

アブチェスを用いたDIBH導入時の注意点

山梨大学医学部附属病院 鈴木 秀和

1. はじめに

2012年4月の診療報酬改定にて、体外照射および定位放射線治療において呼吸性移動対策加算が新設された。その方法としては、呼吸停止法・呼吸同期法・動体追跡照射法などが一般的である。しかし、動体追跡法は治療室に大掛かりなシステムが必要であることや、呼吸同期法は呼吸位相を考慮した複雑な治療計画が必要で照射時間も長くなるなどの欠点がある。一方で、呼吸停止法は治療計画においても止まったターゲットに照射するため、従来と変わらず治療計画を行うことができる。呼吸停止法に使用されるデバイスのうち、簡便に利用でき、日本で最も多く使用されている装置¹⁾が、『Abches』である(図1)。



図1. Abchesの外観

Abchesは2本の端子を腹部(Abdomen)と胸部(Chest)に乗せ、呼吸による胸腹壁の上下運動を目盛りの針の振れに変換し、それを患者の額につけた鏡で本人に見せることによって患者自身が呼吸をコントロールするデバイスである。治療計画時にAbchesの目盛りと、体内停止位置の確認を行うことによって、体表サロゲートを体内の呼吸性移動としてリアルタイムに把握することが可能となる。さらに経時的に情報を得ることが

可能なため、呼吸状態の変化を把握することができ常に再現性のよい呼吸停止が可能である。

近年では、がん治療の進歩による長期生存によって、がん治療の既往は循環器疾患の重大リスクとされている。そのため、放射線治療においても左乳がんに対する心臓線量の低減のためにDIBHは非常に重要な技術である²⁾。また、2018年からは左乳がんに対するDIBHが保険収載され、深吸気位において、心臓の線量低減が可能な左乳がんに対して、体外照射呼吸性移動対策加算が算定可能となった。

本稿では、左乳房照射に対するAbchesを用いたDIBHについてその導入と注意点について解説する。

2. アブチェスの特徴

【アブチェスの設置】

Abchesは胸式呼吸と腹式呼吸を感知するために端子が2つ存在する。そのためそれぞれの呼吸を把握できるところへの設置が重要となる。胸部側端子については、呼吸変動の少ない胸骨上の正中を外した胸壁へ配置することとなるが、胸壁については肋骨で囲まれているためどこにおいても安定した変化を取得することができる。また、Abchesの胸壁側端子は長さを変えることができるが、シミュレーション時と照射時を同じにする必要がある。長さの変化によって針の振り幅が変わるため、患者毎に長さを変えての使用では、運用上煩雑となる。そこで当院では、胸壁側の位置の影響は少ないことから長さは固定で使用している。また長い端子棒の付け根のネジは構造上ゆるみやすく、それが針の振り幅に影響するため毎回確認することが必要である(図2)。

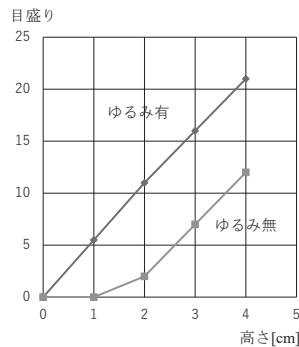


図2. 白矢印部のネジがゆるむ(左図)、ゆるみの有無で目盛りの振り幅が変わる(右図)

腹部側の端子は長さ固定である。腹部の呼吸による変化は胸部に比べ大きいため、Abchesで波形を得るための主要な成分となる。そのため端子の置く位置についても胸部端子より注意をする必要がある。通常腹部側の端子は、剣状突起と臍部の間に設置するが、その位置によって波形変化があることが分かる(図3)。安定した波形を得るためには、なるべく上下動が大きく、呼吸と腹壁の変化が直線的な位置が必要である。図から剣状突起に近いと波高が低く、臍部に近づく波高は高くなるがピークがつぶれるようになる。位置を決めるときは、呼吸と針の振り方に注意をしている。

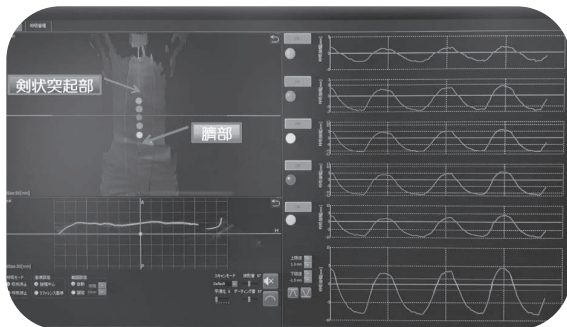


図3. 各ポイントの上下動を波形にしたもので、最下部が合算

【吸気量を決める】

DIBHであるため、最大吸気を目指して呼吸をしてもらうことになるが、息止め照射はプランによっては数十回の息止めが必要となる。そのため常に最大吸気にしてしまうと、呼吸苦や疲れに伴って体を反らせることによって呼吸を行い、十分な呼吸量でなくてもメモリを振らせてしまい、少ない吸気量で息止めしてしまうことが起きる。それを防止するため、当院では最大吸気の7~8

割程度で止めるように調整を行っている。

端子棒部が水平となるように本体の高さを調節し、各端子を設置する。腹部側の端子は皮膚の沈み込みによって十分駆動しないことがあるため端子の下に小さく切ったプラスチックプレートなどを設置すると良好である。その後、まずは自然呼吸とリラックスを心掛けてもらいながら、呼吸のベース位置を確認し目盛りにマーカーを置く。この時点でしっかり緊張を解いておかないと、徐々にベースが下がってしまい、正確に吸気量を再現することが難しくなる。その後、まず鏡を見ずに最大吸気でどの目盛りまで吸えるか確認をし、そこから7~8割程度のメモリとなるように2つ目のマーカーを設置する。それから、患者に鏡を見せて楽に息止めができていないか確認後、この幅を呼吸量とする。使用する目盛りの位置は、ベースをなるべく目盛りの端になるようにする(図4)。これは治療中、咳や深呼吸によってメモリを振りきらせないようにするためで、一度針がメモリを振り切ってしまうと正常に針が応答しないことがあり、その防止策である。

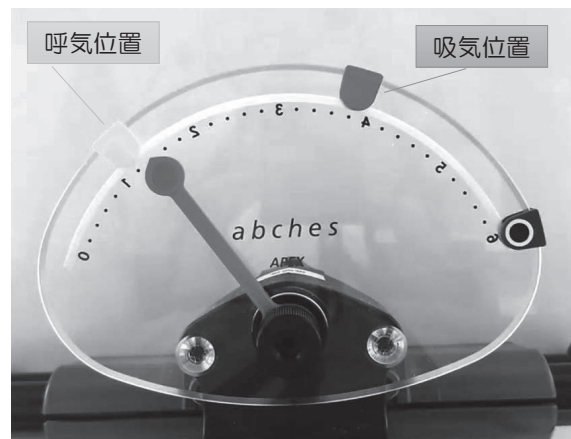


図4. マーカーの使用例

【息の止め方の確認】

息止め照射は、患者の協力があってはじめて成り立つ照射法である。つまり患者に自分の治療に参加してもらう必要がある。そのためには息止めの目的や方法については十分説明し、理解いただくことが大切となる。そのためにも事前の息止めの練習が重要である。

息を止めるときに頑張って止める患者がいる。しかし、強く息を止めるとお腹に力が入り、決め

られた目盛りで止めることができない、さらに息を止めている途中で力が緩んでしまい止めていた針が動いてしまうことにつながる。事前の説明では息の止め方は自然な呼吸の中で、「止める！」のではなく、決められた目盛りのところまでゆっくり吸って来たら、それ以上吸うのを「待つ！」のように説明すると力を入れずに止められることがある。また、自分で止めるタイミングがつかめない患者の場合は、こちらで指定した目盛りまで来たタイミングで「止めて！」と合図するとピタッと止められることもある。注意をしたい息の止め方として、目盛りを通り過ぎて、針を戻しながら合わせる止め方である。この場合、呼気で合わせているのかお腹の張りで合わせているのか本人も含めて分からないため、採用すべきではないと考える。どうしてもこれでは止められない場合は、十分体内の移動を確認してから用いる必要がある。

息を止める合図をどのように言うかも重要である。よくあるレントゲン撮影のように「息を吸って、止めてください」は当院では使っていない。患者自身は目盛りを見ながら呼吸をして、決めたところで止めなければならない。そのため、呼吸のリズムに合わない合図が入ると混乱して正確に止めることが難しくなる。そこで当院では、「おねがいします」とだけ合図して、自分のいいタイミングで、必ず息を吐いてベースから決められた目盛りまで吸うように息止め練習時に指導をしている。中には理解ができない患者もいるが、その場合は患者の呼吸を確認し、最大呼気のタイミングで「息を吸って、止めてください」のように、針の振りに合わせて合図を出すようにしている。

これらの練習の時は、十分患者の特徴を理解し、最もやりやすく、より再現性のよい方法を試すことが重要である。

Abchesを用いた息止めは、額につけた鏡を用いて自身の呼吸を確認しながら行う。この鏡を用いた方法が、人によって自身の呼吸と針の動きとが同調できず、徐々に苦しくなる患者がいる。そのような場合は、息を止める以外は目をつむるようにして楽に呼吸できるよう促している。

2. DIBHの運用

当院では、左乳癌への照射に対しては原則全例DIBHで行っている。しかし、その移行へは多くの労力や時間がかかることは明白である³⁾。当院においても自由呼吸下の照射に比べ約2倍程度の時間増加となっている。左乳房DIBH照射のフローについて以下に紹介する。まず診察後治療方針が決定し、息止め練習とシミュレーションCT撮影を行う。その時にDIBH下で計画用に広範囲を撮影、息止め再現性評価用にDIBH下における心臓付近の撮影を3シリーズ、心臓が十分胸壁から離れているかを確認するために自由呼吸下のCTを撮影している。次に輪郭抽出、治療計画と最適化でそれぞれ1日（3D-CRTであればすべてで1日）。登録や検証で1日。以上で数日から1週間程度で治療開始となる。

3. まとめ

Abchesを用いたDIBHは、簡便なデバイスで、目盛りを直接見る単純なVisual Coachingのシステムであり、患者にとっても易しい照射法である。単純な2点の上下動のみを取得するシステムであるが、その呼吸再現性の精度については十分であることが確認されている⁴⁾。さらに当院では、右乳房を含め、PMRTの様につなぎ目がある照射についてもDIBHによる息止め照射を行うことによって線量の過不足を防ぎ、さらにはVMATを併用することでより高精度な照射を実現することが可能となっている。

昨今DIBHについての講演を多く聞かれる。それだけ皆が注目し、その必要性を認知しているからに他ならない。すでに多くのデバイスが登場し運用されているが、Abchesに限らず全てに共通するのは、患者の息止めをどれだけ再現よく行うことができるのかという点である。本稿ではAbchesを用いたDIBHを紹介した。息止めを制すれば、息止め照射を制すると考える。今後多くの施設で精度の良い息止め照射が実施されることを願ってまとめとする。

【参考文献】

- 1) 日本医学物理学会QA/QC委員会第2班 IGRT/IMRTワーキング. IGRTで利用している装置、IMRTの照射技術に関するアンケート. 医学物理学会 2016;
- 2) Lyon AR, López-Fernández T, Couch LS, et al. 2022 ESC Guidelines on cardio-oncology developed in collaboration with the European Hematology Association (EHA), the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO) and the International Cardio-Oncology Society (IC-OS). *Eur. Heart J.* 2022; 43(41): 4229–4361.
- 3) Chatterjee S, Chakraborty S, Moses A, et al. Resource requirements and reduction in cardiac mortality from deep inspiration breath hold (DIBH) radiation therapy for left sided breast cancer patients: A prospective service development analysis. *Pract. Radiat. Oncol.* 2018; 8(6): 382–387.
- 4) Onishi H, Kawakami H, Marino K, et al. A simple respiratory indicator for irradiation during voluntary breath holding: A one-touch device without electronic materials. *Radiology* 2010; 255(3): 917–923.

SGRTを用いたDIBH導入時の注意点

金沢大学附属病院 放射線部 小島 礼慎

1. はじめに

心血管系疾患の発症リスク低減を目的とし、左乳房への深吸気呼吸停止 (deep-inspiration breath hold: DIBH) 照射が広く実施されている。DIBH照射を成功させるためには、呼吸ゲーティングおよび標的のトラッキングを正確かつ高精度に実施可能な手法やシステムが必要とされる。従来、RPM (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA) や Abches (APEX Medical, Inc., Tokyo, Japan) などの患者体表面に配置されたサロゲートを介して、呼吸同期波形を検知する皮膚接触タイプのシステムが広く利用されていたが、近年では、図1に示す Catalyst (C-RAD AB, Uppsala, Sweden) や AlignRT (Vision RT Ltd., London, UK) などの体表面画像誘導放射線治療 (surface-guided radiation therapy: SGRT) システムによる非接触タイプが普及してきている¹⁾。本稿では、SGRTシステムの概要や品質保証 (quality assurance: QA)・品質管理 (quality control: QC) について解説した後、SGRTシステムを用いたDIBH照射のワークフローやピットフォールを述べ、導入時の注意点やキーポイントを示す。



図1. SGRTシステムCatalystの外観図

2. SGRTシステムの概要

SGRTシステムでは、デジタル的に構造化またはパターン化された可視光を患者の体表面に投影し、反射光を捕捉することで3次元的な体表面画像をリアルタイムで再構成する。そして再構成されたライブ画像とリファレンス画像をレジストレーションし、2つの表面画像を一致させるために必要な3軸の並進シフト量と回転シフト量を計算する。これらのシフト量を利用し、患者のポジショニングやモーションモニタリングを実施する。SGRTシステムのレジストレーションアルゴリズムには、剛体レジストレーションもしくは非剛体レジストレーションが採用される。表1に示すように、各ベンダーが採用するSGRTシステムの仕様やレジストレーションアルゴリズムは多様であり、ユーザーはコミッショニングやQA・QCにおいて利用時の影響を考慮する必要がある。

表1. AAPM TG-302¹⁾における市販のSGRTシステムの概要

システム	AlignRT	Catalyst	IDENTIFY
ハードウェア	1-3カメラ (-90° 間隔)	1-3カメラ (120° 間隔)	3カメラ (-90° 間隔)
視覚化	Stereovision using a speckle pattern	Structured light imaging	Stereovision using a speckle pattern
信号フィードバック	Visual	Audio & visual	Visual
フレーム数	4-24 fps	8-24 fps	10 fps
ポジショニング精度 (ファントム)	< 1.0 mm, < 1.0°	< 1.0 mm, < 1.0°	< 1.0 mm, < 1.0°
計算アルゴリズム	Rigid	Deformable	Rigid

さらにSGRTシステムでは、サロゲートを介さずに胸壁や腹壁に設定された関心領域 (region of interest: ROI) 内の変動量を直接的にリアルタイムに測定することで、呼吸同期波形の取得、標的のトラッキングやビーム制御を実施可能である。非接触で呼吸同期波形を取得可能であるため患者の快適性の向上が見込めるとともに、サロゲー

トの配置位置の不確かさに起因した呼吸同期波形の再現性の低下を抑制できる特長がある。乳房など体表面に存在する標的に対してSGRTシステムは特に有用であり、非侵襲的、かつ、皮膚マークレスでの臨床運用が可能である。

3. SGRTシステムのQA・QC

SGRTシステムにおいても、X線を利用した画像誘導放射線治療 (image-guided radiation therapy: IGRT) システムと同様に、照射系の座標中心と照合系の座標中心の一致性の確認は最重要事項である²⁾。また、SGRTシステムのハードウェアやソフトウェアの特性を理解し①皮膚表面色の違い②リファレンス体表面画像の違い③ROI設定の違い④カメラの遮断による位置精度への影響に対するQA・QCを実施することも重要である。DIBHの場合、静的な位置精度やシステム性能の評価に加え、動的な呼吸同期に係る位置精度や応答時間精度の評価も要求される。例えば、SGRTを用いた左乳房DIBH照射の場合、応答時間が1.0秒未満であることを確認すべきである。

コミッシュニング時や定期的なQA・QCには、総合的照射位置精度試験 (End to End 試験) の実施が推奨される。特に、コミッシュニング時やハードウェアやソフトウェアアップデート時は、CTシミュレーションから照射までの一連の過程におけるシステムの位置精度の把握および放射線治療装置や治療計画装置とのデータ転送の確認を実施する。またSGRTによる位置誤差を最小化する体輪郭描出のために、CT値のしきい値設定を最適化することや、撮影パラメータやアーチファクトなどのCT関連要因が位置照合精度に与える影響を把握しておくことも重要である。

コミッシュニングやQA・QCの実施に際しては、AAPM TG-142³⁾、TG-147⁴⁾、TG-302¹⁾などの各種ガイドラインを参考にされたい。なお、AAPM TG-76⁵⁾のDIBHの呼吸マネジメントに関する一般的な推奨事項は、SGRTを用いた場合にも適用可能である。

4. SGRTを用いた左乳房DIBH照射

SGRTシステムを用いた左乳房DIBH照射のワークフローの一例を図2に示す。

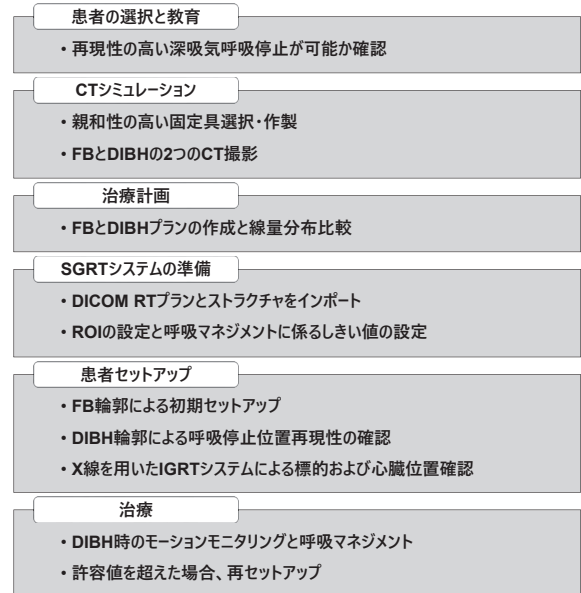


図2. DIBHのワークフローの一例

4-1. 患者の選択と教育

患者の選択は、SGRTを用いたDIBHにおいても最も重要なステップの1つである。乳癌患者の大半は、他病変の患者と比べて自発的な息止めを行うことができる傾向にある^{6,7)}が、再現性の高い持続可能な深呼吸呼吸停止が実現可能であるかどうかを診察時に事前にスクリーニングする必要がある。CTシミュレーション前には①胸式呼吸により胸や肺を膨らますこと②高い再現性で最低でも10秒間停止可能な吸気量を維持すること (最大吸気ではなくとも可) ③背中を丸めるなど体幹部の骨格を大きく動かさないことなどを患者に教育することが重要である。

SGRTでは患者の体表面を必ず露出させる必要があり、衣服の着用は技術的に困難である。また、治療中は常にSGRTシステムから光が照らされており、まぶしさをストレスに感じる恐れがある。これらのSGRT特有の注意事項についても患者へ十分説明し、理解を得るべきである。

4-2. CTシミュレーション

固定具選択・作製は、SGRT以外のDIBH照射

のときと同様で問題はない。しかしながら、吸引式固定具を用いる場合には、SGRTシステムのROI内に固定具が入り込みすぎないように注意を払う必要がある。また乳房全切除後の患者や乳房組織が垂れた患者では、頭尾方向のレジストレーション精度低下が顕著に起こりうる¹⁾。図3で示すような傾斜台を利用することで、SGRTシステムにおける上胸部の可視化領域の増加や乳房の下垂位置の安定化が図れ、レジストレーション精度の改善につながる可能性がある。

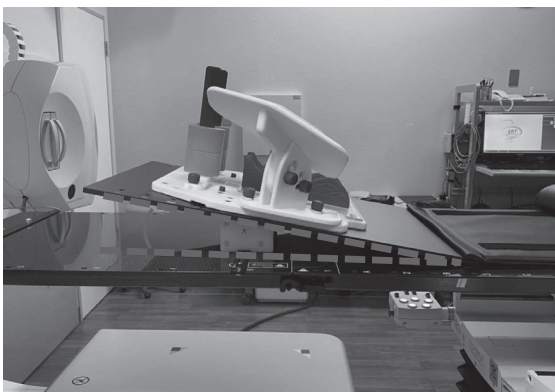


図3. 市販の傾斜台

SGRTによる左乳房DIBH照射においては、自由呼吸 (free breathing: FB) とDIBHの両条件下でCT撮影する。FB撮影は、線量分布やリスク臓器の解剖学的変位を比較することでDIBHを正当化するため、患者の初期セットアップ用のリファレンス体表面画像に利用するために実施する。DIBH撮影では、標的となる乳房の変位と呼吸同期波形との間の再現性の高い相関性を得るため、CT室で利用可能なSentinel (C-RAD AB, Uppsala, Sweden) や GateCT (Vision RT Ltd., London, UK) などのSGRTシステムを利用する。図4で示すように、解剖学的に傾斜の少ない剣状突起や胸骨部にROIを配置し、ROI内の信号の振幅が10–20 mmとなるように音声ガイドやゴーグルなどの視覚的フィードバックを用いて撮影する⁸⁻¹⁰⁾。胸部ROI内の信号の振幅が5 mm以下になってしまう場合は、腹部ROIを設定するなどの対応も有効である¹¹⁾。

CT室で利用可能なSGRTシステムがない場合は、RPMやAbchesなど他のシステム、皮膚マーキングとレーザーやX線透視装置などを代用し、

初回治療時にSGRTシステムの設定を最適化することでも対応可能である。

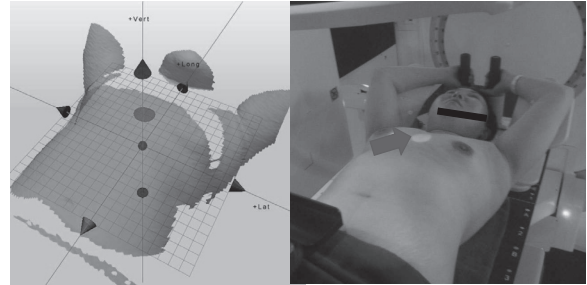


図4. 呼吸マネジメント用ROIの設定例

4-3. 治療計画とSGRTシステムの準備

治療計画では、SGRT以外のDIBH照射のときと同様に、FBとDIBHの両者のプランを作成する。標的への線量集中性、心筋や心血管への線量低減をFBと比較した上で、DIBHの利用を正当化する。正当化できない場合は、FBによる治療に変更することも可能である。

SGRTシステムの準備のために、まず、治療計画装置で作成されたDIBHのプランとストラクチャをSGRTシステムへエクスポートする。次に、FBのプランとストラクチャをエクスポートするが、この時、DIBHプランと同一のアイソセンタ座標に設定しなければならない。SGRTシステムによってはDIBHプランとFBのストラクチャをエクスポートすることでも対応可能である。

SGRTシステムでは、これらのプランとストラクチャをインポートし、図5で示すように、患者セットアップ用のROIを設定する。腕や顎をROIに含めることで乳房のレジストレーション精度が低下する場合は、ROI内から除外する。さらにDIBHのために、呼吸マネジメント用のROIとしきい値を設定する。呼吸マネジメントに係るしきい値は3–5 mm、2–3°とする¹⁾。なお、CT室でSGRTシステムを利用した場合は、呼吸マネジメントのための設定を継続利用することが可能である。

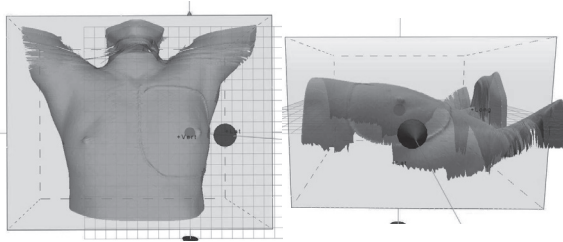


図5. 患者セットアップ用ROIの設定例

4-4. 患者セットアップと治療

患者の不快感や疲労を軽減するために、FBの体輪郭をリファレンス体表面画像とし、患者の初期セットアップを行う。次に、DIBHの体輪郭をリファレンス体表面画像とし、再セットアップすることでポジショニングによる位置誤差と深吸気呼吸停止の再現性の問題を区別することができる。その後、設定したしきい値内で深吸気呼吸停止が可能となるまで練習を行う（図6）。

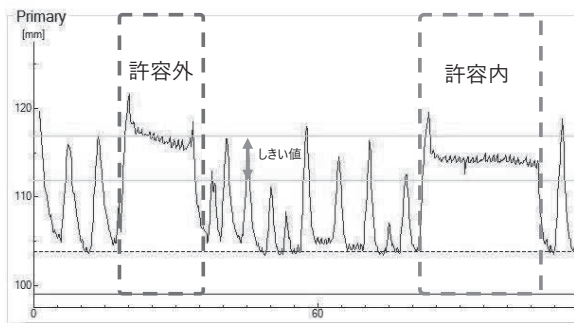


図6. DIBHにおける呼吸マネジメント

治療開始前とその後定期的に、X線を利用したIGRTシステムやMVポータル画像で標的位置および心臓位置を確認し、SGRTシステムとの整合性を評価することが重要である。もし、SGRTシステムとの整合性が確認できない場合は、再治療計画やリファレンス体表面画像の再取得が必要となる。整合性が確認できた場合は、適宜、呼吸停止の教育や微調整を追加しながらDIBH照射を施行する。

5. ピットフォール

SGRTを用いた左乳房DIBH照射において、しばしば遭遇するピットフォールについて例示する。

5-1. ボーラスの不可視化

透過性のボーラスは光の乱反射により体表面画像が正確に再構成されず、レジストレーション精度低下の恐れがある。

薄いガーゼや不透明なテープ貼付などで可視化可能である（図7）。しかしながら、ボーラス表面と標的となる乳房表面との位置の相関性や一致性を確認する必要がある。

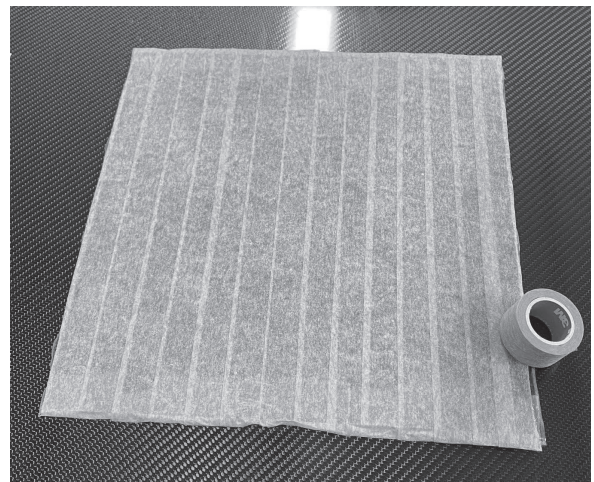


図7. テープ貼付したボーラス

5-2. 体表面の形状変化や変色

術後液体貯留の増減や乳房や周囲軟部組織の腫脹・萎縮によって体表面形状が変化することがある。また放射線性皮膚炎などにより皮膚が暗褐色に変色する。これらはレジストレーション精度低下を招く恐れがある。

前者の場合は、ROIの再設定やリファレンス体表面画像の再取得が有用である。後者の場合はSGRTシステムのカメラ露光量に係る設定値を最適化する必要がある。

5-3. カメラ遮断の影響

ガントリヘッドやイメージングアームなどによりSGRTシステムのカメラが遮断された際、可視化領域が減少するためレジストレーション精度や呼吸マネジメントに影響を及ぼす恐れがある。

カメラが遮断されないガントリ角度に回転・移動し、レジストレーション結果や呼吸同期波形に変化がないことを確認する。カメラ遮断の影響と判断できれば、適宜、しきい値の拡張や自動ビーム制御をオフにするなどの措置を講じ、照射を継

続することも可能である。

6. さいごに

本稿で述べたSGRTを用いたDIBH導入時の注意点・キーポイントを以下に示す。

- SGRTでは肌の露出が必須であるため、患者への説明と理解が必要である。
- SGRTを用いたDIBH照射の場合であってもAAPM TG-76を参考にすべきである。
- FBのリファレンス画像は初期セットアップと解剖学的変化の検出のために使用し、DIBHのリファレンス画像は呼吸停止の再現性確認に使用する。
- 患者セットアップ用ROIはレジストレーション精度に影響するため最適化する必要がある。
- 呼吸マネジメント用ROIは胸骨や剣状突起に設定し、ビーム制御のために3-5 mm、2-3°のしきい値を設定する。
- 初回治療時とその後定期的に、X線を使用したIGRTシステムで標的と心臓位置を確認し、SGRTシステムとの整合性を評価する。
- ポーラスの使用、体表面形状変化や変色、カメラ遮断へ注意を払う必要がある。

7. 参考文献

- 1) Al-Hallaq HA, Cerviño L, Gutierrez AN, et al. AAPM task group report 302: Surface-guided radiotherapy. *Med Phys.* 2022;49(4):e82-e112. doi:10.1002/mp.15532
- 2) 日本放射線腫瘍学会. 画像誘導放射線治療の臨床施行のためのガイドライン2022.
- 3) Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators. *Med Phys.* 2009;36(9):4197-4212. doi:10.1118/1.3190392
- 4) Willoughby T, Lehmann J, Bencomo JA, et al. Quality assurance for nonradiographic radiotherapy localization and positioning systems: report of Task Group 147. *Med Phys.* 2012;39(4):1728-1747. doi:10.1118/1.3681967
- 5) 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. doi:10.1118/1.2349696
- 6) Wiersma RD, McCabe BP, Belcher AH, Jensen PJ, Smith B, Aydogan B. Technical Note: High temporal resolution characterization of gating response time. *Med Phys.* 2016;43(6):2802-2806. doi:10.1118/1.4948500
- 7) Tanguturi SK, Lyatskaya Y, Chen Y, et al. Prospective assessment of deep inspiration breath-hold using 3-dimensional surface tracking for irradiation of left-sided breast cancer. *Pract Radiat Oncol.* 2015;5(6):358-365. doi:10.1016/j.pro.2015.06.002
- 8) Li G, Lu W, O'Grady K, et al. A uniform and versatile surface-guided radiotherapy procedure and workflow for high-quality breast deep-inspiration breath-hold treatment in a multi-center institution. *J Appl Clin Med Phys.* 2022;23(3):e13511.
- 9) Kügele M, Edvardsson A, Berg L, Alkner S, Andersson Ljus C, Ceberg S. Dosimetric effects of intrafractional isocenter variation during deep inspiration breath-hold for breast cancer patients using surface-guided radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys.* 2018;19(1):25-38. doi:10.1002/acm2.12214
- 10) Schönecker S, Walter F, Freislederer P, et al. Treatment planning and evaluation of gated radiotherapy in left-

sided breast cancer patients using the CatalystTM/SentinelTM system for deep inspiration breath-hold (DIBH). *Radiat Oncol.* 2016;11(1):143. Published 2016 Oct 26. doi:10.1186/s13014-016-0716-5

- 11) Zeng C, Fan Q, Li X, et al. A potential pitfall and clinical solutions in surface-guided deep-inspiration breath-hold (DIBH) radiotherapy for left-sided breast cancer. *Advances in Radiation Oncology*, In Press Journal Pre-Proof, Published online: 2023 May 27. doi: 10.1016/j.adro.2023.101276