

<원저>

유방암 환자의 Field-in-Field Technique 치료 시 호흡의 움직임에 따른 선량 평가

권경태

동남보건대학교 방사선과

Evaluation of the Dose According to the Movement of Breath During Field-in-Field Technique Treatment of Breast Cancer Patients

Kyung-Tae Kwon

Department of Radiologic Technology, Dongnam Health University

Abstract Field-in-Field Technique is applied to the radiation therapy of breast cancer patients, and it is possible to compensate the difference in breast thickness and deliver uniform dose in the breast. However, there are several fields in the treatment field that result in a more complex dose delivery than a single field dose delivery. If the patient's respiration is irregular during the delivery of the dose by several fields and the change of respiration occurs, the dose distribution in the breast changes. Therefore, based on the computed tomography images of breast cancer patients, a human model was created by using a 3D printer (Builder Extreme 1000) to describe the volume in the same manner. A computerized tomography (CT) of the human body model was performed and a treatment plan of 260 cGy / fx was established using a 6-MV field-in-field technique using a computerized treatment planning system (Eclipse 13.6, Varian, USA).

The distribution of the dose in the breast according to the change of the respiration was measured using a moving phantom at 0.1 cm, 0.3 cm, 0.5 cm amplitude, using a MOSOXIDE Silicon Field Effect Transistor (MOSFET, Best Medical, Canada) Were measured and compared. The distribution of dose in the breast according to the change of respiration showed similar value within $\pm 2\%$ in the movement up to 0.3 cm compared to the treatment plan. In this experiment, we found that the dose distribution in the breast due to the change of respiration when the change of respiration was increased was not much different from the treatment plan.

Key Words: Field-in-Field Technique, Respiration variation, 3D print, Phantom dose, MOSFET

중심 단어: 필드인 필드 법, 호흡변화, 3D 프린트, 모형선량, 모스펫검출기

I. 서 론

유방암은 여성에게 대표적인 질병으로, 세계적으로 흔한 암으로 알려져 있다. 보편화된 건강검진으로 인한 조기 진단 및 치료의 발전으로 유방암 환자 수와 기대수명이 증가함에 따라 치료 이후의 부작용을 줄이는데 집중하고 있다 [1-3].

유방암의 치료 방법은 유방 보존 절제술, 변형 근치적 절제술 및 감시림프절 생검 혹은 액와림프 절제술을 시행하고 있다[4]. 다수의 실험에서 유방 보존 절제술 후 방사선 치료의 효과는 초기 유방암 치료에서 큰 부작용 없이 종양 제어에 효과적이라고 보고되었다[5-6].

유방암 환자 중 보존 근치술(Breast Conservative Operation, BCO)을 시행하고, 림프절 전이가 없는 환자를 대상으로 점선조

This paper is performed by the will support Dongnam Health University 2018

Corresponding author: Kyung-Tae Kwon, Department of Radiologic Technology, Dongnam Health University, 50, CheonCheon-ro 74-gil, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16328, Korea / Tel: +82-31-249-6404 / E-mail: ktkwon@dongnam.ac.kr

Received 15 October 2018; Revised 30 October 2018; Accepted 22 November 2018

Copyright ©2018 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

사를 이용한 방사선치료가 주로 사용되고 있다[7-10].

유방암의 방사선치료는 썬키필터를 이용한 유방의 모양에 따른 두께차이를 보상하는 기존의 방사선치료방법에서 유방의 모양에 따른 두께차이를 보다 정밀하게 보정하여 유방 내에 보다 균등한 선량 전달할 수 있는 Field-in-Field Technique 치료방법의 발달로 썬키필터의 한계를 극복하고 여러 장점이 있어 최근 많이 이용되고 있다[11-15]. 하지만 치료 field안에 여러 field가 있어 단일 field의 선량전달 보다 복잡한 선량전달을 하게 된다. 여러 field에 의한 선량 전달 중에 환자의 호흡이 불규칙하거나 갑작스런 호흡의 변화가 발생하면 유방 내의 선량분포 변화가 발생할 수 있다 [14]. 따라서 본 실험에서는 인체모형을 제작하여 호흡에 의한 움직임을 반영할 수 있는 Moving device를 이용해서 호흡변화에 따른 움직임이 Field-in-Field Technique 방사선치료 시 유방 내의 선량분포에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 대상 및 재료

유방암 환자의 전산화단층영상을 바탕으로 3D 프린터 (Builder Extreme 1000)를 이용하여 체적을 동일하게 묘사한 인체모형을 제작하였다. 제작한 인체모형을 전산화단층촬영하고 전산화치료계획시스템(Eclipse 13.6, Varian, USA)을 이용하여 6MV, Field-in-Field technique을 이용한 260 cGy/fx의 치료계획을 수립하였다. 호흡의 변화에 따른 유방내의 선량분포는 인체모형을 QUASAR Programmable Respiratory Motion Phantom (Moudus Medical Device Inc. CANADA)을 이용하여 0.1 cm, 0.3 cm, 0.5 cm 진폭으로 움직이면서 모스펫검출기(Metal OXIDE Silicon Field Effect Transistor, MOSFET, Best Medical, Canada)를 이용하여 Field in Field의 치료계획 상 선량의 변화가 급격

히 일어나는 임의의 점 4곳의 인체모형 내부 선량을 측정 비교하였다.

2. 연구방법

1) 팬텀제작

팬텀제작을 위해 필요한 환자의 유방 용적은 무작위로 선정하여 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography; CT)을 통해 평균의 용적을 획득하였다. 촬영된 CT 영상에 유방 외형을 전산화치료계획시스템(Eclipse version 13.6, Varian, USA)을 이용하여 그 구조를 획득하였다. 팬텀 제작을 위해 필요한 유방의 구조를 디지털 의료 영상 전송장치(Digital Imaging and Communication in Medicine; DICOM) 파일로 만들어 DICOM 파일을 3D Slicer (Slicer 4.6, BWH and 3D Slicer)를 이용하여 STL(STereoLithography) 파일로 변환하였다. STL로 변환한 파일은 다시 Cura(Cura 2.4, Ultimaker, Netherlands) 프로그램을 이용하여 인체 모형 제작을 위한 주형틀로 편집해 3D 프린터로 출력하였다. 출력에 사용한 3D 프린터는 Builder Extreme 1000(Builder 3D Printers B.V. Netherlands)을 사용하여, 노즐사이즈 0.4 mm, 적층 두께 1 mm, 온도 220°C 조건을 가지고 설계에 맞추어 2차원의 층을 아래에서부터 쌓아 제조하는 적층제조법 (Fused Deposition Modeling; FDM) 방식으로 주형틀을 제작하였으며[Fig. 1], 주형틀 안에 Cradle을 이용해서 인체 모형을 제작하였다[Fig. 2]. 인체 모형안에 모스펫검출기 4개를 삽입할 수 있도록 하였다[Fig. 3].

2) CT 영상 이미지 획득 및 치료계획

제작된 팬텀을 120 kV, 200 mA, 2.5 mm Thickness 조건으로 CT 영상을 획득하였다. 치료계획은 전산화치료계획시스템(Eclipse version 13.6, Varian, USA)을 이용하여 6 MV, Field-in-Field technique을 이용한 260 cGy/fx의 치료계획을 수립하였다[Fig. 4].

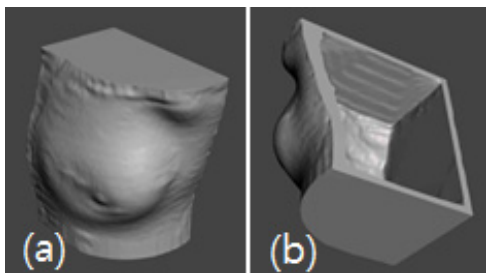


Fig. 1. Phantom model using 3D printer
(a) Anterior, (b) Posterior



Fig. 2. Phantom model using Cradle

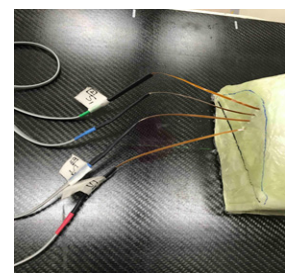


Fig. 3. Insert mosfet into phantom

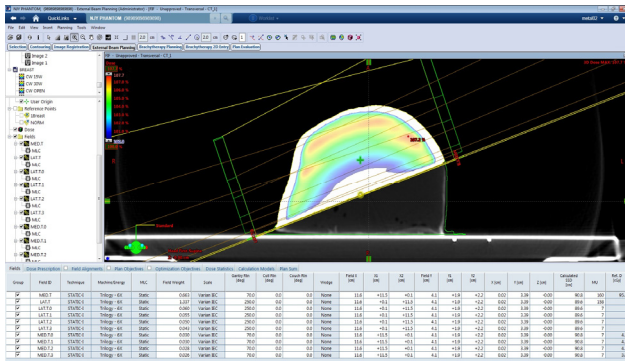


Fig. 4. Computerized treatment plan using field in field technique.

3) 실험과정

(1) 팬텀의 위치 재현성

인체 모형 내 선량측정을 위해 Trilogy(Varian Medical Systems, Palo Alto, USA) 선형가속기를 이용하였고, 측정 전 위치 정보를 확인하기 위해서 On-Board Imaging(OBI) System(Varian Medical Systems, Palo Alto, USA) 으로 획득한 kilo-Voltage(kV) X-ray 영상과 Cone-Beam CT (CBCT) 영상을 이용한 모스펫검출기의 marker point를 기준으로 Image Guided Radiation Therapy(IGRT)를 실시하여 선량 측정 위치에 대한 정확성을 확보하였다.

(2) 모스펫검출기의 검출 재현성 실험

광자선 6 MV에서 MOSFET의 검출 재현성을 측정하기 위해 Trilogy(Varian Medical Systems, Palo Alto, USA)을 이용하여 10, 30, 50, 100, 200, 300 cGy의 선량을 전달하여 MOSFET에 측정되는 값을 알아보았다. 방사선의 후방 산란(Back scatter)을 막기 위해 20 x 20 x 1 cm 고체 팬텀(Solid Phantom)을 5장 쌓아 올려 그 위에 MOSFET을 4개 위치시켰다. 그리고 검출기 위에 조직등가물질(Bolus) 1 cm을 위치시키고 조사야 10 x 10 cm², SSD(Source to Surface Distance, SSD) 100 cm 에서 dose 10, 30, 50, 100, 200, 300 cGy에 해당하는 MU(Monitor Unit)를 10회 반복 측정하여 재현성을 평가하였다[Fig. 5].

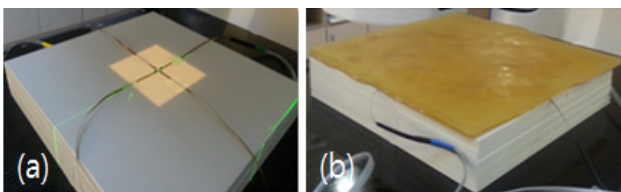


Fig. 5. Set up the respiration Upper-Lower range on fluoroscopy images. (a) Solid phantom, (b) Solid phantom with bolus

(3) MOSFET을 이용한 치료계획 선량측정

Cradle를 이용한 인체모형은 조직등가물질로 보정하여 선량을 측정하였으며, 인체 모형의 내부 선량 측정을 위해 선량변화가 가장 많이 일어나는 임의의 지점 표면에서 내부방향으로 1 cm 간격으로 총 4개의 모스펫검출기(Metal OXIDE Silicon Field Effect Transistor, MOSFET)를 위치시켜[Fig. 3], 전산화치료계획에 맞추어 5회 반복 선량을 전달하여 선량 측정값과 치료계획의 선량값을 비교분석 하였다.

(4) 호흡에 의한 움직임에 따른 선량변화 측정

호흡에 의한 움직임을 반영하기 위하여 인체 모형을 QUASAR Programmable Respiratory Motion Phantom (Moudus Medical Device Inc, CANADA)을 이용하여 Anterior, Posterior 방향으로 0.1 cm, 0.3 cm, 0.5 cm의 진폭으로 움직이면서 내부 선량 측정을 위해 표면에서 내부방향으로 1 cm 간격으로 총 4개의 모스펫검출기(Metal OXIDE Silicon Field Effect Transistor, MOSFET)를 위치시켜 전산화치료계획에 맞추어 5회 반복 선량을 전달하여 선량 측정값을 비교분석 하였다[Fig. 6].

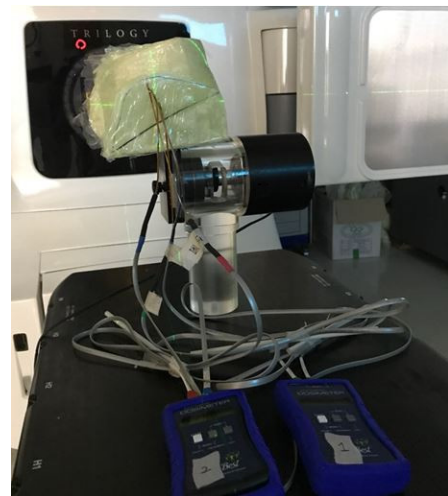


Fig. 6. Dosimetry using a human phantom for moving phantom

III. 결 과

1. 치료계획 선량

치료계획 상 선량의 변화가 급격히 일어나는 임의의 점 4곳의 선량은 전산화치료계획시스템(RTP, Version 13.6 Varian™, USA)를 통해 Fig. 7과 같이 각 점에서의 선량은

A point 276.3 cGy, B point 276.5 cGy, C point 275.2 cGy, D point 268.4 cGy로 평가하였다[Table 1].

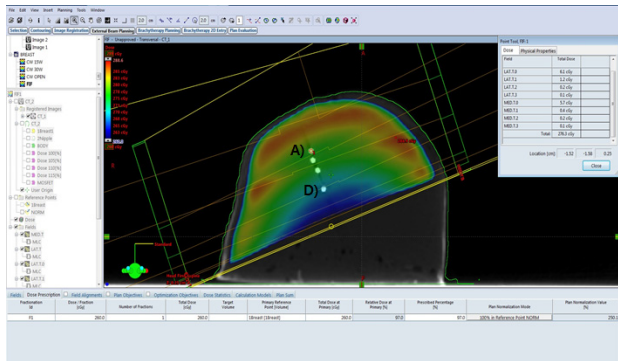


Fig. 7. Dose calculation at A and D-point on treatment plan

Table 1. Dose at each point from Treatment Planning System (unit; cGy)

TPS				
	A	B	C	D
	276.3	276.5	275.2	268.4

2. MOSFET의 검출 재현성 실험

6 MV 광자선에서 10, 30, 50, 100, 200, 300 cGy의 선량을 10회 반복 측정하였을 때, 4개의 검출기 재현성은 3% 내에서 일정하였다. 3개의 MOSFET은 선량이 증가함에 따라 상관계수 $R^2 = 0.99$ 의 선형성을 나타냈고, 1개의 검출기에서는 $R^2 = 1.00$ 의 선형성을 나타냈다[Table 2][Fig. 8].

3. 움직임이 없는 경우일 때 인체 모형 선량 (Phantom dose)

인체 모형 내 동일한 각 점에서 선량은 5회 측정 평균이 A point 276.29 cGy, B point 276.49 cGy, C point 275.19 cGy, D point 268.39 cGy로 측정되었다[Table 3]. 치료계획 선량과 비교하였을 때 A point 99.99%, B point 99.99%, C point 99.99%, D point 99.99%로 분석되었다.

4. 움직임이 있는 경우일 때 인체 모형 선량 (Phantom dose)

움직임의 차이가 0.1 cm일 경우 인체 모형 내 동일한 점 4곳의 선량은 5회 측정 평균이 A point 276.28 cGy, B point 276.49 cGy, C point 275.19 cGy, D point 268.39 cGy로 측정되었다[Table 4]. 치료계획 선량과 비교하였을

Table 2. MOSFET Detector Reproducibility for dose variation (unit; cGy)

Dose	Average measured dose			
	MOSFET A	MOSFET B	MOSFET C	MOSFET D
10	9.82	9.72	9.85	9.88
30	29.18	30.49	29.32	29.74
50	49.68	51.48	49.13	49.37
100	102.34	101.46	101.57	102.48
200	204.35	203.52	205.55	201.69
300	306.75	303.06	308.66	306.61

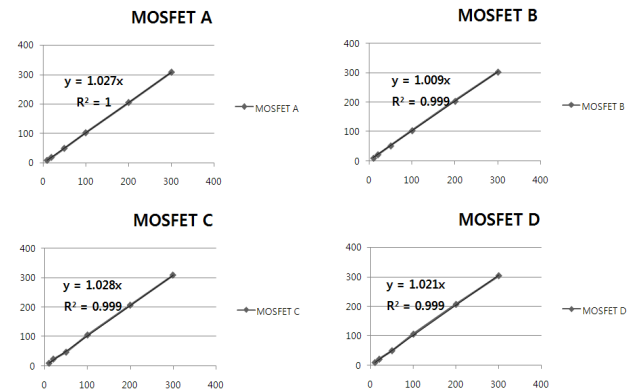


Fig. 8. Correlation coefficient according to dose change

Table 3. Dose results measured at 0 cm of motion (unit; cGy)

Motion	Measured dose			
	A	B	C	D
0 cm				
Normal	276.30	276.50	275.20	268.40
1	276.29	276.49	275.19	268.39
2	276.31	276.51	275.20	268.39
3	276.29	276.51	275.21	268.41
4	276.30	276.49	275.20	268.39
5	276.29	276.49	275.19	268.40

Table 4. Dose results measured at 0.1 cm of motion (unit; cGy)

Motion	Measured dose			
	A	B	C	D
0.1 cm				
Normal	276.30	276.50	275.20	268.40
1	276.27	276.48	275.19	268.38
2	276.31	276.51	275.18	268.39
3	276.27	276.51	275.21	268.41
4	276.31	276.49	275.20	268.39
5	276.28	276.49	275.18	268.41

Table 5. Dose results measured at 0,3 cm of motion
(unit; cGy)

Motion 0,3 cm	Measured dose			
	A	B	C	D
Normal	276,30	276,50	275,20	268,40
1	276,35	276,48	275,18	268,38
2	276,32	276,53	275,18	268,39
3	276,27	276,51	275,23	268,43
4	276,31	276,49	275,25	268,37
5	276,28	276,45	275,17	268,42

Table 6. Dose results measured at 0,5 cm of motion
(unit; cGy)

Motion 0,5 cm	Measured dose			
	A	B	C	D
Normal	276,30	276,50	275,20	268,40
1	276,18	276,62	275,15	268,31
2	276,38	276,52	275,11	268,29
3	276,41	276,59	275,29	268,45
4	276,21	276,44	275,24	268,39
5	276,35	276,48	275,31	268,42

때 A point 99,99%, B point 99,99%, C point 99,99%, D point 99,99%로 분석되었다.

움직임의 차이가 0.3 cm일 경우 인체 모형 내 4곳의 선량은 5회 측정 평균이 A point 276.30 cGy, B point 276.49 cGy, C point 275.20 cGy, D point 268.39 cGy로 측정되었다 [Table 5]. 치료계획 선량과 비교하였을 때 A point 100.00%, B point 99.99%, C point 100.00%, D point 99.99%로 분석되었다.

움직임의 차이가 0.5 cm일 경우 인체 모형 내 4곳의 선량은 5회 측정 평균이 A point 276.29 cGy, B point 276.53 cGy, C point 275.23 cGy, D point 268.35 cGy로 측정되었다 [Table 6]. 치료계획 선량과 비교하였을 때 A point 99.99%, B point 100.00%, C point 100.00%, D point 99.99%로 분석되었다.

IV. 고 찰

본 실험에서 치료계획 상 선량변화가 급격히 일어나는 각 점 4곳에서의 선량은 A point 276.3 cGy, B point 276.5 cGy, C point 275.2 cGy, D point 268.4 cGy로 평가 되었으며, 치료계획 선량과 비교하였을 때 A point 99.99%, B point 99.99%, C point 99.99%, D point 99.99%로 분석되

었다.

움직임의 차이가 가장 큰 0.5 cm의 경우 각 점에서의 측정된 선량의 평균은 A point 276.29 cGy, B point 276.53 cGy, C point 275.23 cGy, D point 268.35 cGy로 측정되었다. 치료계획 선량과 비교하였을 때 A point 99.99%, B point 100.00%, C point 100.00%, D point 99.99%로 분석되었다. 본 연구의 한계점은 한 환자를 대상으로 phantom영상을 이용하여 진행하였기 때문에 각 개인의 환자마다 유방의 모양과 용적이 서로 다를 수 있는 점이 반영되지 못한 점과 선량평가에 있어서 Homogeneity index (HI)나 Conformity Index(CI)를 이용한 선량평가가 아닌 MOSFET을 이용한 포인트 선량평가에 있다. 포인트 선량평가는 유방내의 dose cloud를 기준으로 field size가 조정되는 Field-in-Field Technique 치료에서 굉장히 많은 포인트의 선량평가가 아닌 이상 움직임을 정확하게 반영할 수 없기 때문이다. 또한 호흡의 영향에 의한 움직임을 Anterior, Posterior 방향으로 평가한 점이 실제 환자 치료와 차이가 있을 수 있는 점이다. 더불어 반대측 유방에 들어가는 선량도 적절히 평가되어야 한다고 보고되고 있다[16]. 향후 실제 환자 치료 시 EPID CINE MODE를 통한 획득한 이미지를 분석 평가하거나 C-RAD를 이용한 호흡의 의한 유방의 움직임 평가를 고려해야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

유방 내에 균등한 선량 전달할 수 있는 Field-in-Field Technique 치료 시 환자의 호흡의 변화에 따른 움직임 변화에 따라 치료계획과 실제 전달되는 선량에 얼마나 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 호흡의 크기가 증가함에 따라 측정지점에서 선량의 차이는 0.01% 이하의 차이를 보였다. 따라서 호흡변화에 따른 field 내 선량은 차이가 없었다는 결과에서 보듯이 복부나 폐의 경우처럼 호흡에 따른 횡경막의 움직임에 영향을 받는 위치의 장기와는 다르게 유방의 경우 환자의 고의적인 호흡 변화가 아닌 이상 움직임이 적은 점을 고려해 본다면 호흡의 영향을 크게 고려하지 않아도 문제가 되지 않는다고 사료된다. 하지만 보다 안전하고 정확한 방사선치료의 선량 전달을 위하여 치료 중에 환자의 호흡 상태를 지속적으로 모니터링 하는 것은 무엇보다 중요하다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] Central Cancer Registry Center in Korea. Cancer Facts & Figures 2017. Seoul: Ministry of Health and Welfare; 2017.
- [2] Krasin M, McCall A, King S, Olson M, Emami B. Evaluation of a standard breast tangent technique: a dose volume analysis of tangential irradiation using three-dimensional tools. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2000;47:327-33.
- [3] Van Asselen B, Raaijmakers CP, Hofman P, Lagendijk JJ. An improved breast irradiation technique using three-dimensional geometrical information and intensity modulation. *Radiother Oncol.* 2001;58:341-7.
- [4] Haffty BG, Buchholz TA, Perez CA. Early stage breast cancer. In: Halperin EC, Perez CA, Brady LW, eds. *Principles and Practice of Radiation Oncology*. 5th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007;1175-1291.
- [5] 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 10801 women in 17 randomized trials. *Lancet.* 2011;378:1707-1716.
- [6] Kim JH, Byun SJ. Long-term Results of Breast-conserving Surgery and Radiation Therapy in Early Breast Cancer. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol.* 2009;27(3):153-62.
- [7] Kim JH, Kim OB, Kim YS. Breast Conserving Operation and Radiation Therapy in Early Breast Cancer: Interim Analysis. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol.* 2001;19(1):27-35.
- [8] Fisher B, Anderson S, Redmond CK, Wolmark N, Wickham DL, Croinin WM. Reanalysis and results after 12 years of follow-up in a randomized clinical trial comparing total mastectomy with lumpectomy with or without irradiation in the treatment of breast cancer. *N Engl J Med.* 1995;333:1456-61.
- [9] Fowble BL, Solin LJ, Schultz DJ, Goodman RL. Ten year results of conservative surgery and irradiation for stage I and II breast cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1991;21:269-77.
- [10] Chie EK, Kim K, Choi JH, Jang NY, et al. Results of breast conserving surgery and subsequent post-operative radiotherapy for cases of breast cancer. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol.* 2008;26:142-8.
- [11] Tanaka H, Hayashi S, Hoshi HJ. Determination of the optimal method for the field-in-field technique in breast tangential radiotherapy. *Radiat Res.* 2014;55(4):769-73. doi: 10.1093/jrr/rrt233. Epub 2014 Feb 16. PMID: 24536020
- [12] Tsuchiya K, Kinoshita R, Shimizu S, Nishioka K, Harada K, Nishikawa N, et al. Dosimetric comparison between intensity-modulated radiotherapy and standard wedged tangential technique for whole-breast radiotherapy in Asian women with relatively small breast volumes. *Radiol Phys Technol.* 2014;7(1):67-72. doi: 10.1007/s12194-013-0232-3. Epub 2013 Aug 28. PMID: 23982269
- [13] Pili G, Grimaldi L, Fianza C, Florio ET, Petruzzelli MF, D'Errico MP, et al. Geometric and dosimetric approach to determine probability of late cardiac mortality in left tangential breast irradiation: comparison between wedged beams and field-in-field technique. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2011;81(3):894-900. doi: 10.1016/j.ijrobp.2010.12.021. Epub 2011 Feb 9. PMID: 21310547
- [14] Tanaka H, Hayashi S, Ohtakara K, Hoshi H. Impact of respiratory motion on breast tangential radiotherapy using the field-in-field technique compared to irradiation using physical wedges. *Radiol Oncol.* 2014;48(1):94-8. doi: 10.2478/raon-2013-0032. eCollection 2014 Mar. PMID: 24587786
- [15] Onal C, Sonmez A, Arslan G, Oymak E, Kotek A, Efe E, et al. Dosimetric comparison of the field-in-field technique and tangential wedged beams for breast irradiation. *Jpn J Radiol.* 2012;30(3):218-26. doi: 10.1007/s11604-011-0034-7. Epub 2011 Dec 21. PMID: 22183829
- [16] Darby SC, McGale P, Taylor CW, Peto R. Long-term mortality from heart disease and lung cancer after radiotherapy for early breast cancer: prospective cohort study of about 300000 women in US SEER cancer registries. *Lancet Oncol.* 2005;6:557-65.