 渡部 敬洋

1. はじめに

当院では、がん治療の充実を目標に平成 23 年 5 月に放射線治療科が新設された。同時に SIEMENS 社製リニアックである ARTISTE が導入された。ARTISTE は、新たに開発された 5mm 厚 160 枚の MLC および MV 画像作成システムが搭載された装置である。今回、主に ARTISTE の MV 画像作成システムの性能と、それを用いた IGRT を紹介する。



図 1：SIEMENS 社製 ARTISTE 外観

2. ARTISTE の基本性能

2-1 ビーム線質

- ・ X 線：6,10MV
- ・ 電子線：7,9,12,15,18MeV

2-2 MLC

- ・ 厚さ 5mm、高さ 95mm タングステン製リーフ 160 枚 (80 対)
- ・ 最大照射野 40cm × 40cm
- ・ tongue and groove 効果、リーフからの漏洩線量等の低減のために、S 形状リーフやリーフ傾斜を利用

2-3 EPID (Electric Portal Imaging Device)

- ・ Optivue (Amorphous Silicon)

2-4 照合画像

- ・ Megavoltage Cone Beam imaging (三次元画像)
- ・ Portal imaging (二次元画像)

3. ARTISTE の MV 画像作成システム

現在、一般的に使用されている照合用画像には MV と kV によるものがある。治療線質で収集する MV 画像は、ビーム軸が変わらないため、照合時の位置精度は向上するが画質に問題がある。

kV 画像は、画質は良いが治療ビームとビーム軸が 90 度異なるため、位置精度の十分な検証がより必要になる。SIEMENS 社は、MV に重点を置きシステム開発に力を入れてきた。画質の改善には、治療用 X 線ビームより低いエネルギーの線質が必要であるため、画像収集専用ビームシステムを開発した。次にそれについて述べる。

3-1 IBL (Imaging Beam Line)

SIEMENS 社は、画像専用の低エネルギー X 線を得るために、カーボン製ターゲットを追加した。ターゲットは電子線スキャッターリングホイールホルダーの一つに設置されている。入射する電子エネルギーを 4.2MeV に低下させ、かつフラットニングフィルタを通さないことにより、低エネルギー成分の X 線が多くなるよう工夫している。IBL は、この画像収集専用ビームのことであり、図 2 にその構成を示す。ライン上はターゲットとモニタチェンバのみである。

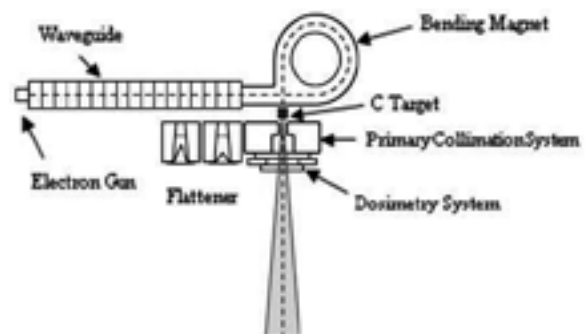
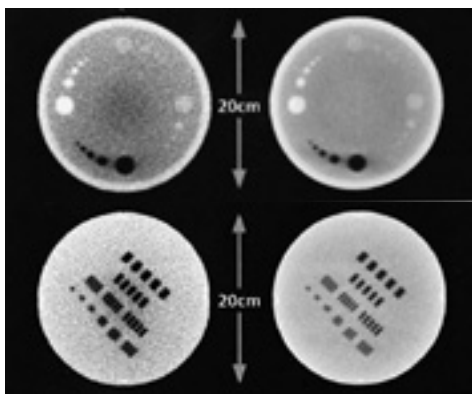


図 2：IBL 構成図

図3は、IBLと6MVX線において、同一線量で撮像された画像を比較したものである。ファントムはSIEMENS社製リニアック品質管理専用のEmaファントムを使用した。IBLは、6MVよりコントラスト、分解能共に高く、有意差が明瞭である。その理由としては、①低原子番号のターゲットから発生しフラットニングフィルタを介さない非平坦なX線は、高原子番号のターゲットから発生しフラットニングフィルタを透過してきた平坦なX線より、低エネルギーX線の割合が多く存在する②フラットニングフィルタを介さないことで、そこから発生する散乱線も減少するため空間分解能も向上する、などが考えられる。図4にIBL・6MVX線・10MVX線、それぞれのピーク部分を拡大したPDDを示す。ピーク深はそれぞれ0.98cm・1.47cm・2.28cmである。



6MVX線 IBL
図3：6MVX線とIBLとの画像比較

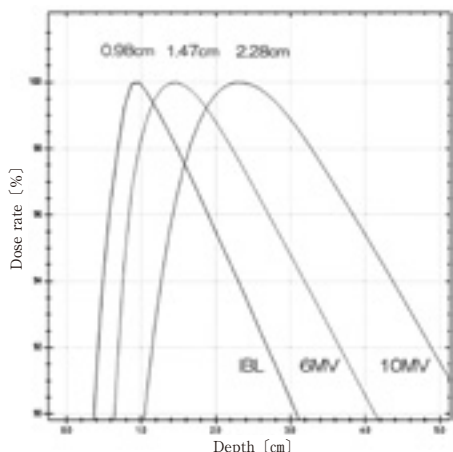


図4：IBL・6MV・10MV PDD
(ピーク部分拡大)

3-2 MVCBCT

SIEMENS社製リニアックは、One Source・One Beam・One DetectorのコンセプトにてMVX線を利用して画像取得している。そのためEPIDもガントリーに対向する位置に1機搭載されており、VARIAN社やELEKTA社のように治療ビーム軸と直交した位置にX線管球や検出器は存在しないデザインとなっている。

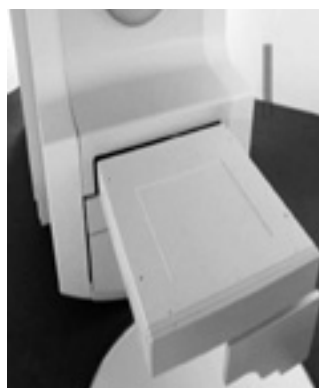


図5：ARTISTE搭載EPID

MVCBCTの撮像方法には、ガントリー200度回転のShort Scanと360度回転のFull Scanの2種類がある。Short ScanはEPIDの中心とビーム中心が一致した状態で回転するのに対して、Full ScanはEPIDをシフトさせ、それに合わせYjawを非対称にした状態で撮像を行っている。(図6)

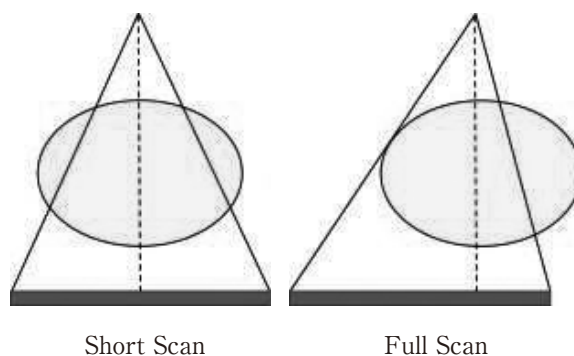


図6：MVCBCT撮像方法の違い

Short Scanでは、FOVが27.4cmであるのに対し、Full Scanでは40cmまで拡大される。撮影時間はFull Scanの方が長くなるが、大柄な患者には有用で、体格や症例により使い分けが可能となる。

4. MV 画像を用いた IGRT 臨床例

4-1 MVCBCT (三次元照合)

当院では、初回治療時はほぼ全例 CBCT を撮像し照合を行っている。CBCT で得られる三次元情報は多く、CT シミュレーション時に合わせた患者体位を再現することが可能となる。それにより照射位置確認用の Portal Vision (BEV) は治療計画より送信された DRR 画像と一致し、ストレスなく治療を進められる。次に当院における IGRT 臨床例を述べる。

4-1-1 前立腺

前立腺は、所属リンパ節転移が無く前立腺局所に照射野を絞り込んだ症例において、全例毎回 CBCT を撮像し画像照合を実施している。前立腺はコントラストが低い臓器のため、CBCT 画像の軟部組織描出能は kVCBCT 画像より劣る。しかし、骨・前立腺 (周りの軟部組織を含む)・直腸などは判別でき、画像照合が可能となる。図 7 は、前立腺照射の患者で Short Scan 5MU で撮像を行った画像、図 8 は同患者の CT シミュレーション画像である。照合は撮像した CBCT 画像と CT シミュレーション画像のこれら 2 つを同一画面上で Fusion し、それぞれ画面を切り替えながら画像を移動させ位置照合を行う。当院の前立腺 IGRT は、①骨照合で Set Up error を確認

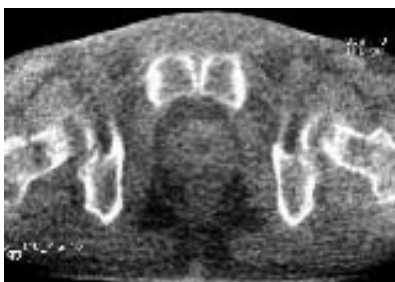


図 7：前立腺の CBCT 画像



図 8：前立腺 CT シミュレーション画像

②前立腺照合で前立腺移動量 (Interfractional organ motion) を確認③カウチ移動④照射、という過程で行っている。主な位置合わせは骨照合になるが、前立腺は尿量や腸管ガスによって、腹背方向の移動が特に大きいことが報告されているため、腹背方向を主とした前立腺照合を行っている。当院で 2011 年 5 月から 2012 年 12 月までの期間で、前立腺照射を行った 42 名の前立腺平均移動量は、1.12mm の腹側移動であった。しかし、症例によっては最大 13mm の移動が見られた例もあり、前立腺照合の有用性は高いと考える。

4-1-2 頭頸部

頭頸部は、全例シェル固定しているため、初回の CBCT や定期的な Portal Vision 以外は画像照合を行っていない。しかし、シェル固定でも症例によっては 2mm 程度の移動がある。そのため、リスク臓器が照射野に近接している症例では、CBCT 撮像し骨照合を行い、医師確認の下に照射を行っている。図 9 は神経膠腫の患者の治療計画画像である。視交叉や視神経が照射野に近接しているため、この部位を中心に骨照合を行い、CBCT が有用だった症例である。

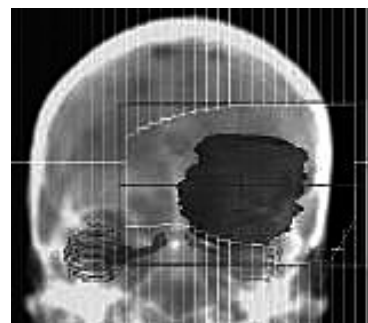


図 9：神経膠腫の治療計画画像

4-1-3 胸部（肺）

肺はコントラストが高い臓器であるため、高エネルギーのMVCBCTでも腫瘍を容易に確認することができる。図10は、肺腫瘍症例のCBCT画像であり、撮影条件はFull Scan 3MUで行っている。CTシミュレーションにて4DCT撮像を行い、その画像を基に放射線腫瘍医が呼吸性移動も含めてPTVを決定した症例では、CBCTを撮像し腫瘍がPTVに含まれるよう照合させ照射を行っている。このように肺に関しては腫瘍の位置を明確に描出することが可能である。

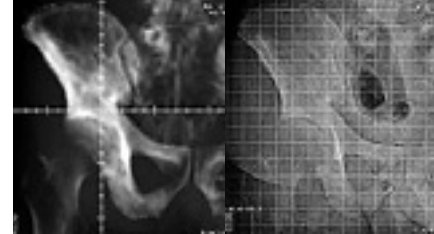


図10：肺腫瘍症例のCBCT画像

4-2 正側面撮像（二次元照合）

正側面撮像による二次元照合はCBCTによる三次元照合より当然情報が低下する。しかしCBCTに比べ画像取得時間が早く、治療のスループットが良いという利点もある。二次元照合では骨照合となるため、軟部組織やTargetでの照合は行えないが、骨照射などの緩和照射には非常に有用である。緩和照射を行う患者は疼痛があり、通常の背臥位が困難な場合や、疼痛を和らげるために様々な補助具を使用する場合がある。このような症例では、通常照射よりも皮膚マークの信頼性が低下し誤った照射に繋がる危険性がある。上記のような症例には、二次元骨照合を行うことにより正確な照射が可能となる。図11に二次元照合を行った骨盤骨の正面画像を示す。左図は治療計画装置から送信されたDRR画像、右図はEPIDにて撮影した二次元照合画像である。撮影条件は1MUである。これら二つの画像を同一画面にFusionして骨が一致するように画像を移動させ照合を行う。照合後はそのまま照射に移行で

きるのはMV方式の利点である。当院では緩和照射の症例が多いため重宝している。



5. まとめ

ARTISTEのMV画像作成システムとそれを用いた当院のIGRTについて述べた。MV画像は

図11：骨盤骨照射の二次元照合画像

kV画像と比較して画質は落ちるが、この装置のMV画像はIGRTに十分使用できる画質になっている。IBLに加えて、EPID、画像作成ソフトウェアなどの改良が相乗的に作用し画質を向上させている。また画像ビームが治療ビームと同軸上にあるため、画像照合後直ちに治療が可能となり、ロスタイムが少なく、早急な照射に威力を発揮する。照射部位確認用のPortal VisionもIBLを使用しており照射野の確認が容易である。

一方MV画像は、kV画像に比べ線量が高いため被ばくが問題となる。本稿では被ばくについて具体的に提示しなかったが、IGRTを実施するためには、kV画像装置より慎重な臨床面での検討が必要であると考えられる。



【執筆者紹介】

渡部 敬洋（わたなべ よしひろ）34歳
技師歴12年（放射線治療歴2年）
第1種放射線取扱主任者・医学物理士

「放射線治療の認定制度」

医療法人社団東光会 戸田中央総合病院
放射線科 東口 陽向

1. はじめに

近年の放射線治療の進歩に伴い、従来の照射法に加えて定位放射線治療、強度変調放射線治療などの高精度な照射が可能となり、線量の集中性が増している。またサイバーナイフ、トモセラピー、重粒子線治療など新しい技術を用いた治療も普及してきている。このことは患者にとって、副作用の少ない有益な治療になっているとも言い換えることもできる。一方、放射線治療における業務内容は、確実な照射の実施、適切な投与線量を照射するための吸収線量測定の評価、機器の品質保証・管理など多岐にわたる。さらに高精度放射線治療の導入により、管理項目は複雑化し、高度な知識と膨大な時間が必要となってくる。

2000年代前半に、放射線治療における過剰照射や過少照射による医療事故が相次いで報道された事実がある。このことは、がん罹患率の上昇とともに需要の増加しつつある放射線治療の潜在的危険性を認識させるとともに、さらなる放射線治療の安全管理体制確立の必要性が問われる結果となったといえる。そのため、このような事態を防ぎ、放射線治療業務を安全に精度良く行うために、より専門的な知識を持つ人材育成を目的に、放射線治療関連団体を中心に様々な認定制度が確立した。そこで本稿では、放射線治療に関する認定制度について、目的や役割、取得方法について紹介していく。

2. 放射線治療専門放射線技師認定

2-1 機構の目的

この認定機構は、日本放射線技師会・日本放射線技術学会・日本放射線腫瘍学会（五十音順）の3団体の合意により平成17年に設立され、現在まで1205名の診療放射線技師が、放射線治療専門放射線技師として認定されている。

放射線治療専門放射線技師認定機構の目的は、専門的な知識と高い技術における確実な照射の実施、適切な投与線量を照射するための吸収線量測定の評価、機器の品質保証・品質管理など、放射線治療業務のほぼ全てを網羅しており、従来診療放射線技師が行ってきた業務の専門性を高度化するということである。

2-2 認定制度について

認定を取得するには、試験前日の認定教育セミナーを必ず受講した上で、試験に合格する必要がある。受験資格は次の通りである。

- ①診療放射線技師の免許を有すること
- ②通算5年以上放射線治療に関する診療業務を行っていること
- ③公益社団法人日本放射線腫瘍学会、公益社団法人日本放射線技術学会、公益社団法人日本放射線技師会のいずれかに、5年以上継続して会員籍を有していること
- ④申請時より過去5年以内に、別に定める認定単位を20単位以上取得していること
- ⑤その他、放射線治療に関する業績を有することが望ましい

認定は5年間ごとの更新制度となっており、認定機構が定める学会・講習会などに定期的に参加し、単位を取得する必要がある。講習会などは認定機構が主催または共催していることで統一性が保たれている。また講習会の内容は、放射線治療の基礎的なことから、実機を使用した実践的なものまで幅広い内容となっている。

2-3 放射線治療専門放射線認定技師の役割

放射線治療専門放射線技師の役割は次の通りとなっている。

- ①専門的な知識と技術を高め、高度な放射線治療

を円滑に行うこと

- ②患者の全般的な安全性と快適性に配慮して、確実な位置決め照準と適切な投与線量の照射を行うこと
- ③放射線治療における高度な治療計画を修得し、実行すること
- ④放射線治療における高度な放射線計測を修得し、実行すること
- ⑤放射線治療における放射線治療機器、治療計画装置、および関連機器・器具などの品質保証・品質管理を修得し、実行すること
- ⑥放射線治療分野の放射線安全管理を適切に実行すること
- ⑦放射線治療における医療安全対策を企画・立案し、実行すること
- ⑧その他

これらの役割について常に意識して確実に実行することで、放射線治療の高度化を図り、国民の健康と社会の発展に寄与することを目的とする。

2-4 まとめ

高精度な放射線治療が実施されている現在、放射線治療専門放射線認定技師の担う役割は非常に大きいものと考えられる。また後述する放射線治療品質管理士や医学物理士とは違い、放射線治療に関わるほぼ全ての業務に関わってくる。放射線治療に携わる技師は、この認定を取得することを目標にして、高いモチベーションを維持し、放射線治療の技術レベルを向上させ、安全かつ高度な医療を提供していただきたい。

3. 放射線治療品質管理士

3-1 機構の目的

2000年代の前半に、放射線治療の過誤照射事故が相次いで明らかとなった。これらの事故は、放射線治療の品質管理が不十分であったことが原因とされ、関連団体は2004年に「放射線治療品質管理に関する委員会」を合同で組織し、根本的な安全対策を検討した結果、中間報告を経て翌年に「放射線治療における医療事故防止のための安全管理体制の確立に向けて（提言）」（最終報告）

を公表した。

内容の概要は次の通りである。

- ①放射線治療における品質管理の重要性の増大
- ②総合的で継続的な品質管理の必要性
- ③患者中心の放射線治療の必要性
- ④ヒューマンエラーを前提とした品質管理体制の構築
- ⑤リスクマネージャーおよび事故防止委員会との関係
- ⑥個々の医療機関の対応の限界と第三者機関によるチェック

上記は、各病院の状況に応じて様々な形があると考えられるが、放射線治療の品質管理業務を独立した一つの業務と捉えた品質管理体制の確立が必要であるというものである。

3-2 認定制度について

放射線治療品質管理士の認定を申請するには以下の条件を満たしていることが必要である。

- ①放射線治療の実務経験2年以上かつ治療品質管理に1年以上従事した者

ただし、理工系出身者にあつては、以下の施設において放射線治療関連の業務に2年以上従事していることが条件とされている。（放射線医学総合研究所、癌研究会癌研究所、国立がんセンター、公立がんセンター、大学（付属）病院放射線科・放射線腫瘍科、粒子線治療施設、がん診療連携拠点病院、その他機構が認めた施設）

- ②下記のいずれかの資格を持つ者

- (1) 日本医学物理士認定機構の「医学物理士」
- (2) 日本放射線治療専門放射線技師認定機構の「放射線治療専門放射線技師」

上記の申請資格を有する者に対して講習会を行い、修了者が認定される。認定は年1回となっている。また資格の更新は3年ごとに必要であり、以下の条件を満たすことが必要である。

- ①更新までの3年間に放射線治療品質管理機構が主催する講習会を最低1回受講すること
- ②放射線品質管理機構が主催する講習会と放射線品質管理機構を構成する団体が主催し、放射線

品質管理機構が認定した講習会を合わせて毎年1単位取得すること

3-3 放射線治療品質管理士の役割

放射線治療品質管理士は、放射線治療の品質管理に関わる作業を自ら責任を持って行うとともに、品質管理の観点からの病院全体の業務の監督、連絡・支持の伝達周知管理部門への改善措置の提案する。それぞれの現場での自主的な品質改善活動（狭い意味での「品質管理」だけでなく、「放射線治療の質」自体の向上を目的とした幅広い活動）を行う。

その業務内容は次の通りとされている。

- ①放射線治療装置のQAプログラムの立案と実行
- ②放射線治療計画装置のQAプログラムの立案と実行
- ③治療計画システムに入力するデータ作成と指示と、全てのコンピュータ線量測定計画のチェック
- ④実行するべきテスト、許容度とテスト頻度を含み治療計画の施設QAプログラムの決定
- ⑤QAプログラムにより判明する矛盾や問題を理解して適切に対応する
- ⑥治療装置・治療計画装置のQAプログラムの様々な側面で、他の放射線治療品質管理に携わる者と協力
- ⑦機器導入に当たって放射線治療装置、計画装置の品質管理面からのプログラムの策定
- ⑧機器故障後の修理終了後の品質管理の立案と実行

3-4 まとめ

治療装置や治療計画装置の高精度化、多様化により照射技術は複雑なものとなっている。その中で照射精度を維持し、医療安全を確保するための放射線治療品質管理士の役割は大きい。自施設に合わせた品質管理プログラムを作成し、確実に実行すべきである。

4. 医学物理士

4-1 機構の目的

医学物理士は、1987年に日本医学放射線学会により認定制度が制定されている。医学物理士の目的は次の通りとされている。

- ①医学物理士の認定および認定の更新
- ②医学物理士育成教育機関の認定および認定の更新
- ③医学物理士育成教育機関における教育カリキュラムガイドライン策定
- ④医学物理士育成および能力の維持向上のためのセミナーなどの開催

医学物理教育では理工学系4大学院、放射線技術系10大学院、医学系10大学院の計24大学院があり、医学物理教育ガイドラインに準拠した教育が行われている。主に物理・工学の知識を活用して、放射線医療の臨床において最先端技術の導入、機器の受け入れ試験、コミッショニング、品質管理の計画、実施、評価を担当する。

4-2 医学物理士の認定制度

2012年12月1日現在で医学物理士の総数は673名とされている。この認定を受けるには、年1回の医学物理士認定試験および審査に合格する必要がある。受験資格は、日本医学物理学会の正会員であり、次の条件の一つを満たすこと。ここで業績評価点とは、医学物理士認定制度施行細則（以下、細則）によるものとする。

- ①機構認定の医学物理学大学院教育課程に在籍1年以上の者
- ②理工学系修士（取得見込みを含む）以上の学歴を有し、細則に定める業績評価点5単位以上を有する者
- ③放射線技術系修士（取得見込みを含む）以上の学歴を有し、細則に定める業績評価点5単位以上を有する者
- ④医学系研究科に設置された医学物理教育コース修士以上の学位を有し（取得見込みも含む）、細則に定める業績評価点5単位以上を有する者
- ⑤学歴によらず医学物理の発展に寄与したと特に認められ、かつ細則に定める業績評価点10単

表1：放射線治療部門における臨床業務分担表

業務内容	医師	診療放射線技師 (認定技師)	品質管理士	医学物理士
計画用 CT 撮影	○	○	×	×
輪郭入力	○	×	×	○
治療計画の立案	○	×	×	○
照射情報の登録	×	○	×	○
治療計画の確認	×	○	×	○
照射業務	×	○	×	×
QA プログラムの立案	×	○	○	○

位以上を有する者

- ⑥平成 24 年度までに理工学系学士の学位を取得し、医学における経験年数 3 年以上の者
- ⑦平成 24 年度までに放射線技術系学士の学位を取得し、医学における経験年数 2 年以上の者
- ⑧平成 22 年度までに診療放射線技師の免許を取得し、医学における経験年数 5 年以上の者
- ⑨平成 22 年度までに、医師または歯科医師以外で医学または歯学博士の学位を取得し、医学における経験年数 1 年以上の者

新規認定資格には、日本放射線学会または日本医学物理学会の正会員で、認定試験合格 5 年以内で約 2 年ほどの間に医学物理士業績評価実施要綱に従った業績評価の合計が 30 単位以上で、かつ教育課程ごとに設定されている医学物理に関わる経験年数が必要となる。

更新認定は 5 年ごとに更新を行い、日本放射線学会または日本医学物理学会の会員で過去二年間の医学物理士業績評価実施要綱に従った業績評価の合計が 30 単位以上のもの。

4.3 医学物理士の役割

日本医学物理学会から示されている医学物理士の業務は次の通りである。

- ①治療計画における照射線量分布の最適化および評価
- ②治療装置・関連機器の受け入れ試験（アクセプ

タンステスト）・コミッショニングの計画、実施、評価

- ③治療装置・関連機器の品質管理・保証の計画、実施、評価
- ④治療制度の検証、評価
- ⑤放射線治療の発展に貢献する研究開発
- ⑥医学物理に関する教育
- ⑦患者への放射線治療に関する医学物理的質問に対する説明

このように医学物理士は臨床業務以外に、研究開発や教育なども求められる。

4.4 まとめ

医学物理士は、放射線治療専門放射線技師、放射線治療品質管理士と業務内容が重複するところはあるが（表 1）、より優れた放射線治療を行うためお互いを理解し連携をとる必要がある。また治療計画の立案に関しては医師との連携により、最適なマージンや照射方向を設定することが重要である。また、装置の導入や更新時などでは医学物理士が中心となり、安全な放射線治療体制の構築に努めるべきである。

5. おわりに

本稿では、放射線治療に関連する認定について概説した。各認定制度ともに、安全で高精度な放射線治療を提供するという目的で活動している。各

施設において、それぞれの職種が連携して協力できる体制づくりが必要である。今後増えていく高精度放射線治療に対応するために、放射線治療に携わる者は積極的に認定を取得して、高度な知識と技術を持って、安全で確実な放射線治療を提供してもらいたい。

参考資料

- 1) 放射線治療品質管理機構. 「放射線治療品質管理に関する委員会」の提言 (中間報告と最終報告)
- 2) 川村 慎二. 「放射線治療技術—Basic Strategy—」シリーズ総括. 日本放射線技術学会雑誌 2012;68 (8) :1046-1049
- 3) 日本放射線治療専門技師認定機構. 日本放射線治療専門技師認定機構機関誌. 第1巻 第1号
- 4) 日本放射線治療専門技師認定機構 監修. 保科正夫 編. 放射線治療技術の標準. 東京: 株式会社日本放射線技師会出版会