

Evaluation of Dose Reduction of Cardiac Exposure Using Deep-inspiration Breath Hold Technique in Left-sided Breast Radiotherapy

Joo-Young Jung*[†], Min-Joo Kim*[†], Jae-Hong Jung*^{†‡}, Seu-Ran Lee*[†], Tae-Suk Suh*[†]

*Department of Biomedical Engineering, [†]Research Institute of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul,

[‡]Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Soonchunhyang University, Bucheon, Korea

Breast cancer is the leading cause of cancer death in women worldwide and the number of women breast cancer patient was increased continuously. Most of breast cancer patient has suffered from unnecessary radiation exposure to heart, lung. Low radiation dose to the heart could lead to the worsening of preexisting cardiovascular lesions caused by radiation induced pneumonitis. Also, several statistical reports demonstrated that left-sided breast cancer patient showed higher mortality than right-sided breast cancer patient because of heart disease. In radiation therapy, Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) technique which the patient takes a deep inspiration and holds during treatment and could move the heart away from the chest wall and lung, has showed to lead to reduction in cardiac volume and to minimize the unnecessary radiation exposure to heart during treatment. In this study, we investigated the displacement of heart using DIBH CT data compared to free-breathing (FB) CT data and radiation exposure to heart. Treatment planning was performed on the computed tomography (CT) datasets of 10 patients who had received lumpectomy treatments. Heart, lung and both breasts were outlined. The prescribed dose was 50 Gy divided into 28 fractions. The dose distributions in all the plans were required to fulfill the International Commission on Radiation Units and Measurement specifications that include 100% coverage of the CTV with $\geq 95\%$ of the prescribed dose and that the volume inside the CTV receiving $> 107\%$ of the prescribed dose should be minimized. Scar boost irradiation was not performed in this study. Displacement of heart was measured by calculating the distance between center of heart and left breast. For the evaluation of radiation dose to heart, minimum, maximum and mean dose to heart were calculated. The present study demonstrates that cardiac dose during left-sided breast radiotherapy can be reduced by applying DIBH breathing control technique.

Key Words: Breast cancer, Radiation dose to heart, Deep inspiration breath hold

서 론

여성 유방암은 전세계적으로 여성 암 환자 사망의 주요인으로 꼽히고 있으며, 최근 20년 간 여성 유방암 환자의

수는 증가하였다.¹⁾ 여성 유방암 환자에게 적용될 수 있는 암 치료 중 방사선 치료는 비침습적인(non-invasive) 치료 방법으로 기타 다른 절제 수술과 달리 여성 환자의 유방의 외적 모형을 유지하기 때문에 심미적 효과를 누릴 수 있다. 그렇지만 여성 유방암 환자의 대부분은 피부 선량의 증가 및 심장, 폐 등에 불필요한 피해 선량이 전달되는 단점이 발생한다. 특히 원편 유방암 환자의 경우 방사선 치료 시 치료 체적(treatment volume, TV)과 심장의 위치가 오른편 유방암 환자에 비하여 가깝기 때문에 심장으로서의 저 선량(low dose)의 전달이 불가피하다. 심장에 조사된 저 선량의 방사선은 방사 유도 폐 실질염(radiation-induced pneumonitis)에 의한 심장 혈관 장애를 악화 시킨다. 따라서 원편

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단 원자력연구개발사업(2013043498, 정상조직 선량감축을 위한 융합기술 기반 모션팩툼 개발) 및 한국연구재단 해외우수연구기관유치사업(2009-00420)의 연구비 지원으로 수행되었음.

이 논문은 2013년 10월 21일 접수하여 2013년 12월 14일 채택되었음.

책임저자 : 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포4동 505

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)2258-7232, Fax: 02)2258-7506

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

유방암 환자의 경우, 유방암의 치료뿐만 아니라 심장 등의 장기에 전달되는 선량에 대한 고려가 요구되고 있다.^{2,3)}

대부분의 방사선 치료는 환자의 전산화 단층 촬영(computed tomography, CT) 영상을 기반으로 치료 계획을 수립하게 된다. 그렇지만, 정지된 상태의 CT 영상은 실질적으로 호흡에 의한 지속적인 움직임을 반영하지 못하기 때문에 방사선 치료 계획뿐만 아니라 실제 환자 치료 시 선량 전달에 오차를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 경우 호흡에 의한 움직임이 가장 두드러지게 반영되는 곳은 폐암으로써 움직임의 정도가 크게 2 cm 가량 방사선 치료 중 이동하게 된다.^{4,7)} 이와 같은 호흡에 의한 종양의 움직임을 고려하기 위하여 국제 방사선 단위 측정 위원회(International Commission on Radiation Units and Measurement, ICRU)에서는 호흡에 의한 종양의 움직임을 모두 포함하는 치료 용적인 내부 표적 체적(internal target volume, ITV)의 활용을 권고하고 있으며, ITV의 크기 및 위치는 4차원 전산화 단층 촬영(four dimensional computed tomography, 4DCT) 등의 영상을 이용하여 정의된다.⁸⁾ 또한 환자의 호흡을 분석하고 치료 시 반영하기 위한 다수의 연구뿐만 아니라 흉곽 및 복부에 위치한 종양의 치료에서도 다방면으로 연구가 진행 중이다.⁹⁻¹²⁾ 유방암 환자의 경우, 일반적으로 임상에서는 보통 전체 유방 조사(whole breast irradiation) 기법이 사용되고 있으며, 호흡에 의한 움직임을 고려한 ITV를 적용하지 못하는 치료 계획 기법이다. 그렇기 때문에 호흡에 의한 주변 장기와의 거리 변화 등에 대한 고찰이 더욱 필요하다. 더불어 최근 각광 받는 부분 유방 조사(partial breast irradiation) 기법은 전체 유방 조사 기법보다 작은 방사선 조사야(field size)에 고 선량(high dose)을 전달하기 때문에 정확한 선량 전달이 요구되며 환자의 호흡에 의한 움직임에 따른 치료 용적의 위치 변화에 대한 고찰이 필요하다.

Deep-Inspiration Breath Hold (DIBH) 기법은 방사선 치료 시 환자의 호흡을 깊은 들숨 상태에 일정 시간 동안 정지시킨 상태에서 영상을 획득하는 기법을 의미하며, 깊은 들숨을 유지하는 동안 심장과 흉벽의 거리가 최대가 되도록 한다. 따라서 DIBH 기법을 사용하였을 때 종양 고정(tumor immobility)이 예상되며 주변 장기에 들어가는 불필요한 선량을 감소시킬 수 있다.¹³⁾ 따라서 본 연구의 목적은 원편 유방암 치료 시 DIBH 기법을 활용하여 심장의 위치 변화 및 피해 선량을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 영상 데이터 획득

본 연구에서는 10명의 여성 유방암 환자를 대상으로 각각 자유 호흡(free breathing, FB) 상태와 DIBH 상태로 나누어 CT (SOMATOM EMOTION, SIEMENS, Germany)를 사용하여 영상을 획득하였다. 영상 획득은 절편 두께(slice thickness) 5 mm 그리고 피치(pitch) 1 조건으로 동일하게 얻었으며, 영상 영역(field of view, FOV) 범위는 400 mm에서 480 mm였다. 이 때 DIBH 기법으로 영상을 획득 시, 임상적 활용도를 높이기 위하여 자가 호흡 조절이 가능한 환자를 대상으로 하였고, 환자의 호흡 신호의 모니터링 및 CT 스캔 전에 모의 훈련을 실시하였다.

2. 치료 계획

방사선 치료 계획에서는 두 가지 호흡 방법에 대한 원편 폐와 심장의 체표 윤곽을 그렸고, 최대한 전체 유방 조직이 포함되게 하였다. 방사선 조사야는 후면의 끝부분(posterior edge)이 좌측 폐의 1.5 cm 이상 포함하지 않도록 하였다. Eclipse (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA)의 anisotropic analytic algorithm (AAA)을 사용하여 50 Gy를 28회 분할하여 처방하였으며 췌기 필터(physical wedge)를 적용한 대향 2문 접선 조사를 적용하였다. 본 연구에서는 ICRU 권고 기준에 따라 선량 분포가 95% 이상의 처방선량이 치료 표적 체적(clinical target volume, CTV) 내에 95% 이상 전달되도록 하였고 107% 이상의 과다 선량 영역(hot-spot)의 발생을 최소화 하도록 하였다.

3. 평가 및 분석 방법

각 호흡 기법 영상에 따른 심장의 위치 변화를 확인하기 위하여 심장의 중심으로부터 원편 유방의 중심까지 거리를 측정하였다(Fig. 1). 각 장기의 중심 좌표는 Eclipse를 사용하여 X, Y, Z 좌표를 획득하였고, 각 중심 좌표 간의 거리를 계산하였다. 심장에 들어간 선량은 최대, 최소, 평균값을 각각 측정하였고, 선량 체적 히스토그램(dose-volume histogram, DVH)으로 나타내었다.

획득된 데이터는 SPSS (release 17.0.0, SPSS, Inc., Chicago, IL)로 비모수 검정인 Mann-Whitney U (MW) test를 적용하여 통계적 유효성을 평가하였다.

결과 및 토의

본 연구에서는 방사선 치료를 받은 오른편 유방암 환자에 비하여 왼편 유방암 환자의 예후에서 심장 질환 및 기타 질환에 의한 치사율이 높다는 통계 자료를 바탕으로 연구가 진행되었다. 심장의 왼편 근육이 생리학적 기능에 따라 발달되어 왼편 유방암 환자 치료 시 방사선 조사야와 심장이 근접해지기 때문에 심장의 피해 선량이 증가된다. 이와 같은 왼편 유방암 환자의 방사선 치료 이후 심장 질환 발병과 관련하여 심장 피해 선량을 줄이고자 본 연구에서는 DIBH 기법을 적용하였다. DIBH 기법을 이용하여 환

자의 심장과 흉벽과의 거리를 최대로 증가된 CT 영상을 획득하였다. 따라서 본 연구에서는 FB와 DIBH 기법을 적용한 CT 영상을 이용하여 방사선 치료 계획을 수립하고 심장과 왼편 유방의 중심 좌표를 측정, 거리를 계산, 심장에 전달되는 피해 선량을 정량화 하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 획득한 FB 및 DIBH 기법을 적용한 CT 영상의 단순 정합 영상이다. Fig. 2에서 열린 회색과 회색의 영상이 겹쳐 보이는데, 열린 회색으로 표시되는 영상은 FB 상태의 CT 영상, 회색으로 표시되는 영상은 DIBH 상태의 영상이다. FB 영상과 DIBH 영상의 체표 윤곽선의 차이 및 심장 체적의 차이를 가시적으로 확인할 수 있다. 정합 영상은 CoreFusion™ (Seoul C&J, Korea)을 통하여 확인하였다.

Table 1은 심장의 중심으로부터 왼편 유방의 중심까지

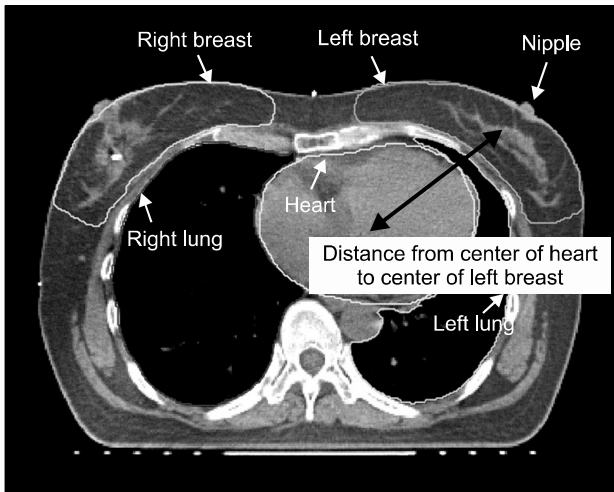


Fig. 1. Distance from center of heart to center of left breast.

Table 1. Distances from center of heart to center of left breast. Unit: mm.

	Free-breathing	DIBH
Patient 1	12.86	17.68
Patient 2	8.91	9.04
Patient 3	8.18	9.90
Patient 4	8.51	11.49
Patient 5	8.60	9.48
Patient 6	8.47	9.36
Patient 7	8.01	9.19
Patient 8	8.24	11.65
Patient 9	9.88	10.36
Patient 10	8.46	11.97
Average (Std.)	8.55 (1.37)	9.98 (2.45)
p-value	≤0.001	

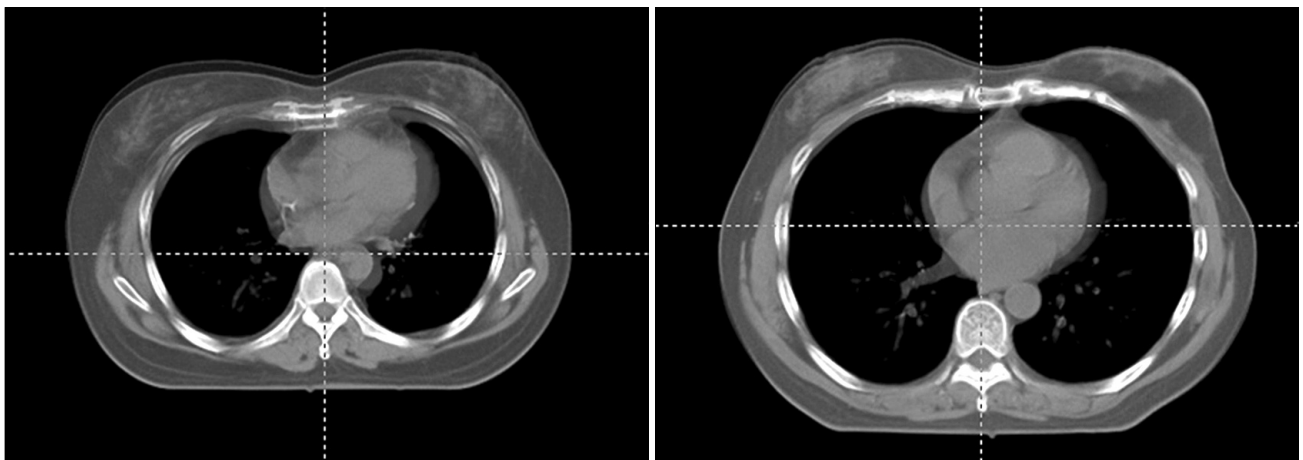


Fig. 2. Superimposed free breathing CT images (in light gray) and DIBH technique image (in gray).

거리를 보여주고 있다. FB 기법 보다 DIBH 기법을 적용하였을 경우, 심장과 유방의 거리가 크게는 3 mm, 작게는 0.39 mm 이상의 차이가 발생하였음을 확인하였다. 또한 본 결과는 통계적 유효성을 갖는다(p-value≤0.001). 본 실험에서 심장과 왼편 유방의 거리 측정은 각 장기의 x, y, z 중심점으로 지정하여 시행하였다. 그렇지만, 방사선 조사야(field size)와 인접한 심장의 전면(anterior) 방향의 벽과 방사선 조사야(field size)의 끝 부분(edge)과의 거리를 측정한다면 심장과 폐의 체적에 따른 거리 측정 오차를 줄일 수 있을 것이다. 그러나 위와 같은 방법으로 거리를 측정하는 것은 각 장기의 벽(wall) 또는 끝 부분(edge)에 대하여 정성적으로 기준이 되는 지점이 존재하는 것이 아니라 주관적인 설정에 의존하므로 연구 결과는 개인의 설정마다 상이

할 수 있어 모든 사례에 적용하기는 어렵다.

Table 2는 심장에 전달된 피해 선량을 보여주고 있다. 각 영상 획득 기법에 따라 심장과 유방 사이의 거리가 큰 차이를 보였던 환자의 경우, 심장에 전달되는 피해 선량 또한 크게 감소하는 등의 경향성을 예상하였다. 그러나 심장과 유방 사이의 거리 계산 결과에서 확인할 수 있었던 경향성은 심장의 피해 선량 결과에서는 확인할 수 없었다. 그렇지만 심장에 전달된 최소 선량을 제외한 최대 및 평균 선량 결과는 대부분의 사례에서 크게 감소됨을 확인할 수 있었다. 특히 최대 선량의 경우 2개의 사례를 제외한 기타 다른 사례에서 크게는 3,555 cGy, 작게는 10 cGy의 선량 감소를 확인할 수 있었다. Table 2의 환자 1, 9의 값에서 나타나듯이 DIBH 기법을 시행하는 것은 일부 환자들에게 영

Table 2. Exposure doses for heart between free-breathing (FB) and deep-inspiration breath-hold (DIBH) technique in each patient. Unit: cGy.

	Free-breathing			Deep inspiration breath hold			Difference
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Max
Patient 1	95	4,770	495	95	4,940	580	-170
Patient 2	40	4,845	420	70	3,845	195	1,000
Patient 3	70	4,675	230	85	1,120	220	3,555
Patient 4	75	4,880	210	80	4,725	190	155
Patient 5	75	4,935	315	85	4,925	370	10
Patient 6	80	4,820	445	90	3,725	540	1,095
Patient 7	55	4,640	410	80	1,180	210	3,460
Patient 8	80	4,225	225	85	800	175	3,425
Patient 9	60	4,765	175	80	4,940	240	-175
Patient 10	80	4,135	335	70	810	340	3,325
Average (Std.)	71 (14.8)	4,669 (259)	326 (107)	82 (7.5)	3,101 (1784)	306 (141)	

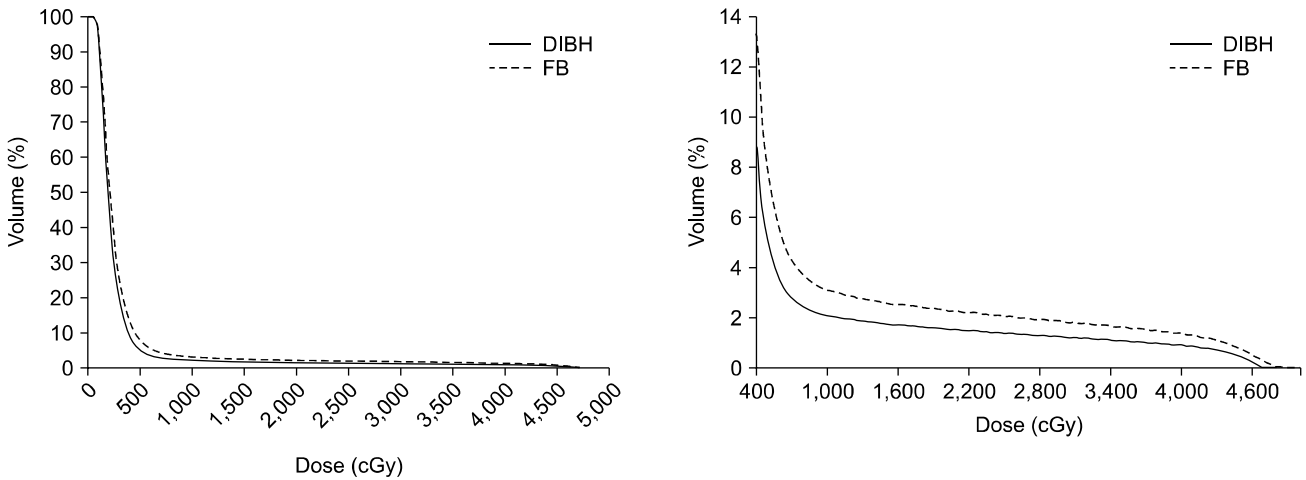


Fig. 3. Dose-volume histogram (DVH) for heart between free-breathing (FB) and deep-inspiration breath-hold (DIBH) technique.

향이 없다는 것을 알 수 있었다. 본 사례의 원인은 심장, 폐, 유방의 해부학적 위치 및 크기의 차이, 호흡에 관한 교육 훈련의 숙지 부족으로 사료된다.

Fig. 3은 본 연구의 심장 피해 선량에 대한 DVH이다. 500 cGy 미만의 저 선량에서의 분포는 비슷하나, 그 이상의 선량 값은 DIBH 기법에서 심장 보호 효과가 두드러지는 것을 확인할 수 있다.

호흡에 따른 방사선 치료는 최근 4DCT, 영상 유도 방사선 치료(image guided radiation therapy, IGRT), 호흡 동조 방사선 치료(respiratory-gated radiation therapy, RGRT)와 같은 최신 기법을 이용하여 흉부 및 복부 암 환자들에게 많이 사용되고 있다. 그렇지만 DIBH 기법을 이용할 경우, 호흡을 모니터링 하는 기법이 아닌 일시적인 호흡 정지 상태를 유지해야 하기 때문에 CT 영상 획득 기준의 모호함 및 치료 시간 동안 환자의 깊은 들숨 유지 여부는 본 연구의 제한점으로 사료된다. 최근 본 기법의 도입을 위하여 상용화된 호흡 제어 장치(Abches; APEX Medical Inc., Tokyo, Japan)를 이용하면 영상 획득 및 치료 시 환자 호흡에 따른 장기 움직임의 통일성을 유지할 수 있을 것으로 사료되며, B. Gager 등은 호흡에 따른 장기 움직임을 줄이고자 active breathing control (ABC) 시스템을 이용하여 움직임에 대한 재현성의 향상을 확인하였다.¹⁴⁾ 또한 G. R. Borst 등은 투시조영(fluoroscopy-guided) DIBH 기법을 사용하였을 때 설정한 체적들이 동일하게 유지됨을 확인하였으며 환자의 셋업 오차를 줄이고 심장 및 폐의 선량을 줄인다고 보고하고 있어 DIBH 기법 도입의 근거를 마련하였다.¹⁵⁾

추가적으로 최근 대부분의 유방암 접선 치료 시 사용되는 썬기(wedge)에 의한 MU의 증가 및 치료 시간 증가는 DIBH 기법 적용의 한계가 될 수 있으나, Pmler 등은 썬기의 각도에 따라 MU 증가 폭이 60°에서 16%, 30°에서 7%, 10°에서 2.5%의 최대 편이(maximum deviation)가 나타난다고 보고하였고¹⁶⁾ 또한 E. Ghasroddashti 등은 MU값은 100 MU/min. 당 4~7% 정도로 증가한다고 보고하였다.¹⁷⁾ 본 실험에서도 치료 계획 시 썬기 필터를 사용하였는데, 본 기관에서는 치료 계획 시 2문 접선 조사를 사용하였을 때 15° 기준 썬기 투과 계수(wedge transmission factor)가 약 0.67로 썬기 MU 값이 33% 증가하여 1.3배 정도 차이가 나는 것을 확인하였다. 그러나 전체 환자 치료 시간은 크게 늘어나지 않았으며, 치료 시간이 늘어나는 부작용은 선량률(dose rate)을 증가함으로써 빔 조사 시간을 줄여 보상할 수 있다.¹⁸⁾ 따라서 환자의 호흡 조절만으로 심장에 들어가는 선량 감소를 유도할 수 있는 DIBH 기법은 추가 기술 및 준비

시간과 고도의 기술 없이 심장에 전달되는 피해 선량을 줄일 수 있다는 점에서 필요성이 부각된다.

결 론

본 연구에서는 심장과 원편 유방의 거리를 최대로 유지할 수 있는 DIBH 기법을 방사선 치료에 적용하였다. DIBH 기법을 적용한 경우, FB 기법보다 심장과 방사선 조사야 간의 거리 증가와 심장에 전달되는 피해 선량이 감소를 확인하였다. DIBH 기법은 비교적 임상 활용도가 높으며, 영상 획득시 일관된 기준을 마련하여 적용할 경우 심장 피해 선량을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Jemal, A. Mray, F. Center, MM, et al: Global cancer statistics. CA Cancer J Clin 61(2):69-90 (2011)
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. Lancet 366(9503):2087-2106 (2005)
3. Sarah CD, Paul MG, Carolyn WT, et al: Long-term mortality from heart disease and lung cancer after radiotherapy for early breast cancer: prospective cohort study of about 300 000 women in US SEER cancer registries. Lancet Oncol 6(8): 557-565 (2005)
4. Ross CS, Hussey DH, Pennington EC, et al: Analysis of movement of intrathoracic neoplasms using ultrafast computerized tomography. Int J Radiat Oncol Biol Phys 18(3):671-677 (1990)
5. Korin HW, Ehman RL, Riederer SJ, Felmler JP, Grimm RC: Respiratory kinematics of the upper abdominal organs: a quantitative study. Magn Reson Med 23(1):172-178 (1992)
6. Davies SC, Hill AL, Holmes RB, Haliwell M, Jackson PC: Ultrasound quantitation of respiratory organ motion in the upper abdomen. Br J Radiol 67(803):1096-1102 (1994)
7. Kubo HD, Hill BC: Respiration gated radiotherapy treatment: a technical study. Phys Med Biol 41(1):83-91 (1996)
8. Underberg RW, Lagerwaard FJ, Cuijpers JP, et al: Four Dimensional CT scans for treatment planning in stereotactic radiotherapy for stage 1 lung cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 60(4):1283-1290 (2004)
9. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al: The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76. Med Phys 33(10):3874-3900 (2006)
10. Lu W, Xiaoming C, Lin MH, et al: Evaluation of the cone beam CT for internal target volume localization in lung stereotactic radiotherapy in comparison with 4D MIP images. Med Phys 40(11):111709 (2013)

11. Guckenberger M, Sweeney RA, Wilbert J, et al: Image-guided radiotherapy for liver cancer using respiratory-correlated computed tomography and cone-beam computed tomography. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 71(1):297-304 (2008)
12. Shim JG, Kim JK, Park W, et al: Dose-volume analysis of lung and heart according to respiration in breast cancer patients treated with breast conserving surgery. *J Breast Cancer* 15(1): 105-110 (2012)
13. Victy YWW, Stewart YT, Alice WY Ng, et al: Real-time monitoring and control on deep inspiration breath-hold for lung cancer radiotherapy combination of ABC and external marker tracking. *Med Phys* 37(9):4673-46833 (2010)
14. Bernd G, Cengiz D, Aline K, et al: Active breathing control (ABC): Determination and reduction of breathing-induced organ motion in the chest. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 67(3):742-749 (2007)
15. Borst GR, Sonke JJ, Hollander SD, et al: Clinical results of image-guided deep inspiration breath hold breast irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 78(5):1345-1351 (2010)
16. Pemler P, Besserer J, Lombriser N, Pescia R, Schneider U: Influence of respiration-induced organ motion on dose distributions in treatments using enhanced dynamic wedges. *Med Phys* 28(11):2234-2240 (2001)
17. Ghasroddashti E, Smith WL, Quirk S, Kirkby C: Clinical consequences of changing the sliding window IMRT dose rate. *J Appl Clin Med Phys* 13(4):4-12 (2012)
18. Bruzzaniti V, Abate A, Pinnaro P, et al: Dosimetric and clinical advantages of deep inspiration breath-hold (DIBH) during radiotherapy of breast cancer. *J Epx Clin Canc Res* 32(1):1-7 (2013)

좌측 유방암 방사선 치료에서 깊은 들숨 호흡법을 이용한 심장 선량 감소 평가

*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †생체의공학연구소, ‡순천향대학교 의과대학 방사선종양학교실

정주영*† · 김민주*† · 정재홍*†‡ · 이스란*† · 서태석*†

방사선 치료를 진행한 오른편 유방암 환자에 비해 왼편 유방암 환자의 방사선 치료 시 왼편 유방의 인접 주요 장기인 심장에 전달되는 선량에 의한 심장 질환의 발병 및 기타 질환의 발병으로 인한 높은 치사율과 관련된 예후가 보고되고 있다. 방사선 치료에서 computed tomography (CT) 영상을 획득 하는 방법 중 deep inspiration breath hold (DIBH) 기법은 들숨 상태에서 일정 시간 동안 환자의 호흡을 정지시키고 영상을 획득 하는 방법으로 심장과 흉곽 사이의 거리가 최대가 되게 한다. 따라서 본 연구에서는 DIBH 영상 획득 기법을 활용하여 왼편 유방암 환자의 방사선 치료 시 DIBH 기법을 적용한 CT 영상을 토대로 심장과 왼편 유방까지의 거리 계산 및 심장에 전달되는 피해 선량을 정량화 함으로써 왼편 유방암 환자의 방사선 치료 시 DIBH 기법의 유용성을 평가하고자 하였다. Free breathing (FB)와 DIBH 기법을 적용한 여성 유방암 환자의 CT 영상을 각 10세트를 획득하고, 50 Gy를 28번으로 분할하여 처방하였으며, 썬더 필터(wedge filter)를 이용한 대향 2분 접선 조사를 적용했다. 심장과 왼편 유방까지의 거리는 각 장기의 중심 좌표를 획득하고, 각 중심 좌표 간의 거리를 계산하였다. DIBH 기법의 경우, 일반적인 FB 기법을 적용 했을 때보다 심장과 왼편 유방 사이의 거리가 평균 1.43 mm 증가하였으며, 통계적 유효성을 확인할 수 있었다. 심장에 전달된 피해 선량의 경우, 최대 선량 기준으로 크게는 3,555 cGy 가량 감소함을 확인할 수 있었다. 각 영상마다의 거리 및 심장의 피해 선량에 대한 정도의 차이는 있었지만, DIBH 기법을 적용하였을 경우, 심장과 왼편 유방까지의 거리의 증가 및 피해 선량 감소 등의 경향성을 확인할 수 있었다. 본 DIBH 기법은 기존 방사선 치료 과정 중 추가적인 시간 소모가 적고, 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있으며, 임상에서의 적용으로 여성 유방암 환자의 불필요한 심장 피해 선량 전달을 감소 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 유방암, 심장 피해 선량, 깊은 들숨 호흡