

## 【放射線治療研究会】

平成 29 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のテーマは「放射線治療におけるリスクマネジメントと呼吸性移動対策」をテーマにして開催した。

参加者は午前 107 名、午後 96 名であった。

午前の部は、放射線治療におけるリスクマネジメントの総論として国立がん研究センター中央病院の岡本 裕之 先生をお招きして自施設のリスクマネジメント事例のご紹介と AAPM TG-100 のプロセスマップ、FMEA、FTA 等について解説して頂いた。また、会員からの報告として国内で使用されている代表的なリニアックのユーザー 3 名の先生に加速器のトラブルおよび装置故障に関するリスクマネジメントについてご発表頂いた。

午後の部は、放射線治療における呼吸性移動対策の総論として京都大学医学部附属病院の中村 光宏 先生をお招きして呼吸性移動対策の必要性と具体的な手法並びにその注意点について詳細に解説して頂いた。

また、会員からの報告として 4DCT における異なるデバイスの使用経験について、3 名の先生に各装置の特徴と臨床経験より得られた呼吸移動性対策を実施していくための工夫についてご発表頂いた。

本報告書では、夏季学術大会について、そのプログラムを記載し、詳細な内容に関しては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「肺がんの放射線治療と呼吸性移動対策」の後抄録についても掲載する。

代表世話人 広島がん高精度放射線治療センター 山田 聖

### 第 18 回 夏季学術大会プログラム

期日：平成 29 年 7 月 1 日(土) 14:30～16:30

場所：岡山大学 鹿田キャンパス 臨床講義棟 第一講義室

パネルディスカッション「胸部における撮像技術と最新治療」

2) 「肺がんの放射線治療と呼吸性移動対策」

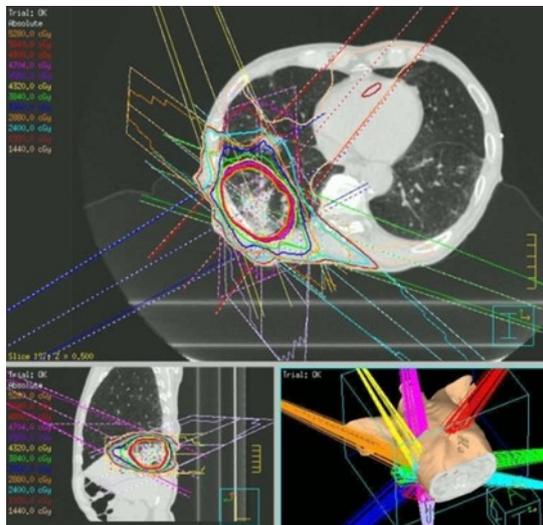
広島がん高度放射線治療センター 津田 信太郎 先生

近年の肺癌への放射線治療ではどの組織型、病期を問わず放射線治療の適用となる可能性があり、高齢化を反映して放射線治療を受ける患者が増加している。肺癌全体の 10～15% を占める小細胞肺癌は、放射線治療や化学療法感受性が高く、診療ガイドラインによると I 期の一部を除く限局型では化学放射線療法による加速過分割照射法が標準的治療法として勧められている。肺癌の 85～90% を占め

る非小細胞肺癌は一部の手術適応例を除く I A 期～III B 期が根治的放射線治療の対象となっており、I 期の手術不能例については線量増加や線量集中性を高めた定位放射線治療を行うべきと考えられている。

2004 年 4 月より保険収載になったこの照射方法は正確な体幹部の固定による高い照射精度や腫瘍の呼吸性移動対策が必要とされる。多くの施設では、1 回線量 12Gy を 6～10 方向

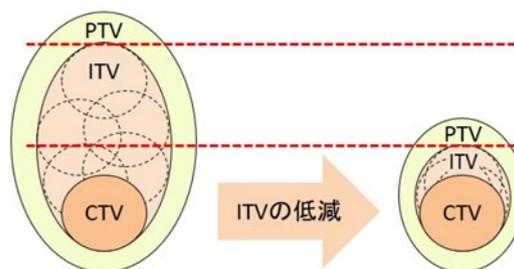
からの固定多門照射で合計 4 回 48Gy の治療が行われている。また、当院では1週間以内に終了させるスケジュールで行っている。



定位放射線治療の線量分布図

呼吸性移動対策は 2012 年 4 月から保険収載となった。肺癌は腫瘍の存在する肺の領域・位置によりその動きが変化するため X 線シミュレータなどを使用して呼吸性移動を評価・把握することが重要となる。放射線治療計画用 CT 画像は Motion Artifact の影響を低減する 4DCT を用いて腫瘍や正常組織の同定を行うことが推奨されている。放射線治療計画では

呼吸性移動に応じて適切な ITV (Internal Target Volume) の設定が求められ、呼吸性移動対策により ITV の低減と腫瘍への線量増加、正常組織に対する線量減少および有害事象の発生頻度の減少を図ることが可能となる。



これら呼吸性移動対策には呼吸抑制法、呼吸停止法など様々な手法があるが、それぞれの特徴により簡便さや時間的効率、ITV の低減度合からシステム導入にかかる費用やシステム検証など施設の呼吸性移動対策の考え方に合った方法を用いて運用することとなる。また、これら呼吸性移動対策は画像誘導放射線治療を組み合わせることも多く、ハード・ソフトともに様々なモダリティの進化を取り入れ、我々も機器の特徴・複雑な仕組みをよく理解し使いこなしていくことが大切になる。

第 18 回夏季学術大会 中国・四国放射線治療研究会

期日：平成 29 年 7 月 2 日(日) 10:00～15:30

場所：岡山大学病院 総合診療棟(西棟)5 階 第 14・15 カンファレンスルーム

【午前の部】テーマ：放射線治療におけるリスクマネジメント

司会：愛媛大学医部附属病院 山本竜次

【10:00～10:45】放射線治療におけるリスクマネジメント総論

国立がん研究センター中央病院 岡本 裕之 先生

【10:50～11:50】加速器のトラブルおよび装置故障に関するリスクマネジメント

Varian ユーザー	広島大学病院	奥村拓朗 先生
Elektra ユーザー	岡山赤十字病院	木村洋司 先生
Siemens ユーザー	川崎医科大学附属病院	樋口真樹子 先生

【11:50～12:15】総合討論

【午後の部】テーマ：呼吸性移動対策

司会：徳島大学病院 佐々木幹治

【13:15～14:00】放射線治療における呼吸性移動対策 総論

京都大学医部附属病院 中村光宏 先生

【14:05～15:05】呼吸性移動対策および 4DCT における異なるデバイスの使用経験

東芝社製 CT/RPM (Varian 社) 香川大学医部附属病院 大石晃央 先生

Siemens 社製 CT/RPM/Aches 徳島県立中央病院 杉本 渉 先生

Varian 社 4DCBCT (RPM) 山口大学医部附属病院 湯浅勇紀 先生

【15:05～15:30】総合討論

### 放射線治療研究会 座長集約

座長：愛媛大学医学部附属病院 山本竜次

【10:00～10:45】

放射線治療におけるリスクマネジメント総論

国立がん研究センター中央病院 岡本裕之

【10:50～11:50】加速器のトラブルおよび装置

故障に関するリスクマネジメント

Varian ユーザー

広島大学病院 奥村拓朗

Elektra ユーザー

岡山赤十字病院 木村洋司

Siemens ユーザー

川崎医科大学附属病院 樋口真樹子

【11:50～12:15】総合討論

近年、医療分野におけるリスクマネジメントの重要性がますます高まっています。本シンポジウムでは、その中でも放射線治療分野にターゲットを絞った内容で、講演や意見交換が行われました。

最初のセッションにおいては、国立がん研究センター中央病院より岡本裕之先生をお招きして、放射線治療におけるリスクマネジメント総論と題しまして、講演をしていただきました。

その概要ですが、リスクマネジメントの総論とし

て、実際の臨床現場で起こった事故などの実例を交えつつ、最近のトレンドになっている AAPM TG-100 についてのご紹介と、それに関連して、プロセスマップ、レポートニング、リスクアセスメントの重要性についてもお話していただきました。

次のセッションでは、加速器のトラブルおよび装置故障に関するリスクマネジメントと題しまして、それぞれ代表的な放射線治療機器メーカーの Varian, Elektra, Siemens の各ユーザーの先生方にお話ししていただきました。

Varian ユーザーの広島大学病院 奥村先生からは、故障実例とその対応、故障時の記録をノート形式から Excel 管理に変更した事による有用性、故障後の戦略を練る事の重要性などについて話をしていただきました。

Elektra ユーザーの岡山赤十字病院 木村先生からは、リモートメンテによる対応などを、故障実例を基にお話ししていただきました。そして、故障時にはメディアによる記録を行う事や、マニュアル作成や見直し、QA の重要性についてお話していただきました。

Siemens ユーザーの川崎医科大学附属病院 樋口先生からは、故障実例とその対応につい

て、院内の放射線治療業務マニュアルに沿ったお話と、情報共有の大切さについてお話していただきました。

最後の総合討論においては、3人の先生方に対して、会場の方からも矢継ぎ早に質問が繰り出されており、臨床現場に携わる方々の、リスクマネジメントに対する関心の高さが伺えました。

各施設におけるリスクマネジメントを考える上で、今回のお話しにもありましたAAPM TG-100は、大変参考になる内容であったかと思えます。過去に起こった事例を記録・分析し、次に生かすというプロセスは非常に重要です。またその流れの中で、職種間・スタッフ間での情報共有も必要不可欠となってきます。本シンポジウムの内容は、各施設でのリスクマネジメントをもう一度見直してみるいい機会と課題を与えてくれたと思います。

## 放射線治療におけるリスクマネジメント総論 国立がん研究センター中央病院

岡本 裕之 先生

### 【はじめに】

近年、放射線治療技術の進歩は目覚ましく、強度変調放射線治療をはじめとした高精度放射線治療が臨床導入され、患者さんに優しい放射線治療が実現できた。また、安全性においても、これまで手作業で実施していたプロセスが自動化され、ミスが起きにくいシステムを利用することができた。一方でプロセスの高度化により、コンピュータ依存度が増し、操作者のスキルが求められている。また、操作者とシステム間に大きな隔りがあるのが現状である（ブラックボックス化）。2010年にthe New York Timesで報道されたように、コンピュータトラブルによる悲惨な放射線治療事故が起きた<sup>1)</sup>。米

国医学物理士会ではこれまでとは異なるガイドラインTask group 100<sup>2)</sup> (TG-100)を刊行し、エラーを防ぐためのリスクマネジメントとリスクを事前に評価し放射線治療事故が起きる前の体制構築について提言している。

### 【TG-100の推奨活動】

TG-100では、高度化・複雑化する放射線治療に対し、効率的でかつ効果的な品質マネジメントの取り組みを提案している。1つは放射線治療プロセスマップである。すべてのプロセスを可視化し、職種ごとの作業内容、連携、プロセス間の流れを模式図で表したものである。一般的にはフィッシュボーンスタイルと呼ばれるプロセスマップが利用される。また、リスクの高い事象を洗い出すために、レポーティングシステムの利用を推奨している。さらに産業界で製品の品質改善のために用いられているリスク分析の導入も含まれる。リスク分析とは、全体の工程に対してリスクを洗い出し、リスクを数値化する手法である。例として、故障モード影響解析（FMEA, Failure Mode and Effect Analysis）、故障の木解析（FTA, Fault Tree Analysis）について述べた。目的としては事故が起きる前にリスクの高い事象を抽出しプロセスの改善を図ることである。

### 【当院の取り組み】

当院では長年レポーティングシステムを運用し、各ステージで起きた事象を報告し、リスクの高い事象の共有とプロセスの改善に努め、日々エラーに対する堅牢性の高い放射線治療体制を目指している。また、最近の取り組みとしては、職種間の連携を強化するために放射線治療工程研修をはじめた。各職種が集まり、患者を模擬したファントムを用いて、固定具を作るところから照射するところまでのすべての放射線治療工程を確認し、手技とルールの

確認と過去のインシデントの共有を図っている。

#### 【おわりに】

講演ではTG-100の利点と欠点、そして当院の取り組みについて述べた。リスク分析については、臨床現場でのエビデンスが十分に無いため未だ専門家同士の議論が必要である。今後、医学物理士と診療放射線技師が協力してリスク分析を放射線治療に導入し関連学会等で問題点などを共有してもらいたい。

#### 【参考文献】

- 1) Radiation Offers New Cures, and Ways to Do Harm, the New York Times, <http://www.nytimes.com/2010/01/24/health/24radiation.html> (last access date 2017/8/9)
- 2) Hu MS, Fraass BA, Dunscombe PB, et al., The report of Task Group 100 of the AAPM: Application of risk analysis methods to radiation therapy quality management. Med Phys 2016; 43(7): 4209-4262.

### 加速器のトラブル実体験および装置故障に関するリスクマネジメント

～Varian ユーザー～

広島大学病院 奥村 拓朗

#### 【はじめに】

近年、放射線治療方法の高精度化に伴い、放射線治療装置は高度化している。また、AAPM TG-142 にも代表されるように高精度放射線治療法では、従来に比し精度管理項目も多岐に渡っている。そのため、治療装置のトラブルも様々な事象が発生するようになっている。今回我々は、装置トラブルに関する当院の現状、トラブル事例およびリスクマネジメントに関して報

告を行った。

#### 【当院の現状】

当院では治療装置のトラブルが発生すると、ダウンタイムに応じてレベルを 5 段階に分け、そのレベルに応じて患者対応や連絡を行なう担当者を分けている。レベル 1 はダウンタイムが少なくユーザーで対処可能な軽微なエラーであり、レベル 2～4 はメーカーのサービスマン対応ではあるが 1 日以内に対処可能な事象であり、レベル 5 は復旧に 1 日以上要するものである。当院の特徴として、レベル 5 の事象が発生した場合は医師・放射線技師・看護師そしてサービスマンを含めたメンバーで臨時 QA 委員会を開催し、現状の確認や患者対応、復旧対応について報告、話し合いを行なうこととしている。

また、当院では治療装置のトラブルが発生した場合の記録として、エクセルを用いたデータベース化を行ったうえで、情報共有を図っている。記載事項としては、インターロックの種類、不具合の詳細とその原因、ダウンタイムそしてトラブルに関してどのように対応を行った等である。

#### 【当院で経験したトラブル事例】

当院では治療装置として、TrueBeam および Clinac iX(Varian 社製)を所有している。これらの治療装置のトラブルは様々なものを経験しているが、その例としてはマルチリーフコリメータのトラブル、CBCT や kV 画像などの IGRT 関連機器のトラブル、ベンディングマグネット、モニタ線量計や加速管などビームライン機器の故障による交換が挙げられる。Varian 社から提供されている Customer Technical Bulletin(CTB)の中に、治療装置の品質を担保するために、治療装置の部品交換や調整を行った後の QA 項目が明記されたガイドラインが

ある。例えば、モニタ線量計を交換した場合であれば、光照射野と放射線照射野の一致の確認、ビームプロファイルの確認・調整、モニタ線量計の校正を行なう必要があり、ユーザーは交換・調整部品に応じた QA 項目を把握しておく必要がある。

#### 【リスクマネジメント】

現在の治療装置は基本的には壊れたら修理する『事後保全』の考えに基づいて対処しているように思う。よって、如何にダウンタイムを少なくするかが重要であり、故障後の戦略を練っておくことが大切であると思われる。例えば、治療装置の復旧後の QA の戦略については、CTB 等を基に事前に確認しておき知識や QA 機器の充実を図っておくことが考えられる。また、スムーズな患者対応を行なうための取決めやマニュアル整備等が挙げられる。当院では患者対応の一貫として、故障時に治療室に患者が取り残されていることを想定して年に 1 度患者救出のシミュレーションを行ったりもしている。

近年はビッグデータ、機械学習や Internet of Things (IoT)の技術の進歩が著しく、今後、治療装置のトラブルの分野でも応用される可能性があると思われる。これらの技術を利用することにより『壊れたら修理する』事後保全から『壊れる前に修理する』予防保全へ移行し、治療装置のトラブルがより減少することが期待される。

#### 【まとめ】

現状、装置の故障の多くは避けることが困難であるためその後の戦略を練ることが大切である。サービスマンとの密な連携を取り、我々放射線技師が責任を負い管理していくことが重要である。

～Elekta ユーザー～

岡山赤十字病院 木村洋司

#### 【はじめに】

加速器のトラブル実体験および装置故障に関するリスクマネジメントについて ELEKTA ユーザーのとして紹介する。

#### 【ELEKTA のリモートサービスについて】

ELEKTA のリニアックではイベント・エラー発生時に担当サービスマンの携帯端末に内容が転送され、即時にサービスマンが把握できるようになっている。また、セキュリティが担保されたリモート回線を用いて、リニアックの観察・調整が可能になっている。

#### 【加速器のトラブルについて】

以下に当院で起こった加速器のトラブルの実体験を挙げる。

①一定の条件下で、MLC 静止位置情報を見失う事例があった。

即時対応として MLC 先端ルビーの輝度調整を行ったが、当該患者さんのみ 1 日延期した。輝度調整を行ったが改善せず、その後の対応として、ルビーの清掃、カメラ&レンズユニット交換・調整、agility 調整、Beam 調整を行い、土日作業の 2 日間で復旧した。原因としてはカメラ&レンズユニットの不良であった。コールドランの実施であらかじめエラーを防ぐことが可能ではないかと思われる事例であった。

②任意の角度で 2R Error (Beam の平坦度エラー)が発生し、Beam が止まる事例があった。

原因は電子銃のフィラメントの軸ずれを起こしていたもので、電子銃の交換が必要となり、交換、真空引き、Beam 調整などで 2.5 日間の作業が必要であった。金曜の昼前に発生したため患者への影響は数名おり 1 日の延期となった。電子銃の軸ずれをあらかじめ検知できるように Log を収集する QA を追加した。

③始業点検時に Gantry Head 内部からの異音を検知した事例があった。

フライトチューブ機構部内での金属の接触が原因で異音が起きており、後日、金属部の面取り、グリスアップ、Beam 調整の作業を2日で行った。あらかじめこの作業をしたことによって、フライトチューブの接触部分に穴が開き、Beam が出なくなることを防ぐことができた事例であった。

④始業点検時に XVI の画像異常が判明した事例があった。

原因は調査中ではあるが、起動時間を早めることで回避できるため、起動タイマーの時刻を早める対応を行った。

⑤照射中に Mosaiq Sequencer のアプリケーションがシャットダウンする事例があった。ELEKTA のリニアックでは照射線量の管理を Sequencer 以外に二重化しており、患者への影響はなかった。PACS システムのエラーが、病院全体の通信障害を一時的に起こしたことが原因であった。このとき Mosaiq のアプリケーションエラーなのかネットワークエラーなのかわからず切り分ける作業が必要となった。今後も起こる可能性があり、ネットワーク障害時の対応マニュアルを作成した。

⑥ExacTrac がフリーズしてしまう事例があった。当初、メーカーに原因の究明を依頼していたが解明できず、操作手順を見直すことで、リフレンスフレームを外すタイミングに起因するシステムエラーであることがわかり、マニュアルの変更を行った。

⑦iGUIDE(6軸カウチ制御)のアプリケーションが落ちてしまう事例があった。

これも操作手順を見直すことで回避できたもので、操作手順・マニュアルの変更を行った。

【リスクマネジメント】

当院ではエラー発生時や通常時では見られない現象などが発生した時に、操作画面のスクリーンキャプチャやデジタルカメラで撮影したものをメーカーとのやり取り時に使用し、部門内での情報共有に活用している。また、いつ、どのようなエラーが発生したか記録するため、放射線治療 RIS で記録するようにしている。

今まで経験してきたエラーの中で、操作手順の改善や QA の追加で回避できるものはマニュアル化し、スタッフに周知を行っている。また、装置故障による患者の治療休止が発生した場合の業務マニュアルも作成している。

【最後に】

我々が使用しているリニアックは機械である以上、トラブルやエラーは発生するものだが、予防できるものは予防し、早期発見し、装置のダウンタイムを少なくしていく取組みをしていかなければならない。

～Siemens ユーザー～

川崎医科大学附属病院 樋口真樹子

加速器のトラブル実体験および装置故障に関するリスクマネジメント(SIEMENS user)

川崎医科大学附属病院 樋口真樹子

【当院の LINAC について】

①SIEMENS PRIMUS-KD2 (クライストロン)

(X:4/10,E:5/7/10/12/14/15),2005.10.28 治療開始,現在11年経過.

②SIEMENS PRIMUS-MD2 (マグネトロン)

(X:6/10,E:5/6/8/10/12/14/15),2007.1.19 治療開始,X線シミュレータ同室,現在10年経過.

PRIMUS series は加速部全体が一体構造の高真空な定在波型加速管を使用しており,高真空技術により電子銃の平均寿命が長い.マイクロ波源はクライストロンもしくはマグネトロン.アクロマティック 270° ビーム偏向システム採

用.X線では薄型多層X線ターゲットとフラットニングフィルタ,電子線では二重スキヤタリングフォイル方式を採用.上絞りはモノブロック,下絞りMLCは29対構成(中央27対がSSD100cm上で各1cm).

【各LINACのエラー発生件数(エラー・対応動作・生じた影響等の記載ノートより)】

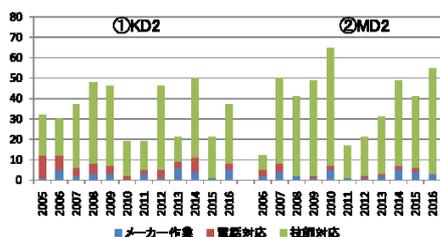


Fig.1 各LINACのエラー件数(対応別)

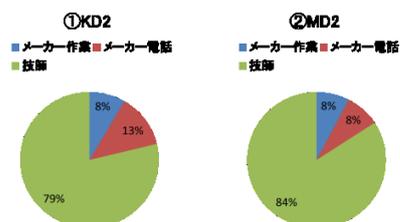


Fig.2 各LINACのエラー件数割合(対応別)

【装置故障例】

1.停止時間(装置);16:00-21:50(MD2)

・TBI照射中にDOSERATEエラー発生.ビーム出力不可.リセットでエラー解除するもすぐに出力低下のエラーで停止する.

・マグネトロン放電を確認.エージングするも放電制御できず.マグネトロンの消耗劣化による耐圧不良による放電が推測されるため,判定用マグネトロンへ交換.エージング,ビーム調整,Pulse-I波形確認にて異常なし.(45日後マグネトロン交換.ビーム出力調整.エージング作業後テスト.)

・患者は一旦病室で待機.修理後治療完了.

2.停止時間(装置);14:20-16:30(KD2)

・医師によるLG確認待ち時間中にガントリヘッドより破裂音あり.光照射野点灯せず.

・照射野ランプが破損.ランプ不良のため交換.ガラス破片清掃.動作テスト.

・患者は一旦病室で待機.修理後治療完了.

3.停止時間(装置);9:30-10:35(KD2)

・照射野ランプ点灯せず.X4MVでMODEエラー発生.X4とEは不可.X10のみ照射可能.

・目視点検,症状よりリアシールド駆動していないと判断.HEAD DRIVER基板の故障とみられるためHEAD DRIVER基板交換.リアシールド駆動し復帰.動作テスト.

・患者1名が仕事のため当日は帰宅.同週の土曜日に治療することになった.外来患者6名に60分程度の遅れ.

4.停止時間(装置);10:30-15:20(KD2)

・G180°からG0°へ移動中に停止.患者一旦退室後に異常音と異臭が発生.ガントリ動かず.電源オフにして待機.

・アクセサリ関連の基板の辺りに焦げ跡あり.PCB MOTHERにてアクセサリ挿入検出信号ラインの不良あり.突発的なガントリ内でのアクセサリ信号ケーブルのアース落ちによる過電流の影響によるマザー基板パターン損傷が考えられる.部品手配しケーブル配線変更及びマザーボード交換作業にて改善.動作テスト.  
・外来患者2名は一旦帰宅.入院患者1名は病室へ.修理完了後外来患者に来院の連絡.当日内に全員治療完了.

5.停止時間(装置);8:10-10:00(MD2)

・Controller 0 インターロック発生.リセット解除不可.Y-JAWが20cm表示に対し23.5cmとなっている.

・4ch-VF基板の故障のため交換.Profiler使用しinline方向のX線照射野確認.

・外来患者1名をKD2で治療.

6.停止時間(装置);13:50-15:20(KD2)

- ・X4MV 照射中に MODURATOR INCOMPLETE エラー発生.リセット解除不可.チラー異常表示はなし.
- ・水フィルター詰まりにより冷水盤 Supply Press 規定値まで達せず流量不足.水フィルター詰まりを清掃して 20→40psi へ上昇.動作テスト.
- ・患者は一旦病室で待機.修理後治療完了.

#### 【リスクマネジメント】

病院全体で行うのは、すべての患者に対して安全で安心と納得のできる医療を実現させるために、医療事故の原因となるリスクの頻度を可能な限り減少させるための管理.つまり医療事故予防の管理である.

放射線治療部では、放射線治療を受ける患者に対して安全で安心と納得のできる医療を実現させるための管理.つまり治療目的に最適な治療計画と正確な線量の照射のための安全管理を行うこと.そこで、放射線治療装置の故障に関するリスクマネジメントとは、整備不良による装置故障やエラー発生時の治療停止を防ぐための管理となる.そのためには以下のような項目が必要ではないかと考える.

#### ◎機器・装置の保守管理

メーカーによる定期的な点検の実施.ユーザーによる始業前点検および年間計画にそった品質管理の実施.

#### ◎実際のエラーの収集と活用

発生エラーと対応動作・生じた影響を記録.同エラーが頻発するならメーカーへ連絡.エラー表示以外の異常な動きや音に注意を払う.

#### ◎治療担当技師内での情報共有

発生エラーと対応方法の内容を共有.

#### ◎メーカーへの速やかな連絡方法の確立

◎機器故障・火災・災害等の緊急時の患者の安全な誘導・避難手順の整備

◎院内関係各所への通報連絡網の確立

#### 【まとめ】

使用開始から 10 年以上経過している当院の SIEMENS LINAC 装置のエラーと故障事例についての一部を紹介した.全てとは言えないがエラー発生のうち同時に故障しメーカーの調査・修理・調整が必要となった事例は約8%であった.これまで通りエラーの記録を取りながら早めの点検依頼等を行うことでこれ以上故障頻度が増加しないことを願っている.

放射線治療で使用する装置故障に関するリスクマネジメントとしては、メーカーはもちろん日常から年間を通しての品質管理作業を行う放射線治療担当技師の責任は大きい.加えて放射線治療部内での迅速な報告や対処方法の検討,対策技術の共有も必要と考える.

#### 放射線治療研究会 座長集約

座長:徳島大学病院 佐々木幹治

【13:15～14:00】放射線治療における呼吸性移動対策 総論

京都大学医部附属病院 中村光宏

【14:05～15:05】呼吸性移動対策および 4DCT における異なるデバイスの使用経験

東芝社製 CT/RPM (Varian 社)

香川大学医部附属病院 大石晃央

Siemens 社製 CT/RPM/Abches

徳島県立中央病院 杉本 渉

Varian 社 4DCBCT (RPM)

山口大学医部附属病院 湯浅勇紀

【15:05～15:30】総合討論

平成 24 年 4 月の診療報酬改定により、体外照射および定位放射線治療における肺や膵臓などの腫瘍に対して呼吸性移動対策加算が新設された.呼吸性移動対策とは、呼吸性移動を伴う腫瘍に対して高線量を損なうことなく、周囲の正常組織に対して線量低減を可能とす

る放射線治療技術(以下, 技術)である. 呼吸性移動対策は, 治療成績の改善および合併症軽減の効果の観点からも今後普及していく技術である. 午後の部のテーマは, 前述の背景と昨年度に実施された治療研究会の参加者のアンケートで取り上げたいテーマとして要望もあり, 世話人会の審議を得て呼吸性移動対策に決定された.

まず, 最初に京都大学医学部附属病院の中村光弘先生から, なぜ, 呼吸性移動対策が必要なのかについてベースラインドリフト, ベースラインシフト, インタープレイ効果, ヒステリシス移動について先行研究の結果を提示し, 解説いただいた. 呼吸性移動対策について具体的な手法として息止め照射法, 呼吸同期照射法, 動体追尾照射法の解説があった. また, 腹部圧迫照射における物理技術的考察と臨床成績, 息止め照射における腫瘍位置再現性, 呼吸同期照射法および動体追尾照射法で用いられることが多い体内マーカーおよび外部呼吸信号を使用するときの注意点について解説いただいた. 呼吸性移動対策における必要性と注意点について解説いただいたことで, 呼吸性移動対策の実施を検討されている施設のみに留まらず, すでに実施されている施設においても大変有意義な講演内容であると感じた.

続いて, シンポジウムでは, 呼吸性移動対策および 4DCT における異なるデバイスの使用経験のテーマで 3 名の先生にご発表いただき, 会場の参加者ととも議論を行った. 香川大学医学部附属病院の大石晃央先生から東芝社製 CT/RPM(Varian 社)と題して治療計画用 4DCT の撮像フローおよび撮像後の後処理について詳細に説明いただいた. その後, 東芝社製 CT と RPM を使用した 4DCT 撮像時に

考えられる問題点について説明いただき, 呼吸不整による影響を想定したファントム使用下による画像を供覧した. 次に, 徳島県立中央病院の杉本渉先生から Siemens 社製 CT/RPM/Abches と題して呼吸性移動対策の切り分けによる治療手法の決定方法, 呼吸同期照射のコミッショニング, 呼吸性移動対策方法毎のメリット・デメリットの詳細について説明があった. 最後に, 山口大学医学部附属病院の湯浅勇紀先生から Varian 社 4DCBCT (RPM) と題して 4DCBCT の画像取得フロー, ファントムおよび臨床症例による模擬腫瘍および腫瘍の位置精度の確認について説明いただいた. 総合討論のポイントとしては, 各々の患者における呼吸マネージメントがいかに重要かについて議論ができた.

今回の午後のテーマでは, 臨床経験により得られた知識として情報共有できる部分も多くあったと感じた. また, 呼吸性移動対策ガイドラインに準拠した呼吸性移動対策を実施するためには, 各施設で工夫していかなければならない点についても再考するきっかけとなったのではと感じた.

## 放射線治療における呼吸性移動対策 総論

京都大学医学部附属病院 中村光宏

### 【呼吸性移動】

肺がんや膵がんなどの胸腹部疾患は呼吸に伴って移動することが知られている. 肺がんの場合, 呼吸性移動は頭尾方向に最も大きく, 10~20 mm 程度動くことが報告されている<sup>1)</sup>. さらに, 呼吸性移動量は下肺野で大きいことを示し, その軌跡は直線運動だけではなく, ヒステリシス運動を呈することも明らかになっている<sup>2)</sup>. また, 振幅の変動やベースラインドリフト(連続的な変動; 日内変動), さらにベースライ

ンシフト(離散的な変動; 日間変動)が存在することもわかっている<sup>3,4)</sup>.

#### 【照射体積と有害事象】

腫瘍の呼吸性移動量, ベースラインドリフト, セットアップエラー, CT 画像の描出能, ターゲッティングなどを考慮すると, 呼吸性移動対策を講じない照射法では照射体積が大きくなる傾向がある. 照射体積が大きくなると腫瘍への線量は担保されるが, 正常臓器に照射される線量が高くなる. これにより, 有害事象の発生頻度が上がる可能性がある<sup>5,6)</sup>.

#### 【呼吸性移動対策】

照射体積を小さくする方法の一つとして, 呼吸性移動対策がある. 呼吸性移動対策は「強制浅呼吸法」, 「息止め照射法」, 「呼吸同期照射法」, 「動体追尾照射法」に分類される.

本講演では, 「腹部圧迫照射における物理技術的考察と臨床成績」, 「息止め照射における腫瘍位置再現性」, 呼吸同期照射法および動体追尾照射法で用いられることが多い「体内マーカーおよび外部呼吸信号を使用するときの注意点」について解説した.

#### 【おわりに】

呼吸性移動を伴う疾患に対する放射線治療では, 動体を正確に捉え, 各照射法に応じたターゲット設定や位置照合が重要である. また, 体内マーカーや外部呼吸信号を使用する場合はターゲットとの位置関係や相関性を把握することが肝要である.

#### 【参考文献】

- 1) Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al., The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76. *Med Phys* 2006; 33(10): 3874-3900.
- 2) Seppenwoolde Y, Shirato H, Kitamura K,

et al., Precise and real-time measurement of 3D tumor motion in lung due to breathing and heartbeat, measured during radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002; 53(4): 822-834.

- 3) Suh Y, Dieterich S, Keall PJ. Geometric uncertainty of 2D projection imaging in monitoring 3D tumor motion. *Phys Med Biol* 2007; 52(12): 3439-3454.
- 4) Korreman SS, Juhler-Nøttrup T, Boyer AL. Respiratory gated beam delivery cannot facilitate margin reduction, unless combined with respiratory correlated image guidance. *Radiother Oncol* 2008; 86(1): 61-68.
- 5) Marks LB, Bentzen SM, Deasy JO, et al., *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010; 76(3): S70-S76.
- 6) Kelly P, Das P, Pinnix CC, et al., Duodenal toxicity after fractionated chemoradiation for unresectable pancreatic cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013; 85(3): e143-149.

#### 呼吸性移動対策および 4DCT における異なるデバイスの使用経験

～東芝社製 CT/RPM(Varian 社)～

香川大学医部附属病院 大石晃央

【1. はじめに】当院は Linac2 台を用い, 年間約 430 件の放射線治療を行っている. このうち放射線治療計画用 4DCT は年間 50 件ほどを撮像している. また, 呼吸対策としては, 殆どの場合 ITV 法を使用しており, 治療計画用 4DCT は主に ITV を算出するために撮像される.

本報告では, 治療計画用 4DCT において, 東

芝社製 CT「Aquilion LB」と Varian 社製呼吸同期システム「RPM」の組み合わせによる撮像および処理, それらの現状における問題点についてまとめ, 報告した.

## 【2. 当院 4DCT の流れ】

### 2-1. 撮像の流れ.

撮像までの流れは, ①寝台上でポジショニングを行い, ②RPM の設定を行い, ③CT の設定を行い, ④撮像する.

### 2-2. 処理の流れ.

撮像後の処理は, ①RPM からのトリガー情報の確認を行い再構成する. ②0%~90%のボリュームデータを, コメントをつけてシリーズ分割し, ③計画装置へ転送. ④計画装置上でコメントの編集を行い, 4D を作成する.

## 【3. 現在の問題点】

### 3-1. トリガーのみの呼吸同期である点.

現状における最も大きな問題点としては, RPM から Aquilion LB へ同期されるのがトリガーのみであり, 呼吸波形は取り込まれない点である. これは, トリガーが正しい点で取得されているかの確認が困難であることを意味する. トリガーは呼吸ノイズや波形の不整により, 過剰に反応する例や, 取得できない区間が多い例も存在する. そうした場合には手動でトリガーを設定しなければならないが, CT 画面上で波形確認ができないために非常に困難なものとなる.

### 3-2. 撮像範囲の自動変更.

呼吸同期 CT では, 呼吸の長さにより撮像範囲の限界が存在する. 実際の撮像時には撮像直前に呼吸長の取得を必ず行うが, この際, 撮像範囲が自動で短くなる可能性がある. 更には, このタイミングで撮像範囲が画像上表示されず数値のみの確認であるため, ミスが誘発されやすい.

### 3-3. 処理が煩雑, 長時間必要な点.

撮像~再構成~処理を全て合わせると, 1件につき約 1 時間程度の時間を要する. 処理内容も煩雑であり, スループットが良いとは言えない.

## 【4. 呼吸不整による影響の実験】

本実験では呼吸不整による 4D 画像への影響を, MODUS QA 社製呼吸同期プラットフォーム「QUASER Respiratory Motion Platform」と模擬腫瘍ファントムを使用して簡易的に調査した. 実験結果の一部を紹介する.

呼吸同期プラットフォーム上に模擬腫瘍(3 cm  $\phi$ )を配置し, 振幅 2 cm で sin 波にて long 方向に振動させた. 得られた 4D 画像から, 模擬腫瘍の上端から下端までの移動範囲を測定した(理論上では 5 cm).

### 4-1. 呼吸長が CT 設定値より長かった場合.

Control での測定値が 5.15 cm に対し, 呼吸長を CT 設定値+2 秒に設定した場合の測定値は 5.14 cm であった.

### 4-2. 呼吸振幅にばらつきがあった場合.

Control での測定値が 5.15 cm に対し, 3 回に 1 回振幅が半分の場合での測定値は 4.62 cm であった.

以上から, 呼吸の長さの変化にはある程度対応できるが, 呼吸振幅の変化には大きく影響を受けると考えられる.

## 【5. まとめ】

当院の治療計画用 4DCT の現状と問題点を報告した. 「Aquilion LB」と「RPM」の組み合わせではトリガー同期ができない点, 撮像時のインターフェイスの問題点, 処理が複雑な点といった課題があるといえる.

~Siemens 社製 CT/RPM/Abches ~

徳島県立中央病院

杉本 渉

## 【はじめに】

放射線治療を行う上で、臓器の呼吸性移動はしばしば問題となる。ターゲット臓器に呼吸性移動が認められた場合、ターゲットに十分な線量を投与するためには、照射野の拡大が必要となり、時に重篤な副作用の発生確率の上昇に繋がる。放射線治療における呼吸性移動対策として呼吸同期照射、呼吸停止下照射、圧迫による ITV 法などが挙げられる。

本発表では、Siemens 社製 CT における 4DCT、Realtime Positon Managemant System (以下 RPM) を用いた呼吸同期照射および Abches を用いた呼吸停止下照射における使用経験について述べた。

## 【Siemens 社製 CT における 4DCT】

Siemen 社製 CT における 4DCT は、RPM より呼吸波形を取り込み、再構成フェイズとの関連付けを行う。再構成法はハーフ再構成を用いているため、撮像対象の呼吸周期が長すぎると、再構成に必要なデータを十分収集する前にビーム幅をスキャンピッチが過ぎてしまう。そのため、不完全な 4DCT となってしまうことに注意しなければならない。

## 【4DCT および呼吸同期照射のコミッショニング】

4DCT のコミッショニングとしては画像の再現性、ジオメトリの正確性、CT 値－電子濃度変換テーブルの確認について述べた。画像の再現性においては、動体ファントムを用いて、撮像条件を一定にして繰り返し撮像を行う。撮像した画像間においてレジストレーションを行い、目視にて再現性の評価を行う。ジオメトリの正確性は、撮像した画像上における模擬腫瘍径および腫瘍の移動距離を測定し評価を行う。CT 値－電子濃度変換テーブルの確認においては、CT 値－電子濃度ファントムに対し 4DCT で撮像を行い、CT 値－電子濃度変換テーブ

ルを取得する。取得したテーブルが通常臨床で登録しているテーブルと差異がないことを確認し評価を行う。呼吸同期照射のコミッショニングとしては、積算線量直線性、積算線量再現性、線量プロファイル、End To End 試験について述べた。当院の RPM を用いた呼吸同期照射における積算線量直線性および再現性は良好な結果を示した。線量プロファイルは照射同期範囲に依存して照射や辺縁部分のプロファイルが変化するため、治療計画の際には注意が必要である。End To End 試験においては 4DCT を用いた放射線治療計画が滞りなく実施できることを確認しておく必要がある。

## 【RPM を用いた呼吸同期照射】

RPM を用いた呼吸同期照射のメリットとしては、息止めが不可能な場合であっても安定した呼吸が保たれる症例であれば実施可能であること、照射同期範囲をある呼吸位相範囲に限定することによる照射野の縮小が挙げられる。デメリットとしては、照射が同期位相間に限定されるため、治療時間が長くなること、外部信号である赤外線マーカークの動きが実際の体内の動きを表しているとは限らず、治療中の照射位置確認が困難であること、呼吸の安定性を担保することが必要であることなどが挙げられる。当院における同期照射時の位置合わせは、自由呼吸下で撮像した CBCT を用いている。骨照合を行った後、OAR およびターゲットの位置の確認を行うが、照合および呼吸の安定の確認に時間を要した場合、ベースラインドリフトの影響を考慮し CBCT の再撮像を行う場合もある。照射直前の呼吸波形が治療計画用 4DCT 撮像時の呼吸波形と比較して安定しているかどうかの確認を行い、照射の可否を判断する。可能であれば照射中の MV のシネ画像撮像を行う。

### 【Abches を用いた呼吸停止下照射】

Abches を用いた呼吸停止下照射のメリットとしては、照射を息止め時に限定するため、照射野の縮小が可能であること、照射時間が同期照射に比べて短時間であることが挙げられる。デメリットとしては、息止めが必要であるため、患者の負担が大きいこと息止めの再現性の担保が必須であり、息止め位置の再現性を担保するために何らかのデバイス(Abches など)が必要であることなどが挙げられる。当院では、呼吸停止下照射の位置合わせは、Abches を用いて息止めを行った際に撮像した CBCT を用いている。CBCT で骨照合を行った後、横隔膜の再現性および PTV 内にターゲットが存在することの確認を行う。横隔膜のズレやターゲットが PTV 内に存在していない場合は、息止め位置の再調整を行い、再度 CBCT を撮像する。呼吸停止下照射の際には、CBCT 撮像時と同じ位置で、Abches の息止めを行う。照射中は呼吸波形および照射中のシネ画像を撮像し、ベースラインドリフト等の有無を確認する。

### 【まとめ】

呼吸同期照射および呼吸停止下照射においては、患者の呼吸マネジメントが第一優先項目であり、最大の難関である。患者の呼吸が適切にマネジメントされた際に、問題なく照射が行えるように準備しておくことが重要と考える。

### ～Varian 社 4DCBCT(RPM)～

山口大学医部附属病院

湯浅勇紀

### 【はじめに】

Cone-Beam Computed tomography (CBCT)は、患者のセットアップに使用される。また、治療期間中の体型変化や解剖学的変化の観察に有

効である。近年では、線量計算に使用されることも多くなってきた。しかし、胸部、腹部領域では、呼吸性移動によるモーションアーチファクトが原因で位置補正、線量計算の精度が低下するとの報告も多くある<sup>1,2)</sup>。

4次元 CBCT (4D-CBCT)は、自由呼吸下で撮像を行ったデータを各呼吸位相に分割して再構成が可能であり、呼吸性移動対策機器としての使用に注目されている。

当院では、TrueBeam(Varian Medical Systems)のソフトウェアバージョンアップに伴い 4D-CBCT の撮像が可能となった。そこで、4D-CBCT の初期使用経験と基礎特性についてファントムを使用した検討と臨床症例の検討について報告した。

### 【4D-CBCT の基礎】

4D-CBCT の撮像時には、Realtime position management (RPM)により腹壁の波形を取得する。取得したプロジェクションデータを RPM の波形を元に分割し、再構成を行う。位相の分割方法は、振幅ベースと位相ベースの 2 種類が選択可能である。また、収集角度は 360°、ガントリスピードは、デフォルトで 3°/秒である。ガントリスピードに関しては 1° から 6° まで 1° おきに変更可能である。ただし、ガントリスピードが遅くなると収集時間、被ばく線量共に増加するため、撮像時の設定には十分な注意が必要である。

### 【ファントムによる位置精度の検証】

4D-CBCT の位置精度の検証をファントム(Quaser respiratory motion phantom)を使用して行った。直径 3 cm の模擬腫瘍を振幅 10, 20, 30 mm peak-to-peak 周期 3, 6, 10 秒で動作させ、4D-CBCT の撮像を行う(ファントムの動作は、レーザー変位計にて監視し、ファントムの動作座標とした)。取得した各プロジェクシ

ンデータを位相ベース再構成により 10 位相に分割再構成する。各位相の画像より腫瘍の中心座標、体積を測定し、ファントムの動作座標、静止時の腫瘍体積と比較した。

4D-CBCT より測定した中心座標とファントムの動作座標は、全振幅および位相について 1 mm 以内で一致していた。また、4D-CBCT から測定した腫瘍体積と静止時の腫瘍体積の差は、呼気と吸気の間呼吸位相で大きくなる傾向であった。

本検討で測定された値は先行文献とほぼ同等の値であり、ファントムでの精度は良好であった<sup>3)</sup>。

#### 【臨床症例の検討】

2016 年 4 月から 7 月に TrueBeam にて定位放射線治療を施行した患者 5 名について、取得された 4D-CBCT より腫瘍中心座標、腫瘍体積、Internal target volume(ITV)を測定し、検討を行った。

腫瘍体積は、呼吸息止め時の腫瘍体積を基準として比較した。また、腫瘍中心座標、ITV は、治療計画 CT 時に取得した 4D-CT より求めた値を基準として比較した。

中心座標は、4D-CT の場合と比較して最大で 2 mm 異なる場合があった。この原因としては、不規則な呼吸による位置の腫瘍変位が原因であると考えられる。これらに対して、音声や視覚的な補助を行うことで改善が期待できると考えられる。

腫瘍体積および ITV は、治療計画 CT 時の体積および ITV とよく一致する結果であった。しかし、腫瘍が存在する位置によっては、値が大きく乖離する場合があった。この原因としては、腫瘍と軟部組織(肝臓や縦郭)とのコントラストが低いことによる腫瘍の視認性の低下が考えられる。腫瘍が存在する位置によっては 4D-

CBCT による腫瘍の描出が困難な場合があるため注意が必要である。

#### 【さいごに】

4D-CBCT は、ファントム、臨床症例ともに精度が良いことを示した。しかし、被ばく線量が多いことや撮像、再構成に時間がかかることなど多くの制限があり、臨床での応用には多くの課題があると考えられる。多くの課題はあるものの時間に制限がない照射後の確認としては十分に使用可能であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) Oh YK, Baek JG, Kim OB, et al. Assessment of setup uncertainties for various tumor sites when using daily CBCT for more than 2200 VMAT treatments. J Appl Clin Med Phys 2014; 15(2): 85-99.
- 2) Yang Y1, Schreiber E, Li T, et al. Evaluation of on-board kV cone beam CT (CBCT)-based dose calculation. Phys Med Biol 2007; 52(3): 685-705.
- 3) Lee S, Yan G, Lu B, et al. Impact of scanning parameters and breathing patterns on image quality and accuracy of tumor motion reconstruction in 4D CBCT: A phantom study. J Appl Clin Med Phys 2015; 16(6): 195-212.