

【放射線治療研究会】

平成 26 年度放射線治療研究会報告

今年度の夏季学術大会における放射線治療研究会は「IGRT」をテーマにして開催した。

参加者は午前 92 名，午後 82 名であった。

近年の放射線治療において放射線治療技術の進歩により安全かつ確実に医療を行うことが可能となり，定位放射線治療や強度変調放射線治療等の高精度放射線治療が多くの施設で施行可能となった。如何に厳密な治療計画を立案しようとも実際の治療が意図した通り行わなければ意味がない。また，腫瘍は予想以上に動いていることが多いため，高精度で正確な位置に放射線を照射する技術が非常に重要となる。

講演 I として IGRT の基礎に関して我々技師として IGRT を取り扱うにあたり知っておかなければならないことについてわかりやすくご講演いただいた。また，後半は各社 IGRT システムの取り扱いについてユーザー目線でのHow toについてご紹介いただいた。今後，治療装置更新及び新規導入予定の施設ならびに導入して間もない施設の皆様には有用な情報を得る機会になったのではないかと思います。

本報告書では夏季学術大会のプログラムを記載し，詳細な内容に関しては座長集約と演者の後抄録を参照して頂きたい。

また，前日開催されたパネルディスカッションでの講演発表の後抄録についても掲載する。

代表世話人 広島県健康福祉局 山田 聖

第 15 回夏季学術大会放射線治療研究会

日時：平成 26 年 7 月 6 日（日）

場所：保健学科 301 号講義室

【講演 I】 10:00～11:00

司会 岡山大学病院 青山 英樹

「IGRT の基礎」

関門医療センター 田辺 悦章

【テーマ】 「各社 IGRT について」

司会 岡山大学大学院 笈田 将皇

午前 11:00～12:30

Varian 広島大学病院 中島 健雄

BrainLab 徳島大学病院 佐々木 幹治

昼休憩 12:30～13:30

午後 13:30～15:00

Siemens 関門医療センター 田辺 悦章

Elekta 大阪市立大学 中田 良成

日本放射線技術学会 中国・四国部会

第 15 回 夏季学術大会

日時：平成 26 年 7 月 5 日（土）

場所：ピュアリティまきび

パネルディスカッション 14:50～17:10

テーマ「脳腫瘍における画像診断から治療まで」

5. 脳腫瘍における高精度度放射線治療の実際

広島平和クリニック 藤本 幸恵

講演 I 座長集約

講演名：IGRTの基礎

座長：青山英樹（岡山大学病院 医療技術部放射線部門）

演者：田辺悦章 先生（関門医療センター 放射線科）

第15回 中国・四国部会夏季学術大会 放射線治療研究会のテーマは、画像誘導放射線治療（image guided radiotherapy, 以下IGRT）に関する内容で開催された。数年前には“高精度技術”として位置づけられていたが、現時点では機器の著しい進歩により常識的な感覚で日常臨床に用いられている。このような技術を簡便に提供できることは、ユーザーおよび患者にも非常に有益である。しかし、歴史的な背景や原理、基礎技術を十分に理解して使用することが大切であることは放射線治療技術に携わるものであれば誰もが理解できることだと思われる。そこで、本研究会の講演の概要は、トップバッターとして関門医療センターの田辺悦章先生に“IGRTの基礎”というテーマで講演依頼させて頂き、続いて商用化されている各社のIGRTシステムに関する原理、注意事項についての講演が行われた。田辺悦章先生による講演の冒頭では、各施設での放射線治療計画におけるマージン設定の考え方に関する内容について説明され、撮影回数、蓄積された数値データの扱い、off-lineまたはon-line collectionの決定、不必要なIGRTを控えた作業効率向上の模索に至るまでの一連の説明が文献紹介を交えながら丁寧に行われた。各施設における“撮影基準の決定”という内容は、従来から議論されているが施設事情（スタッフ数、患者数）により様々なプロトコルが運用されているのが現状だと予測され、イメージガイドシステムの欠点を把握した上手な運用によりスループットを向上させ、高精度なセットアップが実現可能であることの理解が深められた。続けて講演の本題に入り、IGRTに関する①装置

精度、②患者セットアップ精度、③ターゲット変化、これら三要素の重要性が強調された。まず、装置精度に関しては、各社（ElektaおよびVarian：kV-CBCT、Siemens：MVCT）の異なる特徴を把握しての“Sub millimeter”での精度管理が重要であることが述べられ、我々が使用する最新のシステムが本当に高精度なものなのかを確認すべきと聴講者に強調された。加えて、使用する線量（被ばく）、画質、画像照合系と照射系での確認をImage Jを用いての解析を紹介された。次に、患者セットアップ精度に関し、臨床経験および文献を交えながら講演が進められ、現在使用されている様々な固定具に関する各特性と解剖学的な構造の理解を深めての使用を強調された。例として挙げられたのが頭頸部のセットアップであり、屈曲・伸展・側屈・回旋が存在するのは聴講者を含めた我々全員が経験していることであり、どの領域の保持が大切かについてセットアップエラーの事例についてEPID画像を交えながら紹介され会場内の聴講者を含めて再確認する良い機会を与えて頂いた。最後に呼吸性移動を例としたターゲット変化に対応する各システム（RPM、RT-RTシステム、Real-time Beam alignment）についての紹介が行われた。本手法に関しては、多くの課題が残っており、各施設での対応は様々な印象を受けた。演者の施設では仮想四次元CT画像（加算平均画像）を利用しての対応を紹介され興味を引くものであった。講演のまとめでは、“画像照合の独立検証（取得画像の見直し）”の大切さを述べられ、IGRTについての再勉強が必要だと自身で感じ、貴重な時間を過ごせた。

IGRTの基礎

独立行政法人 国立病院機構 関門医療センター 田辺 悦章

【はじめに】

近年、強度変調放射線治療のような高精度放射線治療は、画像照合、確認を主体とした画像誘導放射線治療（IGRT）のもとに成り立っている。IGRTでは、患者依存や技師依存の臨床な側面と装置の幾何学的構造等による物理的な側面がある。双方に調整限界があり、その限界や変化を適切に把握し、治療していくのは重要である。それらを把握し、医師と技師間で施設基準（照合回数、線量、照合方法など）を決定することや、位置照合の精度（装置の限界、方向依存性など）を高める調整、管理も必要である。

IGRTではターゲットの変化などの患者依存のエラーや、サギングなどの装置依存のエラー、セットアップによる歪みなどの技師依存のエラーがある。これらのエラーには systematic error と random error があり、画像照合で修正できるものとできないものがある。照合しにくいエラーをいかに減らすかが、照合方法の工夫であり、品質管理である。

【施設基準の決定】

画像照合回数を決める上で、施設や治療方法を考慮して、治療医と相談し決定していく必要がある。装置の収集方法（onlineやofflineなど）や、治療医の決定するPTVマージンは、収集回数、条件を決定するための重要な因子である。PTVマージン内の不必要な撮影による被ばくは、理想的な計画分布を変化させる可能性がある。

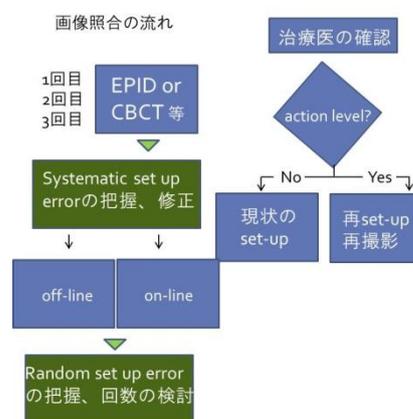
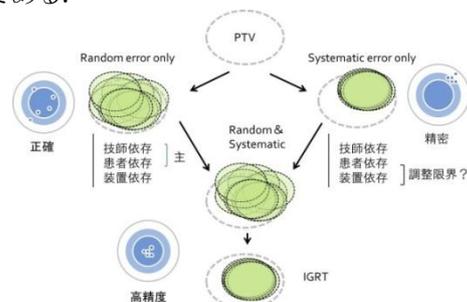
照合時のエラーの分析は、原因が患者固有（皮膚のたわみや体型の変化など）なのか、装置固有なのかなど、今後の精度を向上させるうえで重要である。

また、治療医と事前にどのようなずれで再セットアップを行うべきか action level を決定することで、主観の少ない照合ができ、治療効果と整合性がとれた治療が継続できる。

【IGRTに関わる要素】

IGRTを精度よく行うには、装置の精度を理解したうえで、セットアップ等の技術を高めて、ターゲットを正確にとらえる必要がある。

ターゲットの変化は呼吸性移動や蠕動、腫瘍の縮小や体型変化などがあり、計画時からの変化は照合を困難にさせる。装置精度は、2D/2D match や3D/3D match など個々の特性があり、照合系と照射系の軸の調整など品質管理が、照合精度に直接的に影響してくる。技師のセットアップは、もっともエラーの大きくなる要因であり、捻じれやゆがみなど技術、固定具の選択によっても違いがある。技師間での情報共有、トレーニングが必要である。視覚的照合におけるランドマークの位置などの検討など、個人差を少なくする努力も必要である。



参考：On target: ensuring geometric accuracy in radiotherapy

【さまざまな照合システム】

いくつかの照合装置があり、それぞれに特性がある。Gantry mounted systemのなかには、照合系と照射系の座標に相違があるシステムがある。加えて、CBCTとEPIDとの位置座標の違いもあり、表示された画像はどのような補正（フレックスマップなど）が行われているか理解する必要がある。

照射系と照合系の回転軸には、調整された誤差の重心があり、その調整結果は装置の受け入れ試験時に確認し、施設毎で把握すべきである。

【視覚的照合と自動照合】

KV領域とMV領域での画像は、光子と物質との相互作用（光電効果、コンプトン効果）が異なるため、その画像結果が異なる。その照合画像に対して視覚的照合を行うとき、解剖学構造の特徴や強度（濃度）、勾配をもとに照合を行っている。自動照合においても主にこの3つの特徴量から位置合わせを行い、その合わせ方はメーカー依存があり、精度に違いがある。

照合方法にも線形と非線形の照合があり、線形の照合における平行移動は、3軸カウチで対応でき、回転、斜めの移動については6軸カウチが必要である。非線形の照合は、照合に加えて体型等の変化に対応した線量分布計算も可能となり、照合と同時に再計画可能なadaptive radiationが期待されている。

【セットアップ方法】

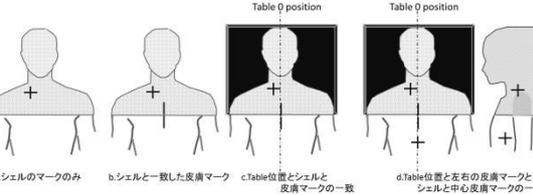
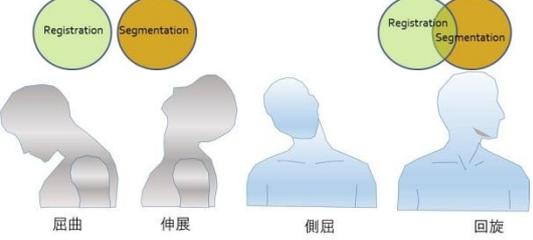
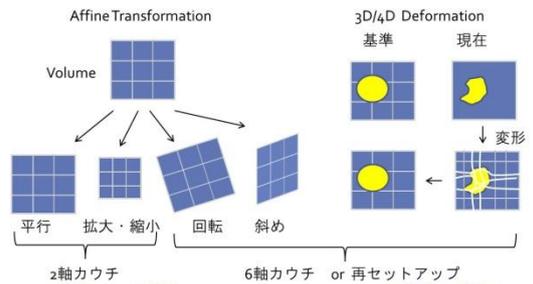
治療計画時と同じ体位で撮影することで、マッチング精度は向上する。再現性のよいセットアップのコツとして、解剖学的構造上の可動領域、可動範囲が一助となる。例えば、頭頸部では口の開口から頸椎の屈曲や伸展、回旋、側屈がある。その支配領域は異なり、屈曲や伸展の約50%は後頭骨とC1の間で行われている。このような解剖学的構造による可動範囲、領域に対して、ネックサポートやvacuum lock、正中・胸部へのマーキングなど空間的に保持しやすするセットアップ方法を検討することで、より理論的に再現性を高めることができる。

【さまざまな追従システム】

ターゲットの位置を正確にとらえ治療するシステムはいくつかある。治療時間が生物学

的効果に影響することがあり、システムに加えて、さらに工夫することで治療効果を高めることができる。呼吸トレーニングの併用やVan Herkらの呼吸システムのマージンの設定(0.25A(caudally), 0.45A(cranially)A:peak-to-peak amplitude)など、システム毎で最適なマージン等を各施設で検討していくべきと考える。

また、照合画像結果は治療期間中の腫瘍サイズの変化や、体型の変化などの治療線量に関わる付加情報も多い。この照合画像を照合後にさらに独立的に画像情報やセットアップ情報を検証していくことで治療精度を高めていくことができる。



【最後に】

IGRTでは、一般的に画像取得時の瞬間的に評価となりやすい。大切なことは、治療期間中、照射時間中に治療計画と同じ体位で治療できることである。久留米大学病院で取り組まれているような小児専用シェルを用いることで、小児においても照射時間中に快適に精度よく治療する取り組みは学ぶべきことが多い。

【参考文献】

1. On target: ensuring geometric accuracy in Radiotherapy, The Royal College of Radiologists Institute of Physics and Engineering in Medicine Society and College of Radiographers
2. "4D" IMRT Delivery, Gig S. Mageras, Ellen Yorke, Steve B. Jiang
3. Deformable Image Registration: Methods and Endpoints, Marc L Kessler, The University of Michigan
4. Inter And Intra Fraction Patient Positioning Uncertainties For Intracranial Radiotherapy: A Study Of Four Frameless, Thermoplastic Mask-Based Immobilization Strategies Using Daily Cone-Beam CT, Erik Tryggestad, Matthev Christian, Eric Ford, Carmen Kut, Yile, Giuseppe Sanguineti, Danny. Song, Lawrence Kleinberg., Radiation Oncology Biol. Phys., 2011, Vol. 80, No. 1, pp. 281-290
5. A review of 3D/2D registration methods for image-guided interventions, P. Markelj, D. Tomaz̃evic̃, B. Likar, F. Pernuš, Medical Image Analysis 16 (2012) 642-661



久留米大学病院 画像ご提供
淡河恵津世先生、大倉順技師様、ありがとうございました

参考: Deformable Image Registration Method
and Endpoint Marc L kessler

テーマ 座長集約

各社 IGRT システムについて

【午前の部】 11:00～12:30

【午後の部】 13:30～15:00

座長：岡山大学大学院保健学研究科 笈田将皇

- | | | | |
|-------------|----------|-------|----|
| 1. Varian | 広島大学病院 | 中島健雄 | 先生 |
| 2. BrainLab | 徳島大学病院 | 佐々木幹治 | 先生 |
| 3. Siemens | 関門医療センター | 田辺悦章 | 先生 |
| 4. Elekta | 大阪市立大学 | 中田良成 | 先生 |

近年、放射線治療では患者セットアップにおいてイメージガイドによる位置照合を介した放射線治療(画像誘導放射線治療)が一般的となり、システム統合された放射線治療機器の導入が急速に進んでいます。

本シンポジウムでは、現在、流通している各社 IGRT システムについて4名の先生にご発表いただき、会場の参加者と共に議論を行いました。

まず、午前の部では、広島大学病院の中島健雄先生から、Varian 社製の IGRT システムである True Beam™ に関する紹介ならびに実際の臨床での運用について発表していただきました。このセッションでは、従来システム (Clinac iX シリーズ) との OBI システムとの性能比較や被ばく線量の違いについて触れられ、わかりやすい説明がありました。続いて、徳島大学病院の佐々木幹治先生から、BrainLab 社製 Novalis Tx™ の IGRT システムである ExacTrac™ に関する紹介ならびに実際の臨床での運用について発表していただきました。

午後の部では、午前の部に引き続いて関門医療センターの田辺悦章先生から、Siemens 社製の IGRT システムである ARTISTE™ に関する紹介ならびに実際の臨床での運用について発表していただきました。このセッションでは、2012年よ

り Siemens 社が放射線治療部門を縮小し、Varian 社と提携したため ARTISTE™ 以降の新規リニアック装置の開発は停止しているとの説明がありました。また、独自の技術である MVCT では Carbon ターゲットの有用性について紹介していただきました。最新技術として、海外における FFF や VMAT の研究開発について触れられました。

最後に、大阪市立大学の中田良成先生から、Elekta 社製の IGRT システムである Synergy™ に関する紹介ならびに実際の臨床での運用について発表していただきました。このセッションでは、QA/QC の話題とともに特に最新 MLC である Agility™ の QA に関するピットフォールについて触れられ、参加者の質疑ともに丁寧な説明がありました。

本シンポジウムでは、各社の特徴について発表していただき、無事、盛況裡に終わりました。今後、新しい放射線治療システムを更新・導入する施設において有用な情報を得る機会となったのではないかと思います。また、今回の話題提供を契機として、より詳細な特性や臨床応用に関する内容に関しては、今後の学術大会での発表が期待されました。

各社 IGRT システムについて～VARIAN～

広島大学病院 診療支援部放射線治療部門 中島健雄

VARIAN 社の IGRT システムは、Clinac シリーズに搭載可能な MV 照合用の EPID, KV 照合用イメージシステムである On Board Imager (OBI), および TrueBeam シリーズにシステムとして統合された EPID, KV イメージシステムがある。IGRT の手法には 2 次元画像を用いた 2D/2DMatch, KV イメージによる CBCT 画像を利用した 3DMatch があるが、今回はこの CBCT 機能について焦点を絞って記した。

CBCT はガントりに附属の kV イメージャを用いて、ガント리를回転させながら円錐状 (ConeBeam) の X 線でイメージを取得し、再構成して、CT ボリュームデータを取得するものである。リニアックに付属しているため治療直前、直後の撮像が可能であり、これによりこれまでの 2 次元、骨構造を主とした照合に代わって、3 次元的に軟部組織や腫瘍による照合等が可能になり、より確実かつ正確な治療が行えるようになった。当院においては前立腺 IMRT における膀胱、腸管ガス、便、前立腺、精嚢などの位置、容量等の確認、頭頸部 IMRT における、治療中の体型変化による耳下腺、皮膚などへの影響の把握、腫瘍の位置、容量等の確認、体幹部 SBRT における、TACE 後の残存リポドールを利用したターゲットそのものへの 3 次元照合などにルーティンで活用している。

CBCT はこのように有用なデバイスであるが、撮像に X 線を用いる以上被曝は不可避である。治療全体を通して毎回撮像を行うと、凡そ

0.6Gy から 1Gy の線量増加を来す。画質と線量はトレードオフの関係にあり、撮影回数と共に最適化を図っていく必要がある。

CBCT の QA については AAPM TG142 に示されているところであるが、視覚評価、ベースラインといった定性評価が基準となる項目もある。視覚評価の結果は観察者の経験、能力に依存するところも多い。誰もが同じように結果を出せて、効率的に運用可能な品質管理法を施設で決定する必要がある。市販ソフトを利用し QA 時間の短縮を図ることも一つの方法で、当院ではこれを積極的に利用し、客観的な数値で QA を行っている。

Adaptive Radiation Therapy (ART) は、将来進むべき放射線治療の姿であろう。毎回の CBCT 撮像結果を用いて日々の体型変化を考慮した吸収線量の推定や、更には日々の線量デリバリーを変化させ、より正確な線量投与などが実現できる可能性がある。しかしながら現在の CBCT の画質は決して満足いくものではない。現時点では、正常にメーカーのアクセプタンステストをクリアしているシステムにおいても、線量計算や Deformation にとても耐えられないような、三日月アーチファクト (crescent artifact), 不均一性といった画質の問題を抱え、そのまま臨床応用するには厳しい。とはいえ CBCT は現時点でも有用性が高く、これからの放射線治療において強力なツールであることは間違いなく、今後の発展を見守ってゆきたい。

各社 IGRT システムについて BrainLab

徳島大学病院 診療支援部 診療放射線技術部門 佐々木幹治

1. はじめに

徳島大学病院では、平成 22 年 3 月より NovalisTx (NTX) の臨床稼働を開始している。NTX では、IGRT システムとして BrainLab 社製の ExacTrac と ExacTrac Robotics が搭載されている。現在までの臨床使用経験を踏まえ、今回の報告では、BrainLab 社製の IGRT システム構成について、実際の使用方法およびデータ管理、そして QA/QC 手法についてまとめたものである。

2. BrainLab IGRT システム構成

BrainLab IGRT システム構成としては、ExacTrac と ExacTrac Robotics がある。ExacTrac の主要システムとしては、X-Ray generator unit, ステレオ撮影用 X 線管球, フラットパネル検出器, 赤外線カメラ (IR カメラ) があげられる。また、ExacTrac Robotics を使用することによってピッチ補正角度 $\pm 2.7^\circ$, ロール補正角度 ± 4 度までが可能である。

3. 実際の臨床使用方法およびデータ管理

ExacTrac は、それ自身では寝台情報を保有していないため反射マーカが必要であり、治療計画時に反射マーカを貼付することで、オートセットアップが可能である。また、位置照合画像撮影後に、操作室内より自動で適切な位置へ移動可能である。治療計画時に反射マーカを貼付しない場合においてもリファレンスアレイを使用することで位置照合後に寝台移動は可

能である。しかし、治療中の体動確認ができないことなどのデメリットがある。データ管理については、画像データは照合画像が DICOM 非対応であるため、スタンドアローンでの管理である。位置照合結果については、治療終了後に、当院の R&V システムである MOSAIQ へ PDF 形式で保存すると同時に外付け HDD へ CSV としても保存している。

4. QA/QC 手法

毎日の QA/QC としては、ExacTrac 専用のアイソセンタファントムとキャリブレーションファントムを使用し、赤外線カメラおよび DRR 生成角度の calibration を行っただけで、verification を行っている。毎月の項目としては、Linac 中心との位置ずれの確認と ExacTrac Robotics のピッチとロール角度である。

5. まとめ

ExacTrac を用いた IGRT では、インタープラントマーカを挿入しない限り、骨基準での照合となる。しかし、その他の IGRT 装置と比較した場合にスループットが良好であり、観察者間毎の位置照合結果に違いがないことが魅力的である。ただし、位置照合結果の評価が困難である。私見ではあるが、骨基準での位置照合においても、線量分布を担保できる部位については積極的に利用すべきであると考えられる。

SIEMENS の IGRT システムについて

独立行政法人 国立病院機構 関門医療センター 田辺 悦章

【はじめに】

シーメンス社のIGRTシステムの最大の特徴は照射系と照合系が同軸であるGantry mount system であることである。この開発コンセプトから、海外では照射系と180° 反対方向からのKV CBCTが可能なシステムや、国内ではカーボンフィルターを利用したkV like images CBCT systemがある。国内のシステムでは純粋なKVではないため画質面では劣るが、軸の違いによるずれが少ないのが他メーカーと大きく異なる。

【X RETIC】

シーメンス社のメカニカルアイソセンタを示す器具はしてX-RETICである。X-RETICを使用することで日々のQAやメーカーの調整が行われる。その項目としてFlat panelのアライメントの確認、画像評価ファントムの位置決め、メーカーによるソフトを利用した照合中心の調整（アライメントの調整）がある。

例えば、Flat panelのアライメント調整では異なるSIDとgantryにて108枚のX-RETICのポータル画像を取得して、ソフト上で1mm, 0.3° 以内の精度に自動調整している。この調整に対して、日々のQAとして当院では異なるSIDと4種類のgantry 角度(0°, 90°, 180°, 270°)で1mm以内の精度が担保されているか確認している。

【2点十字ワイヤ法】

当院の工夫としてガントリ、カウチ、コリメータ回転軸の精度を簡便に測定するため、2点十字ワイヤ法という手法を用いている。その方法としてアイソアラインをレーザーの中心に設置し、ガントリ、カウチ、コリメータの異なる角度で、X-RETICをEPID(electronic portal imaging device)にて撮影する。その撮影結果を装置のメジャー機能でアイソアラインの中心とX RETICの中心のずれを計測することでメカニカルアイソセンタのずれを評価する。

当院では、この手法で日々のQAとしてガントリ回転軸を測定しており、EPID画像を利用して1mm以上のずれを評価している。レーザー調整に許容値外の調整のため、5年間で3回の調整しかしていない。

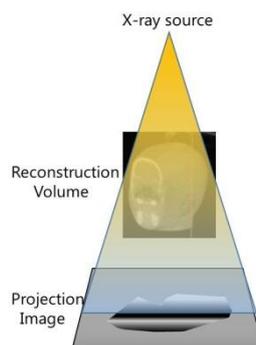
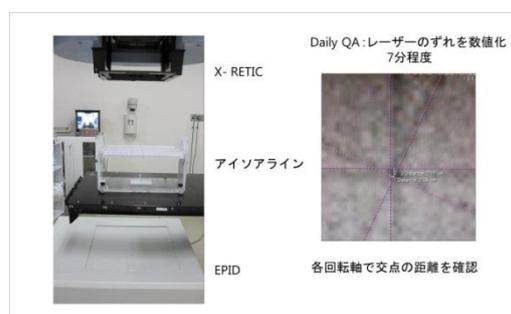
【CBCTの再構成方法】

CBCTの再構成方法としては、まず、EPID上で非減衰のビームデータを取得し、投影マトリッ

クスから3Dボクセル中心を画像平面に投影する。次に、各ピクセルの減衰係数とCT値を取得し、投影画像の各ピクセルに加重値を与えてフィルターをかける。その再構成ボリュームに対応するボクセルに逆投影を行い、画像を作成している。投影回数が多いほど、分解能は高くなります。このときカップリングアーチファクトの軽減のため、MV Gain Plateを利用して事前に補正データを取得している。また、Geometry Calibrationも行っている。

【Geometry Calibration】

Geometry Calibrationは、3次元の幾何学的配置の明確なファントムを利用して、EPID上に投影される2次元の投影された画像から、投影経路、位置を補正し、3次元の再構成ボリューム画像に必要な情報を取得します。この既知のファントムと2D投影データの計算されたマッピングを使用して、未知のボリュームの3次元座標位置の補正を行う。



【In line (kV like images) CBCT system】

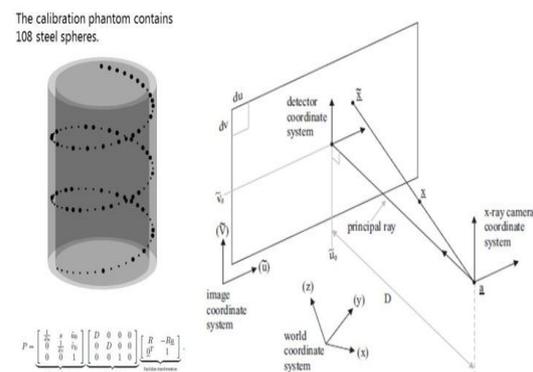
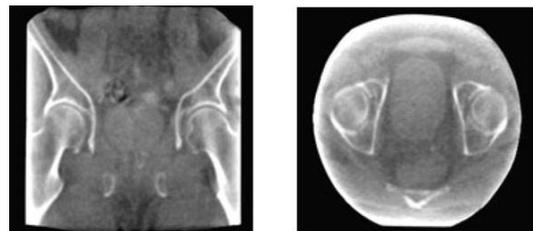
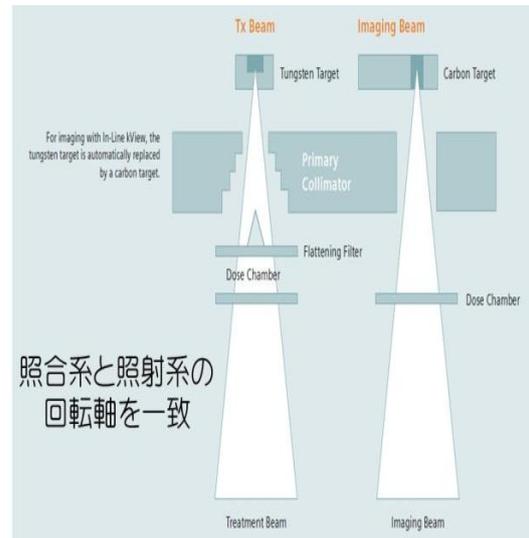
シーメンス社の特徴として、照合系と照射系の回転軸を一致させたカーボンフィルターと Flattening filterを除いたIGRTシステムがある。カーボンフィルターを利用することで、エネルギー領域をKV領域に近づけてよりコントラストの向上を図っている。しかし、他メーカーのKV systemに比べるとコントラスト分解能が低いいため、照合精度は低下する。

【最後に】

シーメンス社は、現在、放射線治療装置の開発を停止しており、数年後にEnd of support となる予定になっている。シーメンスの開発コンセプトである照合系と照射系の回転軸の一致は、異なる角度、回転軸によるわずかなずれがないため、私個人は理想的な照合システムと考える。今後、新たにシステムの装置開発が行われることを強く望む。

【参考文献】

1. Calibration of the Circle-plus-Arc Trajectory Stefan Hoppe, Frédéric Noo, Frank Dennerlein, Junter Lauritsch, and Joachim Hornegger
2. Dosimetry of an In-Line Kilovoltage Imaging System and Implementation in Treatment Planning Yvonne Dzierma, Dr. rer. nat., Frank Nuesken, Dr. rer. nat., Wladimir Otto, BSc, Parham Alaei, PhD, Norbert Licht, Dr. rer. nat., and Christian Rube, Prof. Dr. med. Radiation Oncol Biol Phys, Vol. 88, No. 4, 913-919, 2014
3. Artiste MVision Physicist Self-Led Training User Guide
4. Dosimetry of an In-Line Kilovoltage Imaging System and Implementation in Treatment planning, Yvonne Dzierma, Frank Nuesken Radiation Oncol Biol Phys, Vol. 88, No. 4, pp. 913-919, 2014



参考: Calibration of the Circle-plus-Arc Trajectory Stefan Hoppe

Elekta IGRT システムについて

大阪市立大学医学部附属病院 中田良成

Elekta IGRT システムは治療用 MV-X 線の検出器である iViewGT と、それに直交した位置照合用 kV-X 線のイメージングシステムの XVI で構成される。それぞれ 2 次元の撮影と透視、さらに XVI に関しては 3D, 4D の CBCT 撮影が可能である。

kV-X 線のイメージングシステムをリニアックのガントリに搭載した IGRT システムにおいては、MV の照射中心と kV の画像中心を一致させることが重要である。リニアックのガントリは加速管の sagging 等の影響により、機械的中心や照射中心は 1 点で収束することが無く、ある体積を有した領域に存在する。Elekta 社のリニアックの場合、約 2.5 m の進行波型加速管を採用しているため、定在波型加速管を採用しているリニアックと比較して、より慎重な精度管理が望まれる。MV の照射中心は Lutz テストにて確認し、レーザー照準器を調整する。この MV の照射中心位置は、ガントリの sagging や MLC や JAW の位置精度を加味したものである。位置照合用の kV 画像中心を MV の照射中心に一致させる技術は各リニアックメーカーにより様々であるが、Elekta 社の XVI では” flexmap ”と呼ばれる機能を用いてソフトウェア上で両者を一致させている。XVI の検出器は、ガントリ同様、sagging や物理的な取り付け位置の影響で変位が生じるため、検出器の機械的中心が MV の照射中心との位置関係は、ガントリ角度毎に変化する。この状態では、CBCT 画像にボケ等のアーチファクトが出現し、適正な画像再構成が困難となるため、検出器の機械的中心と Lutz テストにて規定された MV の照射中心との幾何学的なずれ量を補正データとして利用し、画像再構成時にソフトウェア上で両者を一致させている。この補正データが flexmap である。flexmap は経

時的な変化が小さく安定していることから、適正に調整された Elekta IGRT システムにおいては、MV の照射中心とレーザー、kV の画像中心との一致が長期間に渡り担保される。IGRT の最終的な精度を左右する治療寝台は、3 軸平行移動が可能な Precise table と 3 軸平行移動に加えて 3 軸回転の補正が可能な HexaPOD から選択可能である。駆動方式はそれぞれパラレルロボット方式、ポテンショメータ方式と異なっており、各々の動作精度を理解した運用や品質管理が必要である。

Elekta IGRT システムでは 2D, 3D, 4D の撮影による高精度な位置照合が可能である。例えば、治療期間中のある瞬間毎に iViewGT や XVI を用いた 2D, 3D 撮影を実施することで、患者毎の interfractional ならびに intrafractional の set up error や、治療部位毎や固定具毎の位置精度を評価することが可能である。また、呼吸性移動等の動きを伴う腫瘍に対しては、4D-CBCT を撮影することで照射中の腫瘍の動きを推定することが可能である。これらの IGRT 手法は、各々の照射技術に要求される位置精度や IGRT による被ばく線量や時間的制約など、臨床的意義を総合的に判断した上で選択すべきである。

現在の Elekta IGRT システムは 2D, 3D, 4D の様々なイメージングに対応したパワフルな構成であり、要求される照射技術に合わせて、適宜、デバイスや手法を選択できる。今後、FFF や Hypofraction 等の新しい照射技術が普及するとき、適切な固定具や治療期間中（照射中を含める）の腫瘍の位置と動きを把握することが、今まで以上に重要となり、Elekta IGRT の担う役割はさらに大きいものとなるであろう。

1. はじめに

脳腫瘍における高精度放射線治療では、物理や技術的な問題だけではなく、画像診断や臨床的な知識が必要不可欠である。本パネルディスカッションでは日々臨床業務を通して学んでいることを中心に、4つの話題で述べさせていただいた。

2-1. 治療装置

当院は国内で初めて NovalisTx を導入し、2009年より臨床を開始している。この装置の最大の特徴は、図1に示す2種類の画像誘導放射線治療システムが搭載されおり床下のX線管球によるステレオX線撮影やリニアック側面のX線管球によるコーンビームCTを撮影することで高精度なセットアップを自動で行うことができる。当院ではこの2種類のシステムを症例によって選択している。

ExacTrac System (BrainLAB) は計画CT再構成画像 DRR と X線画像をレジストレーションすることで位置補正量を自動計算し、ロボット寝台で6軸方向の位置補正を1mm、1度以内で迅速に行うことができる。また、一般的なマルチリーフコリメータの厚さが5mmに対し、NovalisTxでは2.5mmの厚さと世界最薄であり、より小さな腫瘍のピンポイント照射が可能である。

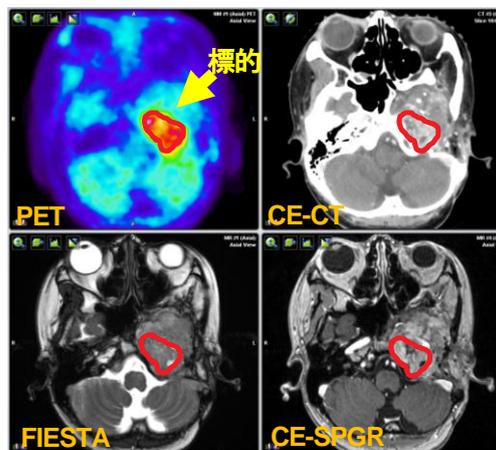


図1. NovalisTx の画像誘導システム

2-2. 治療計画

治療患者の内訳は約6割が転移性脳腫瘍、次いで多いのは原発性脳腫瘍、その他髄膜腫や頭蓋咽頭腫といった良性腫瘍も約2割含まれる。固定具は短期間で大線量を投与する定位放射線治療用と、通常分割の高精度用と2種類使用している。治療計画では図2に示すようにマルチモダリティの画像を利用しておりCT、MR、およびPET画像それぞれを治療計画装置でレジストレーションし、標的とリスク臓器の輪郭設定を行う。標的は治療医が担当し、リスク臓器は技師や物理士が担当している。また、当院ではFDG-PETの他にメチオニンやFLT-PETも積極的に行っており、これらは放射線治療後の再発鑑別などに有効である。

図2. 治療計画装置による輪郭設定



照射技術として強度変調回転照射(VMAT)を主に行っている。VMATの有用性の一例を図3に示す。頭部領域において通常の治療では高線量が偏るのに対しVMATでは腫瘍に対する線量集中性が向上し正常脳の線量を低減させることができる。



図3．頭部領域における VMAT 照射の有効性

2-3. フォローアップ

当院ではフォローアップに非常に力を入れており、週1日はフォローアップカンファレンスを行っている。1例を紹介するが、低悪性度グリオーマ術後の症例は浮腫が拡がり手術はリスクが高いということ、また、年齢も若く低悪性度で長期生存が望めることから当院に高精度放射線治療の依頼があった。VMATでは正常脳の線量を低減しつつ病巣部に集中した照射が可能であり、治療後2年の現在も経過は良好である。また、悪性リンパ腫にはMR濃染部に高線量、全脳に中等度の線量を同時に照射するといった複雑な照射も短時間で行え、この症例は治療後3年経過した現在もご存命である。このように正常脳が広範囲照射される症例では、特に高次機能の低下が問題とされている。そこで当院では認知機能試験として長谷川式とMMSEを行っている。

図4．治療前後のMR画像と認知機能試験結果

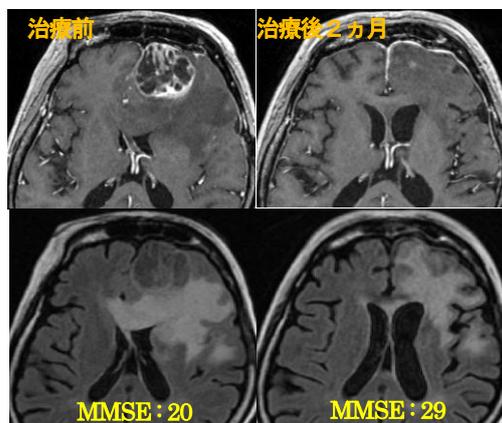


図4の症例は前頭葉に大きな腫瘍と浮腫が拡がる脳転移の治療前後である。認知機能試験は

総合点と同時にその内容に注目している。この症例では図形を複写する試験は治療前後でほぼ完璧に描けたが、文章を書く試験では治療前は本人も理解できない内容だった。しかし治療後のフォローアップでは実際に来院する際にしたということを即座に書かれた。この症例では、記憶や形の認識をつかさどる側頭葉には病変がなかったために図形は正確に描け、思考や意欲をつかさどる前頭葉に病変があったために文章が書けなかったものと考えられた。このようにわれわれは脳の機能を十分に理解した上で治療計画やフォローアップを行う必要がある。この領域は脳外科の先生から教わる事が多く日々勉強させて頂いている。

2-4. 品質管理

当院では VMAT の線量検証に四次元半導体検出器システム ArcCHECK (Sun Nuclear)を使用している。円筒型に配列された約 1000 個の半導体検出器によりファントム表面の線量分布を検証することができる。また、3DVH ソフトウェアでは ArcCHECK の測定結果から三次元線量分布や患者線量、臓器別線量ヒストグラムを解析することができるため、有効活用している。また、当院では他分野の方の協力と知恵をお借りしながら研究や開発にも力を注いでいる。それらを臨床にバックアップし、より良い医療が提供できるよう努力する必要があると考える。

3. おわりに

以上に述べたように、高精度放射線治療には解剖や生理学、画像診断や画像工学、物理学や線量測定、研究やソフトウェア開発など様々な知識が必要である。しかし、私たちが対象としているのはあくまで人である患者さんであり、またその家族である。当院の合言葉である「今日も笑顔で!!」を決して忘れず、患者さんに最善の治療が提供できるよう努力していきたいと思う。