

## 放射線治療分野 座長集約

### 呼吸性移動による治療計画への影響とその対応策

座長 新潟県立中央病院 放射線科 大坂 暁胤(ousaka akitane)

#### 【はじめに】

本テクニカルミーティングでは呼吸性移動の対応策を検討するに際して、目線をどこに向けるのかということを整理し、「この対策にはどのような利益があるのか?」、「そこにはどのようなリスクがあるのか?」、「そのリスク低減には何をすればよいのか?」ということを3名の先生方より説明していただきました。

医師の立場では呼吸性移動対策を行うことによる治療計画への影響、技師の立場ではその計画を再現するための照射技術とそのリスクへの対応策に関する内容となっています。

#### 【座長集約】

今回のテクニカルミーティングでは、呼吸性移動とそこからくる治療計画への影響ということを考える場合に各種装置、ワークフロー、計画を立てる医師の目線というそれぞれのものの中から見えてくるリスクをスタッフ間で共有し検討する必要があるということが想像できたかと思えます。

呼吸性移動対策を行うことによって起こりえるエラーというものが、まずは、システムから来るものなのか、患者さん本人から来るものなのか、その両方なのかを把握し、そして次にワークフローを時系列で順序立ててエラーを探し、それらをどこで回避するのか、計画に練り込むのか、照射時の補正に練り込むのか、照射中の確認なのかを検討することで、存在するエラーがどこの段階でどのように処理されるのかを明確にすることが可能となります。

この段階で、最終的に患者さんに使用する場合のリスクを洗い出して整理し、リスクを低減する手段を検討するという作業に移ることになるかと思えます。

鈴木先生の施設の呼吸停止照射の場合で考えると、系統誤差を照射直前の位置照合でリセットすることでマージン縮小に向かったとしても、治療時は再度呼吸停止した時の位置で照射するわけであり、ここには患者さん由来のバラツキ、ランダムエラーが発生していることとなります。鈴木先生のところではこれらに対して、患者さん個々の呼吸停止によるターゲット臓器位置再現性の確認を計画CT時に予め行うことで照射中のターゲットのバラツキ

を治療計画へ練りこみ、リスク低減を講じ、さらに照射中のシネ撮影を用いてその証明をしていることとなります。

一方、坂井先生の施設の呼吸同期照射の場合はシステム上の遅延という毎回決まった形で起こる系統誤差を治療計画で考慮したとしても、実際の照射時に起こり得るエラーである患者さん由来の浅く早い呼吸や、呼吸のバラツキ、ベースラインシフトの影響、そして、それらをシステムがインターロック(Beam off)で回避したとした時に低MUの線量誤差の影響が生じてくるということでありました。

これらの対策としては、システム及び患者さん本人という双方の影響を検討することで実際の照射時のリスク評価を行い、治療計画への考慮以外の対策としてメトロノームを取り入れ、患者さん由来のリスク低減を講じていることとなります。

そして、最終的に患者さんに使用するかどうかの判断に対しては、今度はターゲットのみではなく、周辺臓器、特に体積評価を行うリスク臓器の影響等を検討し、治療計画連絡シートやミーティング等の方法を用いてスタッフ間で共有し、計画CTから照射までの一連を通して検討した上で、笹本先生からの説明のように、実際の業務量や煩雑さとその有効性を評価し、どこまで対策するのか、計画CTだけなのか、照射までなのか、或いは、定量評価し、加算までもっていくのかということを根拠を持って判断することが呼吸性移動対策では必用ではないかと思えます。

我々放射線治療に従事するスタッフが日々行う数々の検証というものは、実験とは異なるものであり、1つ1つのごま切れの検証では大きな間違いを犯す可能性があります。すべてのワークフローの中でそこに従事する者同士が情報共有し、そこに存在する危険性を洗い出し、そしてその評価を行い、最終的にそこからくるリスクを低減させる措置を講じてさらにそのリスク低減措置が妥当かどうかを評価する流れをつくることで患者さんに対する治療が適切かつ、無理のないものになるのではないかと思います。

最後になりますが、ここまでの文面で、エラーの明確化・リスク・低減措置・評価という言葉を多く使

用しましたが、気がつきませんでしたでしょうか？

それは、「リスクマネジメント」です。呼吸性移動には数多くのハザードが隠れており、自施設のワークフローや異なる症例毎に隠されたハザードを見つけ出し、それにより引き起こされるリスクの重症度とその発生確率を検討することが呼吸性移動対策で間違いを起こさないための手法になってくるの

ではないかと思います。

リスクマネジメント手法を取り入れることは日々の煩雑な業務を整理し、放射線治療の安全を手助けしてくれます。今回は呼吸性移動対策を行う場合にリスクマネジメント手法を頭におきながら、検討してみました。皆様も今一度検討してみたいはいかがでしょうか。

## -呼吸性移動対策の適用例とその効果について-

新潟大学大学院 保健学研究科 放射線技術科学分野 笹本 龍太(Sasamoto Ryuta)

2012年4月の診療報酬改定にて定位照射を含む外照射において加算が算定可能となった呼吸性移動対策の算定要件を要約すると、1)呼吸による移動長が3次的に10 mmを越える腫瘍に対して、2)呼吸性移動を補償するために必要な照射範囲の拡大が各方向で5 mm以内に抑えられ、3)毎回の照射時に腫瘍が照射範囲に含まれることを確認する、の3点である。呼吸性移動対策を行うことによってどれだけ照射野が縮小できたか、は問題にしていないことに注意が必要である。また、呼吸性移動対策を適用するかどうかは施設や担当医の判断に任せられており、確立した基準があるわけではない。今回は、加算要件を満たすかどうかは重視せず、「ある放射線腫瘍医の視点」から、胸部・腹部の呼吸性移動対策適用例とその効果、留意点等について概説する。

呼吸性移動対策の1つ目の臨床的な効果は、照射範囲を縮小することによる放射線障害の低減である。胃悪性リンパ腫が呼吸性移動対策の対象疾患である「胃がん」に含まれるかどうかは定かでないが、今回、胃悪性リンパ腫2症例分と肺癌2症例分の治療計画をシミュレーションとして作成し、呼吸性移動対策「あり」と「なし」におけるリスク臓器（腹部は腎臓、胸部は肺）の線量を比較した。リスク臓器の線量はいずれの場合も低減したが、呼吸性移動が小さい症例では、リスク臓器線量低減効果が低かった。呼吸性移動が小さい症例は呼吸性移動対策の診療報酬算定要件を満たさないばかりでなく、対策による臨床的效果が小さく、更に照射時間が延びることによる不確実性増加の可能性もある。呼吸性移動対策を行うかどうかは、対策による効果を症例ごとに検討して決定するのが望ましいように思われる。また、対策による効果を評価する

場合には、吸気～呼気で体内の臓器位置・サイズが変化するため、対策なしの治療計画において非剛体変形を用いた線量分布の変形と合算を行わなければ厳密な評価ができないことは知っておく必要がある。

呼吸性移動対策の2つ目の臨床的効果は、照射位置精度の向上であろう。一般に、呼吸同期あるいは呼吸停止は呼気的位置で行われることが多いように思う。Dobashiらは、終末吸気・終末呼気的位置変動はinterfractional・intrafractionalともに終末吸気よりも終末呼気の方が小さいと報告した(Australas Phys Eng Sci Med (2014) 37:731-742)。つまり、通常の治療計画を行い全呼吸位相で照射を行うのに比して、呼気のみで画像で治療計画を行い呼気のみで照射するだけでも、照射位置精度は向上する可能性がある。しかし、終末呼気的位置も変動がないわけではなく、照射野が小さい分、変動時のリスクも大きい。さらに、位置の変動要因は他にもあるため、例えば呼吸性移動が10 mm低減できたとしても、様々な要因を合成した総合的なマージン低減幅は、10 mmより小さい可能性がある。マージンの縮小は慎重であるべきであり、なおかつ画像誘導を利用して呼吸性移動以外の要因も含めた位置変動を可能な限り排除することが重要であるといえる。

個人的には、呼吸性移動対策を行わなくても4D-CTを治療計画に利用することは有用であると思うし、呼吸性移動対策加算を取る・取らないにかかわらず何らかの呼吸性移動対策を行うことに意味はあると考えている。しかし、マージンの縮小は慎重であるべきで、また症例の選択も、対策を行った場合の効果と手間のバランスを考えて行うことをお勧めしたい。

## - RPM を用いた呼吸性移動対策 -

新潟大学医歯学総合病院 診療支援部 放射線部門 坂井 裕則(Sakai Hironori)

### 【はじめに】

呼吸性移動を伴う腫瘍に対する照射において呼吸性移動対策を用いることで正常組織への線量の低減が期待できる。一方適切に実施されなければ治療成績の低下につながる危険性がある事から呼吸性移動対策ガイドラインが策定されている。今回呼吸性移動対策に関するガイドラインに示す診療放射線技師に関わる項目について触れると共に実際当院で行っているRPM(Real-time position management Respiratory Gating System)を用いた呼吸同期照射、また呼吸性移動対策が安全に実施される為の精度管理についても合わせて述べる。

※呼吸性移動対策ガイドラインについては「呼吸性移動対策を伴う放射線治療に関するガイドライン」を参照。

### 【内容】

当院ではRPMを用いた呼吸同期照射を行っており患者様の腹部に赤外線マーカーを置き赤外線カメラを用いて呼吸の振幅を取得する。取得した波形の山の頂点を最大吸気(0%)とし谷の頂点を最大呼気(50%)として0% - 99%に割り振られ、照射時にはビームオン・オフのトリガーを設定し呼気時に合わせて照射を行っている。

実際の照射の流れを肝定位照射を例に述べる。まずメトロノームを用いて1呼吸3秒になるように呼吸

してもらい4DCT撮影を行う。この時、一定の振幅の呼吸をしてもらう為、患者様に呼吸方法の注意点の説明、練習等を行い理解と協力を仰ぐ。その後0,10,20,・・・90%の各位相画像と30-70%のMIP画像を作成し治療計画を行う。

治療時にもCT時と同じようにメトロノームを使用して1呼吸3秒になるように呼吸してもらい、位置合わせ画像撮影時には最大呼気画像を得るためにビームトリガーを49-51%に設定し正則2方向の撮影(Fig.1)、照射時にはビームトリガーを30-70%に設定し呼吸同期照射を行っている。(Fig.2)

### 【留意点】

RPMを用いた呼吸同期照射を行う際に機器の精度管理が重要となる。同期有り無しでの線量の検証(Table 1)、低MU照射における再現性等の確認、またTime delay(ビームオン・オフのトリガーが掛かってから実際にビームがオン・オフするまで時間)の確認、その間の照射対象の移動距離の把握などを行い機器側の安全性を担保する。

### 【まとめ】

呼吸移動対策を安全かつ適切に実施するためには各施設で用いている呼吸移動性対策の特性を理解し、それに対して適切な精度管理、検証を行う必要がある。

その上で患者様の理解と協力が不可欠である。

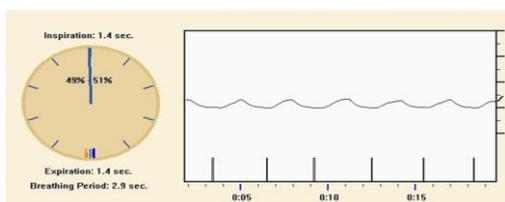


Fig.1 beam on trigger 49~51%:最大呼気時

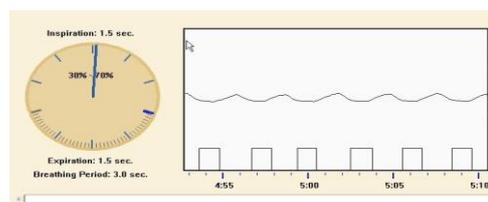


Fig.2 beam on trigger 30~70%:呼気

Table 1 呼吸同期の有無による線量検

	測定値(nC)	変動係数(%)	誤差(%)
ungating	28.80	0.05	0.16
gating	28.84	0.02	

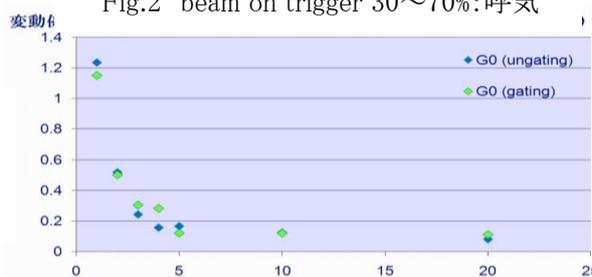


Fig.3 低 MU における再現性の検証

## -アブチェスを用いた呼吸性移動対策-

弘前大学医学部附属病院 医療技術部 放射線部門 鈴木 将志(Suzuki Masashi)

### 【はじめに】

肺や上腹部等における呼吸性移動を伴う腫瘍の放射線治療では、呼吸性移動量が大きいほど照射野が大きくなり、正常組織への線量も増加する。これを低減させる方法の一つとして、呼吸停止下での照射法がある。この照射法においては、ある位置に腫瘍が存在することが前提として治療計画がなされるため、毎回の息止めの再現性が非常に重要となってくる。当院では、主に体幹部定位放射線治療(以下SBRT)においてアブチェスを用いた呼吸停止下での照射を行っている。今回は治療計画CTおよび実際の照射時の施行方法、再現性を高めるための注意点について報告する。

### 【内容】

使用装置は、治療計画用CT(GE社製Optima CT580W)を使用し、直線加速装置はVarian社製Clinac iXを使用。位置照合装置はVarian社製On Board Imaging(以下OBI)を使用している。患者用固定具としては、SBRT用としてアルケア社製モールドケア、エスフォーム社製固定シェル、通常外照射用としてCIVCO社製Thorawedgeを使用している。

#### 1.治療計画用CT時の施行方法や注意点について

Fig.1左図のように、本来アブチェスは胸部および腹部の2点の体動をモニタリングして使用する。しかし当院では主にSBRTで用いているので、モニタリング部分に治療ビームが干渉することを防ぐためにFig.1右図のように腹部1点のみモニタリングするよう使用している。

患者用固定具としては、SBRT時はFig.2右図のようにモールドケアと固定シェルを組み合わせたものを作成し、頭側を高くすることで自然と前傾姿勢となるようにし、アブチェスが直接目視できるようにしている。通常外照射時はFig.2左図のようにThorawedgeを使用し、アブチェスは頭側からミラーを用いて目視している。



Fig.1 アブチェスの仕様(左)と当院使用例(右)

#### -当院の治療計画CT時の流れ-

- 1) 両腕を挙上した状態を10分程度維持できるかを確認し、その後でアブチェスを用いて息止めの練習および何秒間息止めが可能かを確認する。
- 2) 標的付近のみを呼吸停止下で数回CT撮影を行い、息止めの再現性を確認する。3次元的な再現性として5 mm以内を目標とする。
- 3) 必要に応じて呼吸停止下で4D-CT(Cine)撮影を行い、息止めが持続されているか(持続性)を確認する。

これらの作業を経て、最終的に呼吸停止下で計画用CTの撮影を行っている。

#### -治療計画CT時の注意点-

- ・息止めの際に腹筋に力をいれないよう説明する。
- ・腹部膨満による再現性低下を防ぐため、食後の施行は避ける。
- ・息止めが少しでも楽になるよう酸素を使用する。
- ・患者様に対するアブチェスの位置、高さを忘れずに記録する。

等が挙げられる。治療計画用CT時の段階でいかに患者様に息止めの必要性やアブチェスの動作を理解してもらい、協力を得ることが最重要である。

#### 2.実際の照射時の施行方法や注意点について

##### -当院のセットアップから照射までの流れ-

- 1) OBIにて骨照合を行う。
- 2) アブチェスを見ながら治療計画用CT時と同じタイミングで息止めをしてOBI正面像を撮影し、横隔膜位置を目安として息止めが再現されているか確認する。
- 3) 同様にOBI側面像を撮影し、腫瘍位置で照合をかけて照射に移行する。
- 4) 照射中はEPIDを用いてCine撮影を行い、腫瘍が照射野内に収まっていることを目視で確認する。



Fig.2 通常外照射時(左)とSBRT時(右)の固定具の外観

肺野領域では腫瘍が目視可能な場合が多いが、腹部領域では目視困難な場合がある。その時はマーカーを使用することで位置確認が容易となり、必要に応じて使用している。またGTVやマーカーのContouringをすることで腫瘍位置の照合を容易に行うことができる。

-照射時の注意点-

- Non-Coplanar Beamを使用する場合はガントリーとアブチェスの干渉がないか事前に確認する。
- アブチェスの位置や高さが治療計画用CT時と同じであるか確認する。
- 息止めが可能な時間を考慮して1門を数回に分けて照射する。

基本的なことではあるが、事前の下準備をしっかりと行うことが大切であると考え。繰り返しの息止

めは体力を消耗するため、時間がかかるほど再現性も悪くなり、体動も出てきてしまう。

また過去の症例として、摂取した食物の滞留により腫瘍位置が大きく変位してしまうこともあるため、体内環境の再現性を保つため時間帯や前処置に注意することも重要である。

【まとめ】

アブチェスを用いた呼吸性移動対策は、その再現性がほぼ患者様に依存するため、治療計画用CT時でしっかりと理解してもらい、息止めの再現性や持続性を確認することが重要である。これらのことを踏まえて実際の照射に臨むことで、再現性の良い呼吸性移動対策につながっていくと考える。