

画像誘導（イメージガイド）放射線治療

# 腫瘍に 照準を合わせて

On-Board Imager（搭載型画像撮影）装置での治療の準備を行う **Bruno Sorcini** 博士（ストックホルムのカロリンスカ研究所）。

# リアルタイム画像撮影技術を利用した Dynamic Targeting™ IGRTによって、運動性のある腫瘍の位置を 先例に無い正確性で標的を定めることができます。

Jan-Olov Carlssonは、ストックホルム（スウェーデン）のカロリンスカ研究所で、医療用直線加速装置の下の治療台に横になっています。彼は2004年の初めに前立腺がんと診断され、これから今日の放射線治療を受けるところです。ロボットアーム上のX線システムは、身体の左右どちら側でも目的の位置までスライドし、身体の周りで回転して、腫瘍の正確な位置に照準を合わせ、画像を撮影します。コントロール室の臨床医は、腫瘍の位置がずれたかを確認するためにコンピュータがその治療画像とCarlssonの治療計画と一致させる様子を観察します。腫瘍は動いていました。Carlssonの腫瘍と放射線ビームを完全に一致させるために必要な座標が、数秒間で計算されます。その後治療技師がボタンを押すと、治療台が調整され、Carlssonが治療に適切な位置に設定されます。

60歳のCarlssonは、この日カロリンスカ研究所を訪れた多くの患者のうちの1人です。ここでは、Varian Medical SystemsのOn-Board Imager™（搭載型画像）装置を用いたイメージガイド放射線治療（IGRT）が行われています。IGRTにより、医師は腫瘍の位置を前例のないほど速く正確に確認し、それに照準を合わせることが可能です。

「IGRTは、放射線をより安全に照射するために正確性と安全性を大きく向上させました」と語るのは、早くからIGRTを採用している、ミシガン州デトロイトのHenry Ford Health Systemの放射線腫瘍学部長、Munther Ajlouni医師です。Ajlouni氏をはじめとする医師たちは、IGRTが多くのタイプのがんとの闘いに役立つ重要な武器になるであろうと期待しています。

「On-Board Imager装置では、腫瘍周辺の重要組織を回避しつつ、標的である腫瘍に放射線を当てていることを確認できます」と言うのは、ジョージア州アトランタのエモリー大学医学部（Emory University School of Medicine）放射線腫瘍学部門の医学物理部長、Timothy Fox博士です。

精度が期待どおりに向上すれば、現時点では外科手術や化学療法を必要とする小さな転移性腫瘍や病巣の治療に、毎日のX線画像撮影に誘導された放射線治療の利用が始まる可能性があります。Fox博士は、「IGRTによって、これまで治療されていなかったさまざまな病期の異なるタイプの腫瘍と闘うことが可能になるでしょう」と述べています。

2004年には、VarianのOn-Board Imager技術は、カロリンスカ研究所、Henry Ford Health System、エモリー大学だけでなく、アーラウ（スイス）のHirslanden Klinik、テキサス州ヒューストンのM.D.アンダーソンがんセンター、ニューヨークのメモリアルスローンケタリングがんセンター（Memorial Sloan-Kettering Cancer Center）、ジョージア州アトランタのPiedmont Hospital、カリフォルニア州パロアルトのスタンフォード大学メディカルセンター（Stanford

University Medical Center）、その他の主要ながん治療センターに導入されました。

これらの医療施設の医師たちは、Varianの新しい技術を前立腺腫瘍や脳腫瘍の治療の一助としており、また、膵臓および頭頸部のがんだけでなく婦人科の腫瘍にもこの技術の利用を計画し、あるいは利用し始めています。これらすべての応用では同じ目標が掲げられています：すなわち、ビームに被曝する健常組織の量を最小限に抑えつつ、腫瘍の排除に十分な量の放射線を照射する、ということです。

## なぜ、搭載型画像撮影なのか

標準的な放射線治療は多くの場合、人体組織内の通常の動きによって制限されます。患者が治療台に上がるたびに、骨の周囲の組織や器官は変化して固定されます。25~35日間連続の放射線治療中には、患者の体重が増減するため、臓器の位置の再設定が必要になります。さらに治療中にも、患者の呼吸によって、腫瘍が数センチ動くこともあります。

腫瘍専門医は、腫瘍の動きに対処するために照射野の大きさを増やす必要がありますが、これによって、腫瘍周辺の健常組織がかなりの範囲で放射線にさらされることとなります。周辺の健常組織で合併症が起らないようにするためには、残念ながら、放射線量を制限しなければなりません。場合によっては、腫瘍を根絶するために必要な最適量を下回ることもあります。

臨床医は現行の手順では、頻繁に高エネルギーの治療ビームを利用して、患者の位置決めと治療計画での調整に利用可能な画像を作成し、週単位で腫瘍の位置を確認するのが一般的です。高エネルギーの治療用X線ではなく、低エネルギーの診断用X線の画像撮影と調整が利用可能であれば、画像撮影と調整を毎日行うことで治療がより正確になるであろうと、多くの医師が考えています。エモリー大学のFox博士によれば、治療用X線では「高品質の診断画像は得られない」のです。

VarianのOn-Board Imager装置は、低エネルギーX線（治療用X線の約1/16）を使用して、はるかに高品質の画像を迅速かつ自動的に作成することにより、こうした問題を解決します。エモリー大学の臨床医は現在、前立腺、脳、中枢神経系のがんに対して400を超える放射線治療セッションで、がんの位置を正確に捉えるためにこの装置を利用しています。

## 応用範囲の広い装置

On-Board Imager装置では、X線撮影画像、透視画像やコンベームCT画像を作成します。それらは腫瘍と周辺の正常な軟組織との間のコントラストの優れた3Dが像を作成できる静止画像や、腫瘍の動きのX線動画を提供します。それぞれの患者の疾患の特徴に合わせて、最適な画像撮影技術を選択できます。

現在までのところ、On-Board Imager装置は主に、治療セッションの直前に腫瘍の位置のずれを追跡するために利用されています。ただし近い将来には、透視画像撮影をVarianのリアルタイム位置管理 (RPM™) 呼吸同期ゲイティング照射システムと併用して、治療セッション中の腫瘍の動きを追跡し、その動きに応じて位置を調整することが可能になると期待されています。同期ゲイティング照射システムは、呼吸による腫瘍の動きを追跡して、患者の通常の呼吸パターンの中で最適な瞬間にビームを照射できるようにします。腫瘍は呼吸により約2~4cm動くため、透視画像撮影と同期ゲイティング照射法を利用してこの動きを追跡すれば、ビームに曝射される健常組織へのマージンがかなり縮小される可能性があります。これは、肺がんや乳がんの治療では特に重要になります (9ページの記事を参照してください)。

On-Board Imager装置は、Varianの他のハードウェアやソフトウェア (治療計画策定や情報管理システムなど) と統合されて、同期が可能ないように設計されています。これらのハードウェアやソフトウェアはすべて、1つのデータベースを介して、お互い同士と、そして治療機器とリアルタイムで通信しています。こうした連携によって、画像撮影と治療の自動化および迅速な処理が可能になり、その結果、IGRT過程が短時間の実用的なものとなりました。

カロリンスカ研究所の放射線治療科長のIngemar Naslund医師によれば、同研究所でのOn-Board Imager装置の利用は増えていくであろうとのこと。「On-Board Imagerで得られる画像は品質が非常に良く、自動的に簡単に治療プロセスに組み込めるため、患者の多い放射線治療科でもこの装

置が利用できるのです」Naslund医師は、呼吸性運動の影響を受ける、腫瘍に埋め込んだ金マーカーを可視化するための透視画像の利用に、特に熱心に取り組んでいます。

On-Board Imager装置を利用している医師や臨床医によれば、毎日X線画像を撮影してそれに合わせて位置決めを行うための時間は、通常の治療で3~5分程度で、それほど長くはないそうです。

On-Board Imager装置により精度が向上するため、Varianの新しいTrilogy™直線加速装置を使用し、より短期間にわたって1日あたりの線量を増やすことによって、腫瘍を治療できる可能性が大きくなります (10ページの記事を参照してください)。「特に線量を増量する際に、正確な治療を確実に行うにはIGRTがとりわけ重要となるでしょう」と言うのは、ノースカロライナ州ダーラムのデューク大学メディカルセンター (Duke University Medical Center) のFang-Fang Yin博士です。Yin博士は、2004年のHenry Ford Health SystemへのIGRTの導入に尽力しました。

前立腺がん患者のJan-Olov Carlssonは、カロリンスカ研究所での25回の放射線治療のうち5回を終了したところですが、これまで問題はなかったと述べています。「ビームを照射する前に位置を調整できるのはすごいことです」と、Carlssonは言っています。「あとは副作用が少なくなることを望んでいます。最新技術を導入した治療は大歓迎です。それが、放射線を当てるべきところに正確に当てる技術ならなおさらです」●

## ON-BOARD IMAGER装置のしくみ

X線管

ロボットアーム

直線加速装置

フラットパネル画像検出器

ディスプレイモニター/コントロールコンソール



### 直線加速装置用のVarianの

On-Board Imager装置には、ロボットアームが利用されています。このアームは、三方向の運動軸に沿って、X線管とフラットパネル画像検出器の位置を患者の反対側に設定します。画像撮影コンポーネントは、画像の角度を最良に保つために、ミリメートル以下の精度で正確に配置されています。

### X線管は、高品質の画像に必要な低線量X線を発生させます。

フラットパネル画像検出器がX線を検出し、高品質のリアルタイム画像に電子的に変換します。この画像は瞬時にモニターに表示されます。腫瘍の位置を正確に把握するには、複数の角度からの画像が必要です。

### Varianのソフトウェアは、

On-Board Imager装置からのリアルタイム画像を参照画像と比較して、治療ビームと腫瘍との位置を合わせるために患者を動かす必要があるかどうかを決定します。コントロールコンソールのボタンを押すと、患者の位置が自動的に調整されます。この全工程が終了するまでにかかる時間は3~5分です。

### 臨床医は、On-Board Imager装置

で発生する撮影 (静止)、透視 (動画)、またはコーンビームCT (3D) 画像によって、腫瘍を正確に捉えた最適な画像を見ることができます。



乳がんを克服したKaren Metz。主治医のFrancine Halberg医師とMarin Cancer Instituteにて。

# 呼吸同期 ゲイティング照射法： 運動性標的の治療

米国国立がん研究所（U.S. National Cancer Institute）によれば、肺がんは依然としてがんによる死亡原因の第一位であり、15%未満という5年生存率は、過去30年にわたってほとんど変化していません。しかし、Varianの新技术である「呼吸同期ゲイティング照射法」は、患者と医師の双方に、より積極的で有効な治療に対する希望を与えるものです。

呼吸同期ゲイティング照射法を利用すれば、患者が呼吸する際の約4cm（1.5インチ超）もの腫瘍の動きを追跡することができます。世界中で既に300を超えるがん治療センターに導入されているVarianのRPMT™（リアルタイム位置管理）同期ゲイティング照射システムは、赤外線カメラと、患者の横隔膜上に取り付けられた特殊なマーカーを使用します。治療セッション中だけでなく、治療計画策定のためのCTスキャン撮影時にも、呼吸をモニターできます。医師はこれを見ながら、ビーム照射を開始すべき呼吸サイクルの中の最適な瞬間を選ぶことができます。その結果、腫瘍周辺の治療マージンを大幅に縮小することが可能になり、周辺の正常な組織を傷つけることなく線量を増やすことができます。

「これまで、治療範囲にがんを確実に含めるため、どの場所でも腫瘍周辺に3~5cmのマージンを設けてきました」と語るのは、ニューヨークの聖ヴィンセント総合がんセンター（St. Vincent's Comprehensive Cancer Center）の放射線腫瘍学部長であるAnthony Berson医師です。呼吸同期ゲイティング照射法を用いることにより、マージンは1~2cmに縮小

されました。「これは非常に大きな改善です」

同時に、総線量も増やすことができます。Berson医師は、「我々の最初の目標は、線量を10~20%上げることです」と言っています。「まだ、長期的な結果については言えませんが、線量を上げることによって腫瘍をコントロールできる確立も上がるだろうと、我々は考えています」

カリフォルニア州グリーンブレのMarin Cancer InstituteのFrancine Halberg医師は、左側の乳がん呼吸同期ゲイティング照射を行いました。左の乳がんの場合、正確に腫瘍に照準を合わせることで、心臓組織への放射線の照射が回避され、それによる副作用を防止できます。肺がんのための呼吸同期ゲイティング照射プロトコルでは、「通常、患者が息を吐ききった時点での照射が試みられています」と、Halberg医師は述べています。「これは非常に安定したタイミングであり、呼吸サイクルのその他の瞬間に比べて非常に一定しています。ただし、乳がんの場合、息をいっばいに吸い込んだ時点で治療を行います。その時点で乳房が心臓から最も離れるからです」

Halberg医師は、乳房摘除後の乳がん患者に、20数例を超える呼吸同期ゲイティング照射を行ってきました。「乳房への放射線治療後の再発のリスクはほとんどありません」とHalberg医師は言っています。

聖ヴィンセント総合がんセンターでは、過去3年間に300人を超える患者に対して呼吸同期ゲイティング照射が行われました。Berson医師のチームは、肺がん以外にも、膵臓、胃、肝臓など、患者の呼吸とともに動く臓器を含む上腹部のがんの治療に、呼吸同期ゲイティング照射法を用いてきました。Berson医師によれば、このような場合、化学療法を併用する従来の治療法では広い照射野が必要となるため、その結果、合併症発生率が高くなるということです。「こうした状況では、照射野の範囲を狭めることで、望ましくない合併症の発生率を下げるすることができます」

呼吸同期ゲイティング照射法による大きな改善は、医療施設の実務に支障をきたさず、容易に実現することができます。「我々の施設は患者数の非常に多い地域病院であり、やるべきことは山積しています」と、Berson医師は言います。「毎日、多くの患者を診察しています。呼吸同期ゲイティング照射法による治療は、ごく普通の日常診療の一部となっています」●