

深吸氣息止め照射の臨床導入

聖路加国際病院 放射線治療品質管理室 山内 遼平

はじめに

本稿では、乳がんに対する深吸氣息止め照射 (Deep inspiration breath hold : DIBH) を新規に臨床導入を目指す、あるいは既存方法をアップデートし最適化しようとする施設に向けた内容について概説する。当院では汎用リニアック (CLINAC iX, Varian) および同装置付属の赤外線カメラシステム (Real-time Position Management (RPM) System, Varian) を用いてDIBHを実施している。このため、これらの装置を使用した臨床導入の注意点について説明するが、他の装置でも共有する点があるので参照していただくと幸いである。

乳がんに対する心臓線量低減の目的とその背景

乳がんは女性に最も多いがんであり、2020年の世界での発生率は226万人と推定されている¹⁾。乳がんに対する放射線治療が、局所再発や乳癌特

異的死亡のリスク低減を目的に標準治療として行われている^{2) 3)}。一方で、放射線治療時の偶発的な心臓への放射線被ばくが、治療終了数年後の放射線誘発心毒性のリスクの増加と関連があることが報告されている^{4) 5)}。Darbyらは、急性冠動脈イベントの発生率が平均心臓線量 (Mean heart dose : MHD) と関連があることを示し、MHDが1Gy増えるとその発生率が7.4%直線的に増加することを示した⁶⁾。Darbyらの研究では、研究デザイン (case-control study)、照射技術が旧式であること、MHDが2次元データから再構成していること、など限界があった。2017年には、van den Bogaardらが現代の放射線技術および分割スキームに基づく患者の独立コホートに対して解析し、Darbyらと同様の結果が得られたと報告した⁷⁾。さらに、5Gyを受けた左心室の体積 (LV-V5) が急性冠動脈イベントの予測因子として優れていることも示した。左前下行 (left anterior descending : LAD) 冠動脈は、その解剖学的位置から高線量の放射線を受ける可能性が高く、LADへの放射線照射と心血管疾患のリス

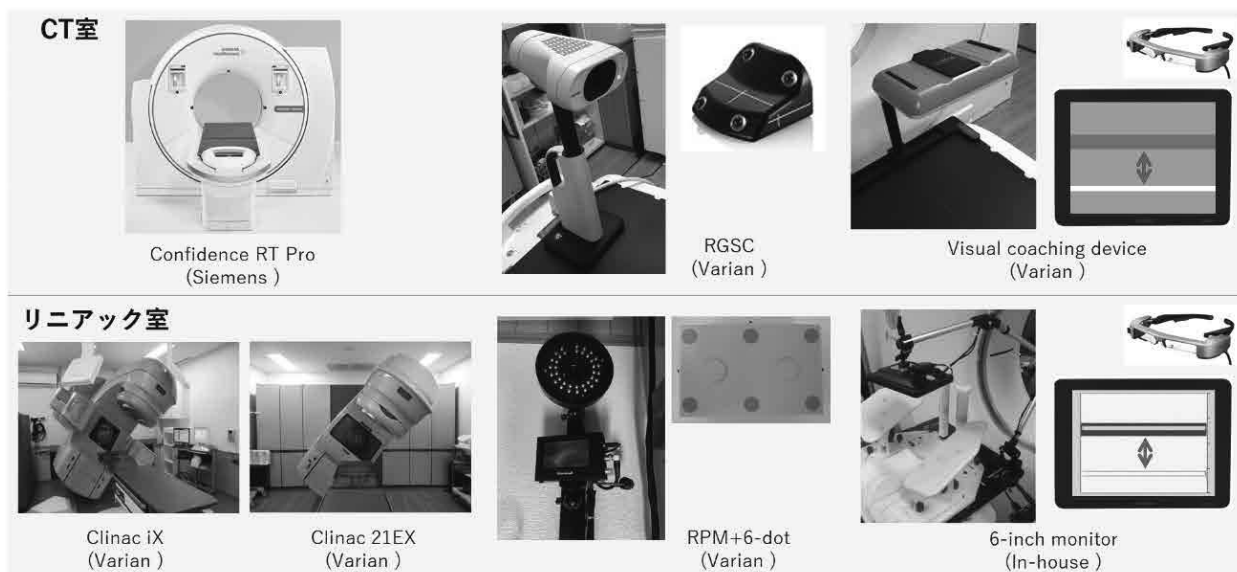


図1. 聖路加国際病院におけるDIBH実施のための治療機器と関連機器
RGSC : Respiratory Gating for Scanners、RPM : Real-time position management

ク上昇との関連が報告されている。また、乳がん患者はアントラサイクリン系化学療法や抗HER2抗体（トラスツズマブ）を投与していることもあり、これらの薬剤は心毒性を増幅することが分かっている。化学療法および放射線治療の心血管系副作用の概要については、従前の報告を参照されたい^{8) 9)}。

心臓線量低減が可能な技術

前項で示したように、乳がん放射線治療時の心臓線量低減が心毒性の発生率低減に有用であることが示されている。心臓への照射を保護あるいは回避可能な技術¹⁰⁾には、

- (1) 心臓を胸壁から離す方法：深吸気息止め照射または腹臥位
- (2) 先進技術を利用する方法：強度変調放射線治療または陽子線治療

がある。この中で、DIBHは世界中で最も使用されている方法であり、簡便に利用可能な技術である。

DIBHは、深吸気息止めをすることで心臓と胸壁の間に間隙を設けることで線量低減を図る

方法であるが、強制的な呼吸制御を行う場合は modulate DIBH (mDIBH)、自発的に呼吸制御する場合は voluntary DIBH (vDIBH) に分類される。筆者が知る限り、mDIBHは active breathing coordinator システム (Elekta) を使用する方法が一般的であり、国内では使用されていない。一方で、vDIBHは、皮膚マークと室内レーザーを用いる簡易的な方法から赤外線カメラシステムや体表面監視システムなど専用の機器を用いるものまで多岐にわたる^{11) 12)}。最近の研究では、mDIBHとvDIBHの間で心臓線量や心臓位置の再現性に差はないと報告されている^{13) 14)}。

当院におけるvDIBHの実施手順と臨床導入する際の注意点

図2に当院のvDIBHの (a) CTフローおよび (b) 照射フローを示す。診察時の適用決定から照射までの一連の流れに従って、汎用リニアックと赤外線カメラシステム (RPM) の組み合わせによるvDIBHの工夫した点や注意すべき点について、当院の方法を交えて説明する。



図2. 聖路加国際病院におけるCTおよび照射時のフロー

【1. DIBH患者の適用基準】

vDIBHは患者に自発的な息止めを要求するため、患者の協力が不可欠である。また、25回や16回の治療では合計数百回程度の息止めが必要となるため、照射方法や息止めへの理解が可能であることは必須である。当院では、医師の診察や看護師のオリエンテーション時に患者をよく観察し、適用の判断を行っている。

上記のほかに相対的な適用基準として、「息止めが20秒以上可能なこと」、「70歳以下であること」、「原発領域がA、BあるいはD領域であること」、「BMIが30.0kg/m²以上でないこと」を設けている。息止め時間が短いと息止めの回数が増え、結果として再現性の低下や治療時間の延長を招く恐れがある。年齢による制約は、息止め時間や理解力との関連があり、経験則から高齢の患者には案内を控えている。原発領域やBMIは心臓線量を予測する因子として有効であり、詳細については先行研究を参照されたい^{15) 16)}。患者因子以外にも、CTやMRIなど事前の検査で画像を取得している場合は、心臓位置と腫瘍床との位置関係を評価するために積極的に利用している。

ESTRO-ACROP guideline で、DIBH実施にあたり十分な練習時間を設けること、息止め時間は15~20秒できること、息止め振幅が1cmとなること、コミュニケーションが取れることを推奨している¹⁷⁾。

【2. 患者教育】

当院でvDIBHを実施する際は、その患者にとって“適切な量”を“再現良く”、“無理せず”に深吸気息止めが“20秒程度”できることを大事にしている。患者教育を行っていない時期のDIBHの誤った認識として多かったものが、「吸気量は多ければ多いほど良い」、「息止め時間は長いほど良い」、「多く吸えたのでいつもより多く吸ってみた」などである。この認識により、息止めの再現性や精度が低下し、治療時間の延長や画像取得回数が増加する事があった。

この状況を改善することを目的として、看護師によるオリエンテーション時にDIBHに関して動画やパンフレットを用いた説明(図3)とベッドでの実体験を導入した。この際、“適切な量”を“再現良く”、“無理せず”に深吸気息止めが“20秒程度”できることを確実に理解してもらうことを徹底している。動画やパンフレットを用いることのメリットとして、説明者間での内容のばらつきを減らすとともに、患者自身のペースで看護師が付き添わずに理解を促すことが可能となる。動画やパンフレットでは、DIBHに関してや息止めの注意点、自宅での呼吸練習を含む内容としている。当院の説明動画と内容が類似したものがYouTube(“What is it and how does it help in radiation therapy?”)にも挙がっている。自宅での呼吸練習は、息止めの再現性や時間の延長



図3. 患者教育用パンフレット

が向上するだけでなく、線量低減も可能であったという報告もある¹⁸⁾。これらの導入には多くのコストがあるため、施設の状況に応じて検討する必要があるものの、患者の理解度向上は必須であると考え。職種ごとの役割については、呼吸性移動対策ガイドラインも参照すると良いだろう¹⁹⁾。

【3. 息止め方法】

図4に、胸式呼吸と腹式呼吸時の体表面の変位の仕方の違いを示す。胸式呼吸では、胸の筋肉および肋骨を動かして胸郭の拡張を行うため、胸が優位に膨らむ。腹式呼吸では、横隔膜を収縮・弛緩させて胸郭の拡張を行うため、腹が優位に膨らむ。

呼吸方法の選択（胸式呼吸あるいは腹式呼吸）においては、いくつかの検討が行われている。腹式呼吸は胸式呼吸に比べて、心臓線量低減が可能であったと報告されている²⁰⁾。一方で、位置再現性に関しては胸式呼吸のほうが良好であったと報告されている。従って、それぞれ一長一短であり、患者によっては切り分けできないことも多いため、施設内で方針を決めてイレギュラーな場合のみ対応するとよい²¹⁾。

息止め方法とともに吸気量についても考慮が必要である。当院では、DIBH時の吸気量を最大吸気量の70%~80%を目安にしている。最大吸気量の場合、体に力が入りすぎる、複数回息止めできない、日間の差がある、といったデメリットが多いからである。吸気量の多さに従い線量低減が可能であるものの、当院では再現性を重視してい

る。

RPMマーカーを用いる方法では、マーカー位置（点）の体表面移動情報を取得・追跡しているため設置位置に注意が必要である。呼吸信号を代替するような位置にマーカーを置く必要があるからである。当院では、胸式呼吸を行ってもらい、マーカーは胸部（対側乳房中心）に配置することで、呼吸による信号の検出感度が高くなるようにしている。この方法は標的である乳房の動きを直接監視できるメリットがある。腹部に配置した場合、腹筋の力の入れ方で振幅を容易に変更してしまうことが事前の検証で判明したため臨床使用は行わなかった。経験上、完全胸式呼吸の患者はほとんどいないが、患者が意識した（思う）胸式呼吸を一貫して行うことが大事である。このとき、呼吸による振幅は少なくとも0.5cm以上となるよう指導し、自由呼吸時の振幅との切り分けができるようにしている。

【4. CT撮影時における息止め再現性の確認】

息止め位置の再現性は、皮膚マーキングの変位、RPMの信号値、CT画像によって確認・評価することが一般的である。

当院では、CT撮影の際に息止めの練習を何回か行い、自由呼吸時および息止め時にマーキングを行うことで、変位位置を視覚的に評価している。このとき、患者を直接観察し、呼吸方法の再現性や背中が浮いていないか、腕や肩に力が入っていないか確認することも重要である。

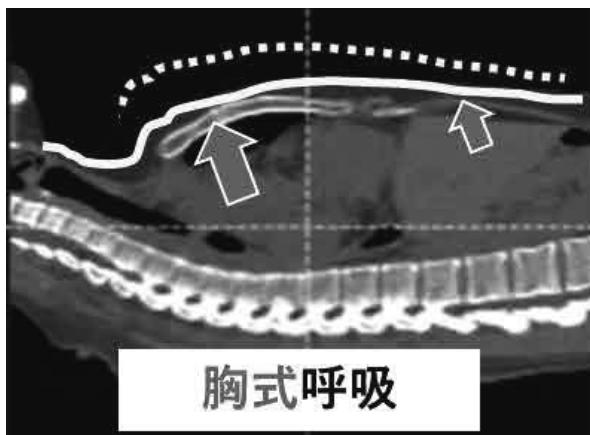
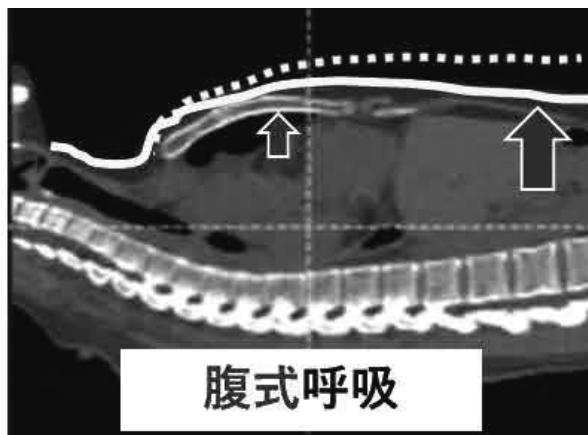


図4. 胸式呼吸と腹式呼吸時の体表面の変位の仕方の違い



RPMの信号値は、マーカーの3軸の移動量または波形が利用可能である。対側乳房にマーカーを置いているため、標的である乳房の位置再現性が評価できる。当院では、この値のばらつきが2mm以内になるようにしている。

CT撮影を行う方法が最も直感的であり、乳房位置だけでなく、心臓位置や椎体の変位なども評価できる。当院では被ばく低減のため省略しているが、導入直後10例程度は低線量CTスキャンも併用し、RPM信号値と画像の相関を評価することを推奨する。

【5. Visual feedbackの利用】

【4. CT撮影時における息止め再現性の確認】における再現性を高めるため、当院では2016年よりVisual feedbackの利用をしている。Visual feedbackは、図1右に示すような小型モニターやゴーグルなどを用いて、呼吸信号をバーモデルなどで表示し、患者へ視覚的に情報を共有するものである。日内・日間で常に同じ息止め（量や呼吸法、タイミングなど）を行うことは容易でない。以前解析した結果では、Visual feedbackの利用により有意に位置精度が改善し、約90%のフラクションで治療計画に対して±3mm内に収まっていた²²⁾。当院では、市販の映像機器を用いて、RPMの映像を分岐して患者へ見せている。近年、治療装置やCT装置をインストールした施設では、Visual coaching device (Varian)も納入されていることもあるだろう。Visual feedbackの利用により再現性や患者理解度の向上が見られ、照射時のゲーティング幅の低減（±2mm→±1mm）や照射時間の短縮を達成することが可能である。Visual feedbackの注意点として、息を吸ってゲーティング幅で止める際に、2秒程度のゆっくりした呼吸を意識すると止めやすくなる。また、通信障害や映像機器の不備で使えないこともあるため、不具合時のフローをあらかじめ決めておくことを推奨する。

同様の患者へ呼吸情報をフィードバックする方法として、Audio feedbackもある。これは、音声により呼吸のタイミングを指示するもので

あるが、振幅を制御するDIBHにおいてはVisual feedbackのほうが有用とされている²³⁾。しかし、特別な機器も必要ないためより簡便に導入が可能である。息止めの合図が操作者によってばらつくことを防ぐために、録音データを利用することで、再現性の向上が図れる可能性がある。

【6. 治療計画および線量評価】

当院のDIBHにおける治療計画方法は、基本的に自由呼吸時と同じである。PTVマージンも、自由呼吸での振幅と息止めの不確かさで大きな差がないため変えていない。しかし、息止めが上手くない患者で心臓が近い場合には、治療計画をする医師へ申し送りを行っている。治療計画の際には、LAD位置が息止めや心拍による不確かさがあることや腋窩リンパ節の位置が息止めや腕の挙上具合により変位があることに注意が必要である^{24) 25)}。

診療報酬上の定義として、呼吸性移動対策加算を算定するには、「深吸気位において心臓の線量低減が可能な左乳がん」が対象であり、「呼吸性移動対策を行わない場合よりも心臓が照射野から遠位に外れるため心臓線量の低減が実現可能である（呼吸性移動対策ガイドライン）」とされている。心臓が照射野から遠位に外れることを示す有用な方法は提案されておらず、当院では全例に対して自由呼吸時のCTで治療計画を行っている。図5に治療計画した一例を示す。心臓線量（MHD： D_{mean} および V_{5Gy} ）について評価し、低減できることを証明している。図6は、当院での臨床開始後85例におけるDIBH実施の有無によるMHDの

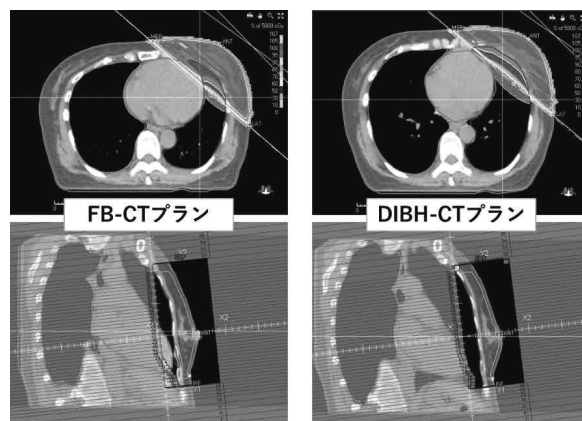


図5. 治療計画の一例

比較である。従前の報告から、DIBH実施によりMHDは約50%低減可能であり、自由呼吸時のMHDが高いほど低減率は高くなる(=DIBHの効果大きい)¹⁵⁾。治療計画を2つ行うことは臨床においては非常に困難かもしれないが、導入直後20~30例程度計画を行い、従前の報告との比較や患者因子(体型、吸気量、呼吸方法など)による変化を観察することを推奨する^{13) 26) 12) 27)}。

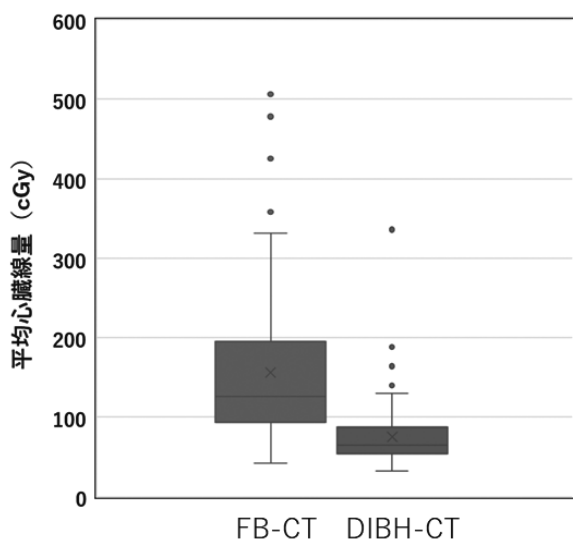


図6. DIBH実施の有無によるMHDの比較 (n=85)

【7. 治療中の位置評価・監視・追跡】

当院では、治療体位で息止め練習を最低1回行ったのち、照合あるいは照射としている。照合は、照射方向からのMV画像(またはkV画像)を用いている。RPMを用いたDIBHにおいて、得られる画像はセットアップエラーと息止めエラーが合成されたものであることに注意が必要である。両者を切り分けて照合中に即時に判断することは容易でない。また、RPM信号値が適切でも体内臓器位置が不適切なことは往々にして生じる。そのため、固定具の選定やセットアップ方法、Visual feedbackの利用など、可能な限り各要素における不確かさを小さくしなくてはならない。明らかな息止め方法の変化を検出できるように、基準画像には計画CT時の心臓位置を表示している。これにより、患者へのフィードバックが可能となる。

治療期間内での画像取得は治療開始後3回およ

び3日間に1回の頻度で照合撮影している。また、治療期間中は照射中のシネ画像を取得し、乳房や心臓位置の変化を監視している。患者によっては、RPM信号値は適切であるにもかかわらず、息が漏れていたり、体が回転したりする患者がまれに存在する。追加に被ばくなしで多くの情報を得ることができるため、手技が煩雑にならない限り、シネ画像を取得することが推奨される。

【8. 品質管理・品質保証】

RPMを用いたDIBHにおける品質管理・品質保証においては、AAPM TG-76²⁸⁾、TG-142²⁹⁾、TG-147³⁰⁾を参照すると良い。特に、TG-147は放射線治療用非放射線位置決め装置の品質保証に関する報告であり、RPMシステムがこれに該当する。また、SGRTに関するガイドラインであるAAPM TG-302³¹⁾、ESTRO-ACROP guideline¹⁷⁾は、品質管理・品質保証だけでなく、DIBH時のリスク管理やワークフローの提示などSGRTシステムを有していない施設にも役立つ情報が記載されている。

アクセプタンスおよびコミショニング、日々の品質保証の際に評価すべき項目は、動作試験、インターロック動作、周辺機器との統合、呼吸信号の追跡精度(振幅・周期)、ゲーティング機能、呼吸同期時の線量・分布評価などが該当するだろう。各試験内容については、ガイドラインを参照し、施設の状況に応じて適切に判断されることが望まれる。

【9. RPM (RGSC) マーカーの特性】

前項の品質管理・品質保証とも関連するが、RPMマーカー(あるいは、RGSC: Respiratory Gating for Scannersマーカー)の特性を把握することは非常に重要である。RPMシステムの呼吸信号の追跡精度、システム遅延時間、マーカー通過時の線量への影響について、先行研究や当院での結果を踏まえ説明する。

2017年にL. Conroyは、DIBH実施時のRPMマーカーの問題点について技術報告して

いる³²⁾。RPMシステムをDIBHモードあるいはAmplitudeモードで使用する際、ベースラインからのマーカー信号値の変位量を吸気量の代替指標として用いている。これは、RPMマーカーの置き方や赤外線カメラからの位置に依存せず、再現性があることが必須である。Conroyが行った呼吸信号の追跡精度試験において、2-dotタイプのマーカーでは、マーカーの傾きが大きくなるほど、追跡精度が悪くなり、実際の振幅から大幅に乖離したと報告している。これは、乳房にマーカーを置く際に水平に設置することが難しいことがあるため注意が必要である。一方、6-dotタイプのマーカーではこの影響は解消されており、通常臨床内での精度は良好である。当院において、TG-147に従いステップチャート法による検証したところ、マーカーを3cm移動させたときのシステムの検出値は±3mm以内に収まっていた。唯一、マーカーを18°傾け、頭側・腹側に変位させたとき4mmのズレが検出された。これは、カメラのキャリブレーションを実施した位置から遠くなるほど、精度が低下する可能性を示唆している。

TG-142によると、システムの遅延時間は治療前に適切であると判断される必要がある。しかし、遅延時間の直接測定は難しく、遅延時間は臨床的に適切な閾値以下であることを確認すべきであるとしている。また、DIBHでは1秒未満としている。当院ではDIBH以外にも同期照射で使用しているため、TG-142の推奨値100ms以内であることを検証し、使用している³³⁾。

当院のように対側乳房にRPMマーカーを置く場合、患者体型によっては接線照射の際に、マーカーを通過する可能性がある。Conroyはフィルム用いて検証し、マーカーを通過後に皮膚線量が増加すると報告している³²⁾。临床上、日々の設置のばらつきがあることも考慮し、当院では特別な配慮はしていない。各施設においては、このような状況が発生することを把握し、医師との協議の上、判断されると良いだろう。

さいごに

当院における全乳房DIBHの実施方法および

注意点を紹介した。DIBHは比較的簡便な方法であり、追加設備が必要なく実施できる手法であるため、多くの施設で導入が進んでいる。今後、DIBH導入を目指す施設やアップデートを試みている施設にとって本書が参考になれば幸いである。

- 1) Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.* 2021.
- 2) Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG) . Effects of radiotherapy and of differences in the extent of surgery for early breast cancer on local recurrence and 15-year survival: an overview of the randomised trials. *The Lancet.* 2005;366:2087-2106.
- 3) Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG) . Effect of radiotherapy after breast-conserving surgery on 10-year recurrence and 15-year breast cancer death: meta-analysis of individual patient data for 10 801 women in 17 randomised trials. *The Lancet.* 2011;378:1707-1716.
- 4) Boero IJ, Paravati AJ, Triplett DP, et al. Modern Radiation Therapy and Cardiac Outcomes in Breast Cancer. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2016;94:700-708.
- 5) Rehammar JC, Jensen MB, McGale P, et al. Risk of heart disease in relation to radiotherapy and chemotherapy with anthracyclines among 19,464 breast cancer patients in Denmark, 1977-2005. *Radiother. Oncol.* 2017;123:299-305.
- 6) Darby SC, Ewertz M, McGale P, et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast

- cancer. *N. Engl. J. Med.* 2013;368:987-998.
- 7) van den Bogaard VA, Ta BD, van der Schaaf A, et al. Validation and Modification of a Prediction Model for Acute Cardiac Events in Patients With Breast Cancer Treated With Radiotherapy Based on Three-Dimensional Dose Distributions to Cardiac Substructures. *J. Clin. Oncol.* 2017;35:1171-1178.
 - 8) Lenneman CG, Sawyer DB. Cardio-Oncology: An Update on Cardiotoxicity of Cancer-Related Treatment. *Circ. Res.* 2016;118:1008-1020.
 - 9) Boekel NB, Schaapveld M, Gietema JA, et al. Cardiovascular Disease Risk in a Large, Population-Based Cohort of Breast Cancer Survivors. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2016;94:1061-1072.
 - 10) Shah C, Badiyan S, Berry S, et al. Cardiac dose sparing and avoidance techniques in breast cancer radiotherapy. *Radiother. Oncol.* 2014;112:9-16.
 - 11) Conroy L, Yeung R, Watt E, et al. Evaluation of target and cardiac position during visually monitored deep inspiration breath-hold for breast radiotherapy. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2016;17:25-36.
 - 12) Taylor CW, Wang Z, Macaulay E, Jagsi R, Duane F, Darby SC. Exposure of the Heart in Breast Cancer Radiation Therapy: A Systematic Review of Heart Doses Published During 2003 to 2013. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2015;93:845-853.
 - 13) Bartlett FR, Colgan RM, Carr K, et al. The UK HeartSpare Study: randomised evaluation of voluntary deep-inspiratory breath-hold in women undergoing breast radiotherapy. *Radiother. Oncol.* 2013;108:242-247.
 - 14) Bartlett FR, Donovan EM, McNair HA, et al. The UK HeartSpare Study (Stage II) : Multicentre Evaluation of a Voluntary Breath-hold Technique in Patients Receiving Breast Radiotherapy. *Clin. Oncol.* 2017;29:e51-e56.
 - 15) Yamauchi R, Mizuno N, Itazawa T, Saitoh H, Kawamori J. Dosimetric evaluation of deep inspiration breath hold for left-sided breast cancer: analysis of patient-specific parameters related to heart dose reduction. *J Radiat Res.* 2020.
 - 16) Mkanna A, Mohamad O, Ramia P, et al. Predictors of Cardiac Sparing in Deep Inspiration Breath-Hold for Patients With Left Sided Breast Cancer. *Front. Oncol.* 2018;8:564.
 - 17) Freislederer P, Batista V, Ollers M, et al. ESTRO-ACROP guideline on surface guided radiation therapy. *Radiother. Oncol.* 2022;173:188-196.
 - 18) Kim A, Kalet AM, Cao N, et al. Effects of Preparatory Coaching and Home Practice for Deep Inspiration Breath Hold on Cardiac Dose for Left Breast Radiation Therapy. *Clin. Oncol.* 2018;30:571-577.
 - 19) 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 2019
 - 20) Zhao F, Shen J, Lu Z, et al. Abdominal DIBH reduces the cardiac dose even further: a prospective analysis. *Radiat. Oncol.* 2018;13:116.
 - 21) Hirata K, Narabayashi M, Hanai Y, et al. Comparison of thoracic and abdominal deep inspiration breath holds in whole-breast irradiation for patients with left-sided breast cancer. *Breast Cancer.* 2021;28:1154-1162.
 - 22) Yamauchi R, Mizuno N, Itazawa T,

- Masuda T, Akiyama S, Kawamori J. Assessment of visual feedback system for reproducibility of voluntary deep inspiration breath hold in left-sided breast radiotherapy. *J Med Imaging Radiat Sci.* 2021;52:544-551.
- 23) Kini VR, Vedam SS, Keall PJ, Patil S, Chen C, Mohan R. Patient training in respiratory-gated radiotherapy. *Med. Dosim.* 2003;28:7-11.
- 24) Wang X, Pan T, Pinnix C, et al. Cardiac motion during deep-inspiration breath-hold: implications for breast cancer radiotherapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012;82:708-714.
- 25) Borm KJ, Oechsner M, Combs SE, Duma MN. Deep-Inspiration Breath-Hold Radiation Therapy in Breast Cancer: A Word of Caution on the Dose to the Axillary Lymph Node Levels. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2018;100:263-269.
- 26) Lin A, Sharieff W, Juhasz J, Whelan T, Kim DH. The benefit of deep inspiration breath hold: evaluating cardiac radiation exposure in patients after mastectomy and after breast-conserving surgery. *Breast Cancer.* 2017;24:86-91.
- 27) Pierce LJ, Feng M, Griffith KA, et al. Recent Time Trends and Predictors of Heart Dose From Breast Radiation Therapy in a Large Quality Consortium of Radiation Oncology Practices. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2017;99:1154-1161.
- 28) Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, Emery RS, Forster KM. The Management of Respiratory Motion in Radiation Oncology, Report of AAPM Task Group 76. American Association of Physicists in Medicine. 2006.
- 29) Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators. *Med. Phys.* 2009;36:4197-4212.
- 30) 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;39:1728-1747.
- 31) Al-Hallaq HA, Cervino L, Gutierrez AN, et al. AAPM task group report 302: Surface-guided radiotherapy. *Med. Phys.* 2022;49:e82-e112.
- 32) Conroy L, Guebert A, Smith WL. Technical Note: Issues related to external marker block placement for deep inspiration breath hold breast radiotherapy. *Med. Phys.* 2017;44:37-42.
- 33) Woods K, Rong Y. Technical Report: TG-142 compliant and comprehensive quality assurance tests for respiratory gating. *Med. Phys.* 2015;42:6488-6497.