

呼吸性移動を伴った腫瘍に対する高精度呼吸管理システムを代替する 廉価な簡易呼吸管理システム照射法の検討

(地方独立行政法人京都市立病院機構京都市立病院 放射線技術科)

田中 和徳 小菅 友裕 福本 賢大 宮井 明
津川 和夫

要 旨

当院では2014年より、左乳癌の放射線治療において心毒性を低減する目的で深吸気呼吸停止 (deep inspiration breath-hold: DIBH) 法を積極的に用いている。呼吸性移動を伴う腫瘍に対する放射線治療ガイドラインも2019年改訂版で、左乳癌の呼吸管理手法が新たに追記された。

そこで我々は左乳癌のDIBH法の経験を活かし、廉価な材料を用いた呼吸管理システムによる照射技術改善の検討を行ったので報告する。

(京市病紀 2020; 40(1): 12-17)

key words: 左乳癌, 呼吸性移動対策, 深吸気呼吸停止

緒 言

呼吸性移動を伴う腫瘍の放射線治療において、腫瘍に対する線量を損なうことなく、腫瘍周辺の正常組織への線量を低減させる技術が呼吸性移動対策である。呼吸性移動対策が安全かつ適切に実施されることを目的に、2012年に初版の呼吸性移動対策を伴う放射線治療ガイドライン¹⁾が策定され、さらに2019年に生理学的な呼吸の動きの管理に関わる項目を追記した2版が出版された²⁾。これは先に2018年の診療報酬改定で新たに左乳癌の照射に対する呼吸管理手法が記載されたことが影響している。乳癌の放射線治療は局所制御と生存率の向上いずれにおいても有益であることは明らかになっている³⁾⁴⁾。一方で放射線治療に由来する心毒性と心臓死が生存率にマイナスの影響を及ぼしている可能性があり⁵⁾⁶⁾、放射線治療を受けた左乳癌患者では右乳癌患者に比して心血管イベントのリスク増加や死亡率の上

昇が示唆されている⁷⁾⁸⁾。心臓病および冠動脈イベントのリスクは、平均心臓線量で1 Gy毎に4-7%増加すると推定されており、リスクを伴わない心臓線量のしきい値は存在しないと報告されている⁹⁾¹⁰⁾。したがって左乳癌の放射線治療を行うに当たっては、心臓線量の低減に努めることが重要である。

我々は左乳癌患者に対する放射線治療による心毒性のリスクを低減する目的で、吸気により患者の肺体積を膨張させ、胸壁と心臓との距離を拡大させた状態で息止め照射する深吸気呼吸停止 (deep Inspiration Breath-hold: DIBH) 法を用いている (図1)。

ガイドライン2019²⁾では商用の呼吸管理モニタリングシステム (呼吸管理システム) を用いたDIBH法の例が示されており、腹壁から取得した腹壁信号を観察しながら照射することが望ましいとされている (図2)。しかし当院では呼吸管理システムは一台しか所有しておらず全症例に用いることができない。そこで我々はこれ

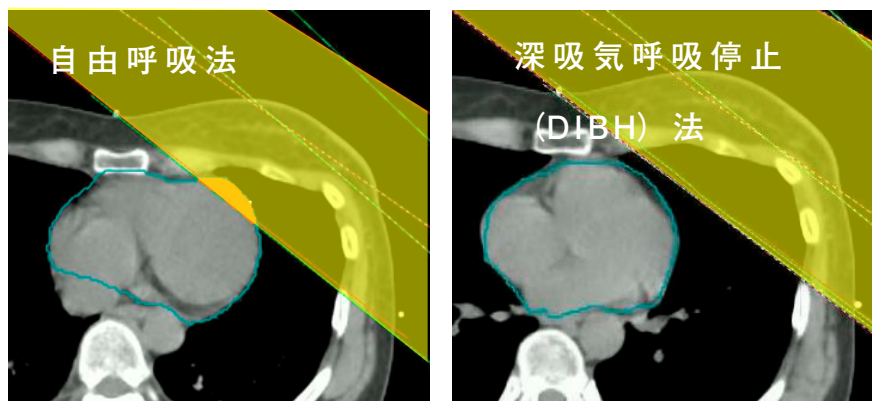


図1 自由呼吸法と深吸気呼吸停止 (DIBH) 法の治療計画画像の比較

自由呼吸法に対してDIBH法は肺に空気を取り込むことで、心臓と胸壁の距離を拡大させ、心臓への線量を低減する照射技術である。

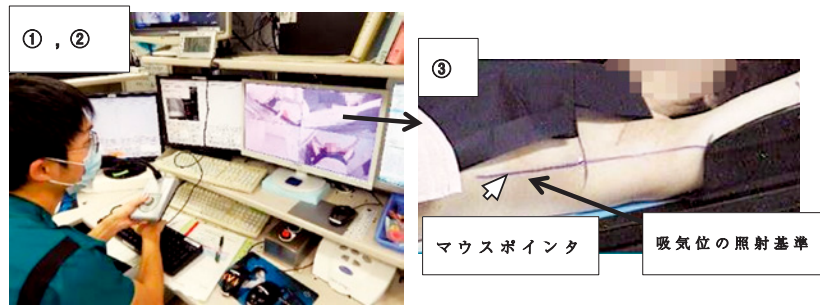


図 2 当院の左乳房息止め照射法（従来法）

- ① 技師が患者に対して吸気時で呼吸停止する指示を行う。
- ② 安定した呼吸停止ができるまで①を繰り返す。呼吸停止位置の安定性及び再現性を確認する。
- ③ 患者の左体側の表面にマークした吸気位の照射基準位置にマウスポインタを置き、呼吸停止位置の目印として、その位置を確認し照射を実行する。

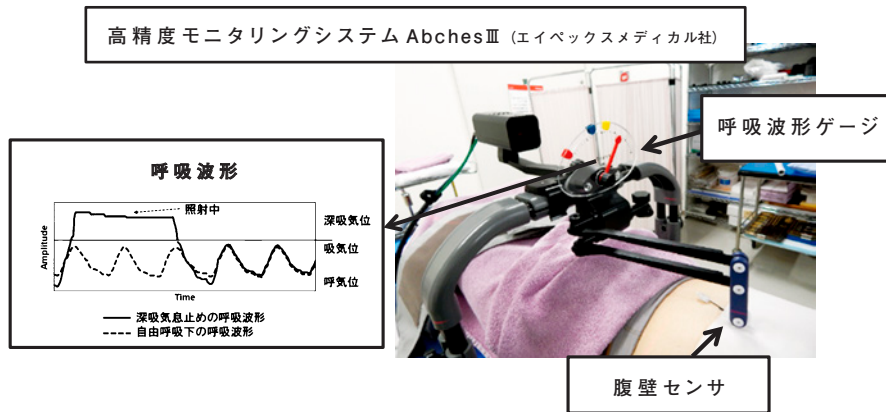


図 3 高精度呼吸モニタリングシステムの構成と取得した外部信号から得られた呼吸波形と照射中の呼吸管理の一例

呼吸波形モニタリングシステムは実際の生理学的な呼吸波形と腹壁の動きの相関が強いことを利用したものである。背腹方向の腹壁の動きを腹壁センサで検出する部分と腹壁センサと呼気波形ゲージから間接的に呼吸波形を取得する部分に構成され、体外から一次元の呼吸波形を取得することが可能である。上左図は呼吸性移動対策を伴う放射線治療ガイドラインに示されている呼吸波形である。

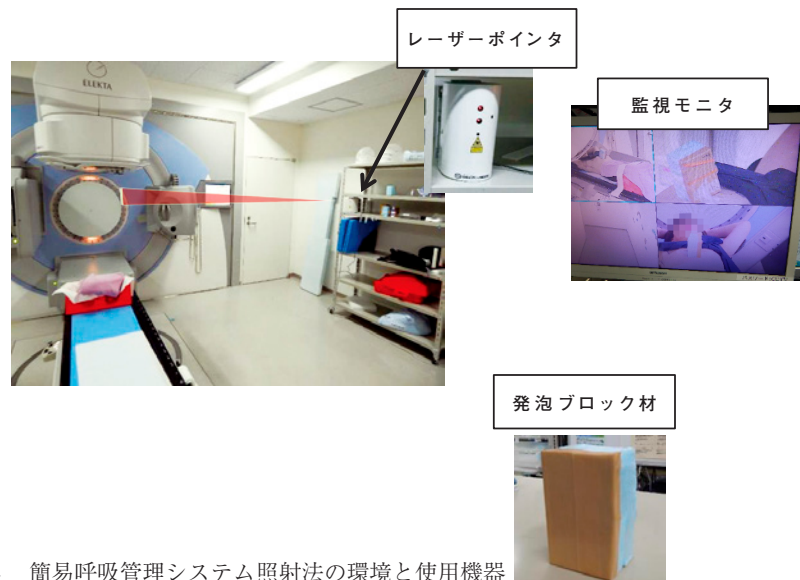


図 4 簡易呼吸管理システム照射法の環境と使用機器

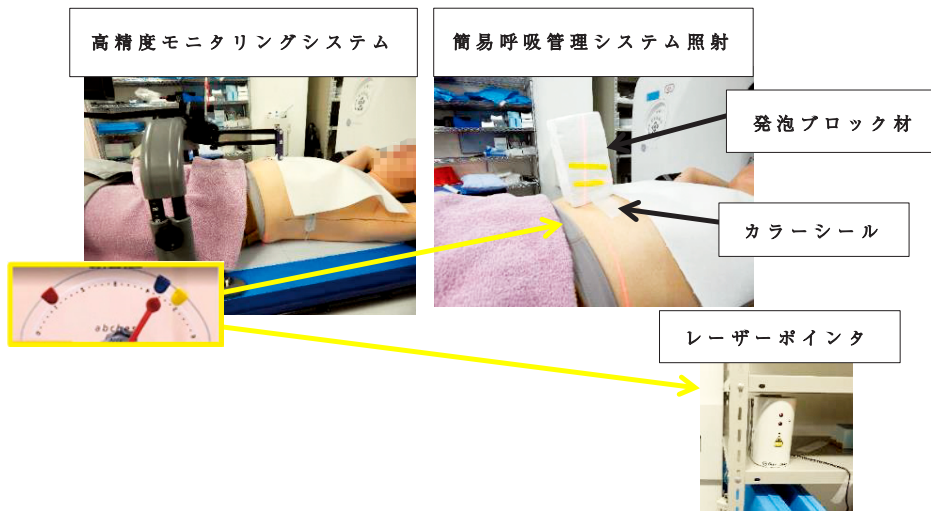
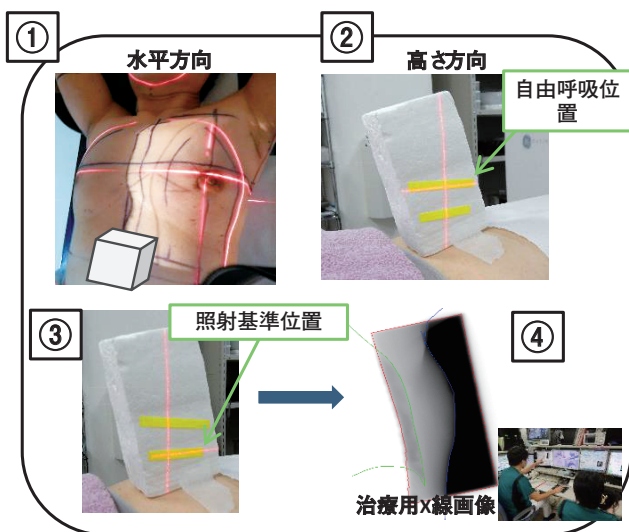


図5 高精度モニタリングシステムの腹壁センサ及び呼吸波形位置に対応する簡易呼吸管理システム照射法の代替部品

高精度モニタリングシステムの構成に対応する部品は、①腹壁センサは発泡ブロック材、②呼吸波形ゲージは壁面に設置した水平のレーザーポインタとレーザー投光用カラーシールとした。



- 図6 発泡ブロック材のセットアップ及び照射までの手順
- ① 発泡ブロック材の設置位置の水平方向は患者の心窩部辺り、高さ方向は自由呼吸の呼気時ライン（自由呼吸ライン）のレーザーとする。
 - ② レーザーは自由呼吸ラインに調整する。
 - ③ 吸気位下の息止めを練習し、照射基準ラインに一致することを確認する。
 - ④ 治療前に③と同様に治療用 X 線画像を取得し照射を行う。

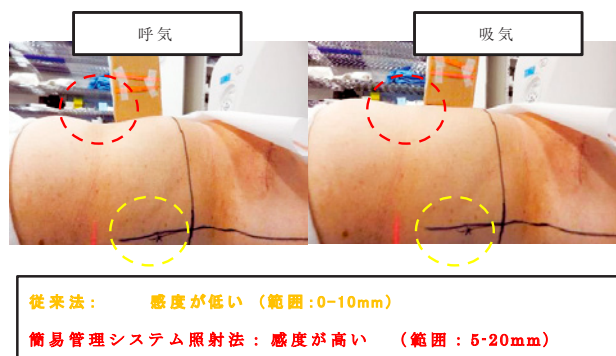


図7 従来法（体側皮膚マーク）と簡易呼吸管理システム照射法の視覚

まで呼吸管理システムの代わりに、腹壁の動きを照射室内の監視用モニタと患者体側のマーキングを目印として目視で確認し、DIBH法の照射を行ってきた(従来法)(図2)。しかし従来法では吸気時に体側の変化に乏しい症例も経験したため、呼吸性変動により感度の高い腹壁の運動を利用したDIBH法を検討した。

研究目的

左乳房のDIBH法を用いた放射線治療において、2019年6月以降では廉価な発泡材による簡易呼吸管理モニタリングシステム(簡易呼吸管理システム照射法)を使用した照射法を開発し、手順の構築も行った。また従来法と簡易呼吸管理システム照射法を比較し有効性を検討した。

方法

2019年6月から2019年11月の左全乳房照射の患者14例を対象とした。深吸気位における発泡材を用いた簡易呼吸管理システムの呼吸再現性は商用の高精度モニタリングシステム(図3)を参考にし、これを代替するものとした。使用機器は廉価で汎用性の高いものを用いて約10cmの立方体に裁断した発泡ブロック材と照射室内の患者監視モニタを用い、壁面にレーザーポイントを設置した(図4)。これは腹壁センサに対応するものとして、呼吸波形のゲージにはこの発泡材に貼ったカラーテープとレーザーポイントに対応するものを代替するシステムとした(図3, 4, 5)。この発泡材は患者の心窩部辺りの平坦な位置に設置し、これに照射の目安とする6mm幅のカラーテープを貼った。吸気位の確認方法は発泡材上のカラーテープの高さに写った投光レーザーから、監視用カメラを介して技師は視認した。照射タイミングは技師が主導的に操作室から照射室内の患者に対してマイクロフォンで吸気息止めの指示を行うことで修正した従来法より腹壁信号の感度を上昇させたものを簡易な息止め呼吸管理システム照射法(簡易呼吸管理システム照射法)とした。

息止めの呼吸位置精度を確認するため、はじめに治療用ビームのメガボルトX線画像を取得した(図6)。次にこのメガボルト画像と位置照合用のキロボルトX線画像で画像照合用ソフトウェアを用いて吸気位を算出しその精度を評価した。吸気位のズレ量算出の照合方法は位置照合画像ソフトウェア(IVIEWGT Ver3.4, ELEKTA)上で、体表面外輪郭と胸壁背側輪郭を極力一致させるようにし、頭尾方向及び背腹方向の距離を算出した。また患者の体側の皮膚面に描いた印及び患者腹部に置いた発泡材から背腹の動きを視覚評価した。これら従来法と簡易管理システム照射法とを比較して検討した。

結果

簡易呼吸管理システム照射法では、照射中の呼吸位置

精度は頭尾背腹方向とも3mm以下で許容値内に収まっており、従来法とほぼ同等であった(表1)。従来法では体側の皮膚面の変動が観察できず、背腹方向の動きを視覚評価できない症例においても、簡易呼吸管理システム照射法では検出することができた(図7)。

表1 従来法と簡易呼吸管理システム照射法の位置再現性の評価

| | 従来法(mm) | | 簡易照射法(mm) | |
|------|---------|-----|-----------|-----|
| | 頭尾 | 腹背 | 頭尾 | 腹背 |
| 平均 | 2.0 | 1.4 | 1.1 | 1.1 |
| 標準偏差 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 0.6 |

考察

簡易呼吸管理システム照射法は、従来法と比べて呼吸位置の精度は遜色なく、セットアップマージンの3mm以内に収まっており改善傾向であると考えられる。また視覚評価においては従来法より優位に腹壁位置の感度が向上し、呼吸位置の再現性も向上していた。これは呼吸モニタする位置情報は、体側に比べ腹壁の運動の方が背腹方向の動き成分が大きいものと考えられる。簡易呼吸管理システム照射法は高額の商用呼吸管理システムを購入することができない場合においても、廉価な発泡材を用いるだけで呼吸停止照射を実施することが可能であるため、これから呼吸停止照射を始める施設においても推奨できると考えられる。ただ本研究の限界として簡易呼吸管理システムでは、呼吸位置を目視にて観察しているに過ぎず、呼吸波形位置を定量的に確認することや患者個別の呼吸波形の記録などはできていないのが問題である。また、腹壁表面にブロック材を置くため、肥満体型や設置する心窩部辺りが膨隆している症例では、ブロック材の安定性が十分でない症例があり、使用できる体型に制約があることが課題である。

結論

簡易呼吸管理システム照射法を用いることで、照射中の呼吸停止位置再現性の精度が向上したことを確認した。今後は簡易呼吸管理システム照射法を積極的に用いていく予定である。

引用文献

- 1) 日本医学物理学会, 日本高精度放射線外部照射研究会, 日本放射線腫瘍学会, 他: 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 [internet]. http://www.jsmp.org/doc/rt_guideline.pdf [accessed 2020.06.15]
- 2) 日本医学物理学会, 日本高精度放射線外部照射研究会 [改訂時: 日本放射線腫瘍学会高精度放射線外部照射部会], 日本放射線技術学会, 他: 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[internet]. <http://www.jsmp.org.org/wp-content/uploads/kokyu2019.pdf>[accessed 2020.06.15]
- 3) Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group, Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group, Darby S, McGale P, et al: 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. *Lancet* 2011; 378: 1707-1716.
 - 4) Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group, McGale P, Taylor C, et al: Effect of radiotherapy after mastectomy and axillary surgery on 10-year recurrence and 20-year breast cancer mortality: meta-analysis of individual patient data for 8135 women in 22 randomised trials. *Lancet* 2014; 383: 2127-2135.
 - 5) Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group. Favourable and unfavourable effects on long-term survival of radiotherapy for early breast cancer: an overview of the randomised trials. *Lancet* 2000; 355: 1757-1770.
 - 6) Hooning MJ, Aleman BM, van Rosmalen AJ, et al: Cause-specific mortality in long-term survivors of breast cancer: A 25-year follow-up study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006; 64: 1081-1091.
 - 7) Rutqvist LE, Johansson H: Mortality by laterality of the primary tumour among 55,000 breast cancer patients from the Swedish Cancer Registry. *Br J Cancer* 1990; 61: 866-868.
 - 8) Henson KE, McGale P, Taylor C, et al: Radiation-related mortality from heart disease and lung cancer more than 20 years after radiotherapy for breast cancer. *Br J Cancer* 2013; 108: 179-182
 - 9) 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.
 - 10) Sardaro A, Petruzzelli MF, D'Errico MP, et al: Radiation-induced cardiac damage in early left breast cancer patients: risk factors, biological mechanisms, radiobiology, and dosimetric constraints. *Radiother Oncol* 2012; 103: 133-142.

Abstract

Development of a Simple Respiratory Motion Monitoring System for Moving Targets

Kazunori Tanaka, Tomohiro Kosuga, Kenta Fukumoto,
Akira Miyai and Kazuo Tsugawa

Department of Radiation Technology, Kyoto City Hospital

Since 2014, we have been conducting the deep inspiration breath–hold (DIBH) technique for left breast cancer patients, to reduce radiation-induced cardiac toxicity. The method of respiratory motion monitoring in left breast cancer was described in the guidelines for respiratory motion management in radiation therapy revised in 2019.

Based on our experience using the DIBH technique for left breast cancer patients, we developed the respiratory motion monitoring system using inexpensive instruments.

(J Kyoto City Hosp 2020;40(1):12-17)

Key words: Left breast cancer, Respiratory motion monitoring system, Deep inspiration breath-hold (DIBH)