

Discrepancies between Calculated and Delivered Dose Distributions of Respiratory Gated IMRT Fields according to the Target Motion Ranges for Lung and Liver Cancer Patients

Youngkuk Kim^{*†}, Sangwook Lim^{*}, Ji Hoon Choi^{*}, Sun Young Ma^{*}, Tae Sig Jeung^{*}, Tae Ik Ro[†]

^{*}Department of Radiation Oncology, Kosin University College of Medicine,

[†]Department of Physics, Dong-A University, Busan, Korea

To see the discrepancies between the calculated and the delivered dose distribution of IMRT fields for respiratory-induced moving target according to the motion ranges. Four IMRT plans in which there are five fields, for lung and liver patients were selected. The gantry angles were set to 0° for every field and recalculated using TPS (Eclipse Ver 8.1, Varian Medical Systems, Inc., USA). The ion-chamber array detector (MatriXX, IBA Dosimetry, Germany) was placed on the respiratory simulating platform and made it to move with ranges of 1, 2, and 3 cm, respectively. The IMRT fields were delivered to the detector with 30~70% gating windows. The comparison was performed by gamma index with tolerance of 3 mm and 3%. The average pass rate was 98.63% when there's no motion. When 1.0, 2.0, 3.0 cm motion ranges were simulated, the average pass rate were 98.59%, 97.82%, and 95.84%, respectively. Therefore, ITV margin should be increased or gating windows should be decreased for targets with large motion ranges.

Key Words: Gated radiation therapy, IMRT, Gamma index, Moving phantom

서 론

표적부피(target volume)에 균일한 선량을 전달하고, 정상 조직에는 최소한 선량을 전달하는 세기조절방사선치료(intensity-modulated radiation therapy, IMRT)는 표적부피와 정상조직 사이에 선량분포의 높은 선량 경사율을 형성하여 정상조직의 피해를 최소화 하므로 치료 전 계획된 선량분포와 치료 시 전달되는 선량분포를 확인하는 정도관리(quality assurance, QA) 작업이 매우 중요하다.^{1,2)} 현재 많은 기관에서 이온전리함, 2차원 이온전리함 배열, 전자포탈영

상장치(electrical portal imaging device, EPID) 및 필름 등을 이용하여 선량 차이(dose difference), 감마 지표(gamma index) 및 ROC (receiver operating characteristic) 곡선 등의 분석을 시행하고 있다.³⁻¹⁰⁾

IMRT는 표적부피와 정상조직 사이에 선량분포의 높은 선량 감소율을 형성하여 정상조직의 피해를 최소화 하므로¹¹⁾ 뇌, 두경부, 폐, 복부 및 골반 부위 등 다양한 부위에 적용되고 있으며,^{12,13)} 특히, 두경부와 전립선암 등의 골반 부위에 적용 시 다른 치료법에 비해 방사선에 의한 부작용을 효과적으로 줄일 수 있어 치료효과가 높다는 연구결과가 있다.¹⁴⁻²¹⁾ 반면, 폐 또는 복부 등 호흡에 의해 움직임이 큰 장기에 IMRT를 적용 시, 국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiological Unit and Measurement, ICRU) 보고서에 따라 내부표적부피(internal target volume, ITV)를 충분히 고려하여 치료용표적부피(planning target volume, PTV)를 결정할 경우 정상조직에 필요이상의 방사선이 피폭되어 정상조직손상확률(normal tissue complication probability, NTCP)이 증가할 수 있고, 환자의 호흡 패턴, 주기 및 종양의 움직임 크기 등을 고려하지 않을 경우 종양 억제확률(tumor control probability, TCP)이 낮아질 수 있

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2010-0013701 and 2013R1A1A2012013).

Received 15 October 2014, Revised 12 November 2014, Accepted 19 November 2014

Correspondence: Sangwook Lim (medicalphysics@hotmail.com)

Tel: 82-51-990-6393, Fax: 82-2-6280-6247

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다.^{22,23)} 따라서 환자 내부 장기 움직임을 고려한 호흡연동 방사선치료(respiratory-gated radiation therapy), 호흡조절방사선치료(active breathing control radiation therapy), 및 동적병소추적방사선치료(dynamic tumor tracking radiation therapy)와 같이 호흡을 고려한 4차원방사선치료방법에 대한 치료가 활발히 이루어지고 있다.²⁴⁻²⁶⁾ 이러한 호흡연동방사선치료를 시행함에도 흉부나 복부의 IMRT 시행 전 정도관리시 호흡에 의한 움직임은 고려되고 있지 않고 있다.

본 연구의 목적은 호흡연동방사선치료법을 적용한 IMRT 시 환자의 호흡에 따른 장기운동에 따른 선량분포의 차이를 감마지표로 분석하여 장기운동에 따른 최적의 연동창(gating window)의 범위와 ITV (internal target volume) 여유분(margin)을 알아보고자 한다.

재료 및 방법

실제 환자의 호흡운동을 모사하기 위하여 호흡연동방사선치료법을 적용하여 IMRT를 완료한 폐암환자 25명과 간암 환자 23명의 사차원컴퓨터단층촬영(four-dimensional computed tomography, 4DCT) 영상을 후향적(retrospective)으로 분석하였고 모든 환자의 평균 호흡주기 및 호흡에 의한 횡격막의 움직임을 4DCT 영상으로 측정하였다. 4DCT는 RPM (Real-time Position ManagementTM, Varian Medical Systems, Inc., Palo Alto, CA, USA) 시스템과 연동하여 4DCT 영상을 획득하였다. 호흡에 의한 장기의 움직임은 비교적 분석이 용이하고 움직임이 두드러진 횡격막을 기준으로^{27,28)} 두미축(craniocaudal) 방향으로 분석하여 환자들의 평균 호흡패턴을 자체 제작한 호흡운동모사 플랫폼(respiration simulating platform) 운동에 적용하였다.

본 연구에서는 호흡운동에 따른 IMRT의 계산된 선량분포와 실제 전달된 선량분포의 차이를 분석하기 위해 치료를 완료한 폐암환자 2명과 간암환자 2명의 IMRT 치료계획을 선택하였다. 한 환자 당 조사면(field)은 5개씩이었으며 치료계획시스템(Eclipse 8.1, Varian Medical Systems, Inc., Palo Alto, CA, USA)에서 가상의 팬텀을 만들어 각각의 갱트리(gantry)를 수직방향(0°)으로 변경하여 재계산된 선량분포를 얻었다.

환자의 다양한 호흡운동 패턴을 모사하기 위해 자체 제작한 호흡모사 플랫폼은 전동기의 회전운동을 크랭크축(crankshaft)을 통해 직선왕복운동하도록 설계하여 다양한 진폭과 회전속도로 사인파(sinusoidal)형태로 움직이도록 고안하였다. 플랫폼 위에는 고체팬텀과 필름 또는 2차원선량

계 등을 올려놓아 움직이는 병소의 2차원적 선량분포를 측정할 수 있도록 고안하였다. 본 실험에서는 환자의 횡격막 움직인 거리를 분석하여 가능성 있는 횡격막의 3가지 움직임을 모사시켰고 주기는 환자의 평균호흡주기를 사용하였다.

각 조사면의 실제 전달 선량을 측정하기 위해 2차원 이온전리함 배열(I'mRT MatriXX, IBA Dosimetry, Germany)을 호흡모사 플랫폼 위에 위치시켰다. 2차원 이온전리함 배열은 2차원 선량분포를 측정하는 장비로 내부에 모서리 부분의 4개를 제외한 총 1020개의 이온전리함이 배열되어 있다. 유효면적(active area)은 $24.4 \times 24.4 \text{ cm}^2$ 이고, 유효층(active layer)은 2차원 이온전리함배열의 표면으로부터 0.3 cm 아래에 위치하고 있다.²⁹⁾ 이를 고려하여 계산된 선량의 조건과 동일한 기하학적 구조를 재현하기 위해 Fig. 1과 같이 움직이는 받침대 위에 2차원 이온전리함 배열을 설치하고, $30.0 \times 30.0 \times 1.3 \text{ cm}^3$ 의 고체팬텀(Virtual water[®], Civo Medical Solutions, Orange City, IA, USA)을 2차원 이온전리함 배열 위에 위치시켰다. 그리고 선원표면간거리(source-to-surface distance, SSD)를 100 cm로 설치하여 최대선량 깊이($D_{\max}$)에서 움직이는 표적의 이차원적 선량분포를 측정할 수 있도록 하였다. 치료용선형가속기(Clinac iX, Varian Medical Systems, Inc., Palo Alto, CA, USA)에서 각각의 치료 계획과 동일하게 6 MV의 광자선, 400 MU/min 선량율을 사용하였고, 호흡연동방사선치료시 본원에서 선택하는 최대 연동창



Fig. 1. To simulate the patients' respiratory motion, the moving platform was fabricated in laboratory. The solid water phantom with thickness of 1.3 cm and the MatriXX were placed on the simulating platform as shown figure. The SSD was 100 cm and the depth of measurement layer became 1.6 cm, which $D_{\max}$ for 6 MV photon beams. We let the platform move with range of 0, 1, 2, and 3 cm and with cycle of 3.6 s.

크기인 30~70%의 연동창(gating windows)으로 호흡연동방사선치료법을 적용하여 움직임이 0, 1, 2, 및 3 cm의 경우 각각 방사선을 조사하였다.

2차원 이온전리함배열로 획득한 각각의 조사면의 선량 분포는 계산된 선량분포와 비교하기 위해 Omni-Pro IMRT (IBA Dosimetry, Germany) 프로그램의 감마지표(gamma index) 분석을 사용하여 계산된 선량분포와 비교 분석하였다. 호흡연동 진폭에 의한 각 조사면의 합격률은 감마지표 3 mm/3% 수준으로 설정하여 합격률을 계산하였고, 0.0 cm, 1.0 cm, 2.0 cm 및 3.0 cm 의 크기로 움직이는 표적에 대한 합격률을 비교하였다.

결과 및 고찰

자체 제작한 호흡운동모사 플랫폼의 움직임은 각각 1.0, 2.0, 3.0 cm으로 사인파 형태의 1차원 왕복운동을 하였다.

주기는 환자의 평균호흡주기인 3.2초로 호흡운동을 모사하였다. 이 플랫폼은 고체팬텀과 이온함배열 등을 올려놓고 움직일 수 있도록 고안하였기 때문에 호흡연동방사선치료 등의 이차원 선량분포 분석이 가능하였다. 임상옥 등³¹⁾의 연구에서는 컴퓨터와 연결된 동팬텀이 표적 내의 한 점의 움직임을 실제환자의 불규칙한 호흡운동을 모사하기 위한 것과는 달리 본 연구에서 개발한 플랫폼은 무거운 계측기 등을 움직일 수 있도록 고안하였다. 상용화된 QUASARTM와 같은 호흡동조 구동 팬텀은 3차원 왕복운동을 하나 실제 환자의 불규칙한 운동을 모사하지는 못하며, 무거운 계측기는 적용이 불가하여 작은 필름 등을 이용한다.³²⁾

Table 1은 호흡모사 플랫폼에 적용하기위해 48명의 폐암과 간암 환자의 4차원 컴퓨터단층영상에서 횡격막의 두미축 방향의 움직임 크기와 평균 호흡주기를 측정한 결과를 보여준다. 모든 환자의 평균 호흡주기는 3.6 s, 횡격막의 평균 움직임 크기는 1.3 cm으로 측정되었다.

Table 1. Respiratory patterns for 48 lung and liver cancer patients (SD: Standard deviation).

Treatment site	Number of patients	Breathing period (s)		Motion range (cm)	
		Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Lung	25	3.4±0.5	2.6~4.9	1.3±0.6	0.2~2.4
Liver	23	4.0±0.8	2.6~6.0	1.2±0.5	0.2~2.3
Total	48	3.6±0.7	2.6~6.0	1.3±0.6	0.2~2.4

Table 2. The pass rate according to the motion ranges: The pass rate for the calculated and the measured dose distribution for the gated IMRT according to the target motion ranges; The pass rates tend to decrease with the motion range.

Patient	Motion range	Field number				
		1	2	3	4	5
A	0 cm	98.14%	99.90%	99.98%	99.84%	99.66%
	1 cm	99.44%	99.61%	99.65%	99.74%	98.65%
	2 cm	98.52%	99.18%	98.26%	99.26%	98.31%
	3 cm	97.22%	97.79%	95.96%	98.31%	94.88%
B	0 cm	99.62%	99.65%	99.52%	99.70%	99.60%
	1 cm	99.22%	99.22%	99.13%	99.39%	99.31%
	2 cm	98.91%	98.91%	98.78%	99.00%	98.91%
	3 cm	98.18%	98.13%	98.13%	98.13%	98.09%
C	0 cm	97.77%	99.68%	95.59%	93.90%	95.83%
	1 cm	97.14%	99.26%	94.14%	93.27%	95.92%
	2 cm	94.92%	98.65%	93.14%	92.14%	94.97%
	3 cm	91.28%	94.02%	91.19%	85.33%	92.27%
D	0 cm	99.76%	99.89%	97.78%	99.09%	97.78%
	1 cm	99.87%	100.00%	99.91%	99.18%	99.70%
	2 cm	98.87%	99.57%	99.22%	98.22%	98.65%
	3 cm	97.53%	98.39%	97.53%	97.18%	97.22%

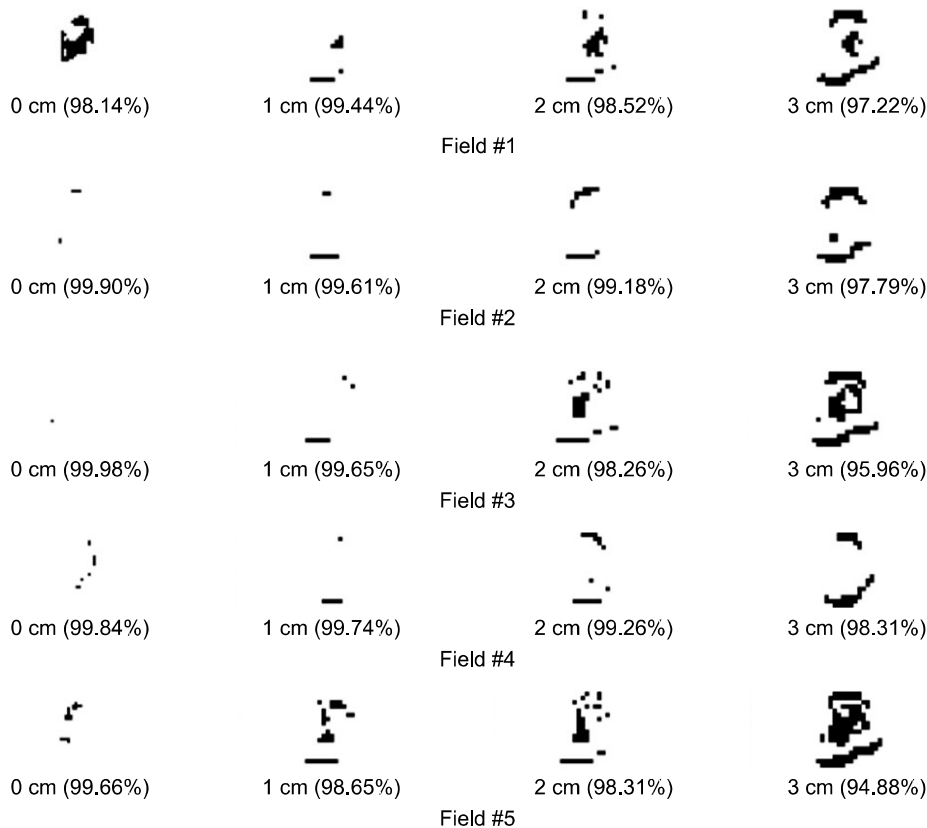


Fig. 2. Example of five respiratory gated IMRT fields for case of A patient; the phantom simulated respiratory motion with four scenario (0, 1, 2, and 3 cm motion range and 3.6 s cycle). Gamma index were used with 3 mm/3% tolerance to compare calculated and measured dose distribution. White and black area in the figures represent pass and fail respectively.

Table 2는 30~70% 범위의 연동창을 설정하여 호흡연동 방사선치료법을 적용한 IMRT의 20개 조사면을 계산된 선량분포를 기준으로 3 mm/3% 허용범위에서 감마지표 합격률을 보여준다. 환자 C를 제외하고는 움직임의 크기가 2 cm 이하일 경우 합격률이 98% 이상으로 호흡연동방사선치료법이 효과적이었음을 알 수 있다. 움직임이 없을 때 평균 합격률은 98.63%이고, 총 20개 조사면 중 17개의 조사면이 97% 이상의 합격률을 보였다. 움직임이 없을 때 감마 지표의 평균 합격률이 98.63%였으며, 움직임을 1.0, 2.0, 3.0 cm으로 모사할 경우 평균 합격률이 각각 98.59%, 97.82%, 95.84%으로 낮아졌다.

Fig. 2는 환자 A의 5개 조사면에 대한 호흡에 의한 움직임 크기별로 계산된 선량분포와 비교한 감마 지도(gamma map) 형태로 보여준다. 감마 지도에서 흰색은 합격을 나타내며, 검은색은 불합격을 나타낸다. 우측으로 갈수록 움직임을 크게 모사한 것인데 불합격 영역이 많아짐을 볼 수 있다. 5번 조사면의 경우 움직임을 모사하지 않았을 경우 합격률이 99.66%였고 2 cm으로 움직임을 모사할 경우도 98.31% 였으나 3 cm으로 움직임을 모사할 경우 94.88%로

합격률이 급격히 떨어짐을 알 수 있다.

결 론

호흡연동방사선치료 시 30~70%의 연동창에서 움직임 크기가 커질수록 합격률이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 환자 C의 경우 3, 4, 5번 조사면은 다른 조사면에 비하여 크기가 커서 정지상태에서도 합격률이 94~96% 정도로 낮았으나 움직임이 커질수록 합격률은 85% 정도까지 낮아짐을 알 수 있었다. 따라서 합격률이 낮은 조사면의 경우 호흡에 의한 움직임은 감마지표에 더 큰 영향을 주는 것으로 보인다. 이 경우 계획된 선량을 충분히 전달하기 위해서는 마선영 등³⁰⁾의 연구와 같이 움직이는 표적에 대하여 호흡연동방사선치료 시 연동창을 좁게 선택하거나 치료계획 시 ITV (internal target volume)의 여유분을 크게 설정하여야 한다. A환자와 같은 20×20 cm² 이하의 일반적인 크기의 IMRT 조사면의 경우 움직임 거리가 2 cm 까지는 30~70% 연동창 범위는 충분해 보인다. 이는 마선영 등²⁷⁾의 연구결과에서도 30~70% 연동창 범위에서도 3 cm의 움직임은 감마지

표 합격률이 98% 이상이였다. 단, 조사면의 크기가 커질 경우 감마지표 합격률은 낮아질 것으로 생각된다.

호흡연동방사선치료법을 적용한 세기조절방사선치료 시 움직임을 고려하지 않았을 때 3 mm/3% 기준에 대해 99% 이상 합격률을 보이더라도 병소의 움직임이 2 cm 이상이 될 경우 합격률이 97% 이하로 급격히 떨어질 수 있기 때문에 ITV 여유분을 크게 설정하거나 연동창을 좁게 선택할 것을 권장한다.

References

- Ezzell GA, Burmeister JW, Dogan N, et al: IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119, Med Phys 36:5359-5373 (2009)
- Ahn WS, Cho BC: Intensity modulated radiation therapy commissioning and quality assurance: Implementation of AAPM TG119, Progress in Medical Physics 22:99-105 (2011)
- Hussein M, Rowshanfarzad P, Ebert MA, Nisbet A, Clark CH: A comparison of the gamma index analysis in various commercial IMRT/VMAT QA systems, Radiother Oncol 109:370-376 (2013)
- Arumugam S, Xing A, Goozee G, Holloway L: Independent calculation-based verification of IMRT plans using a 3D dose-calculation engine, Med Dosim 38:376-384 (2013)
- Anjum MN, Parker W, Ruo R, Aldahlawi I, Afzal M: IMRT quality assurance using a second treatment planning system, Med Dosim 35:274-279 (2010)
- Li G, Zhang Y, Jiang X, et al: Evaluation of the ArcCHECK QA system for IMRT and VMAT verification, Physica Medica 29:295-303 (2013)
- Guillot M, Gingras L, Archambault L, Beddar S, Beaulieu L: Performance assessment of a 2D array of plastic scintillation detectors for IMRT quality assurance, Phys Med Biol 58:4439-4454 (2013)
- Sabet M, Rowshanfarzad P, Vial P, Menk FW, Greer PB: Transit dosimetry in IMRT with an a-Si EPID in direct detection configuration, Phys Med Biol 57:N295-N306 (2012)
- Vial P, Gustafsson H, Oliver L, Baldock C, Greer PB: Direct-detection EPID dosimetry: investigation of a potential clinical configuration for IMRT verification, Phys Med Biol 54:7151-7169 (2009)
- Carlone M, Cruje C, Rangel A, et al: ROC analysis in patient specific quality assurance, Med Phys 40:042103-1-042103-7 (2013)
- Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity modulated radiotherapy: current status and issues of interest, Int J Radiat Oncol Biol Phys 51:880-917 (2001)
- Wilcox EE, Daskalov GM, Pavlounis III, et al: Dosimetric verification of intensity modulated radiation therapy of 172 patients treated for various disease sites: comparison of EBT film dosimetry, ion chamber measurements, and independent MU Calculations, Med Dosim 33:303-309 (2008)
- Anjum MN, Parker W, Ruo R, Afzal M: Evaluation criteria for film based intensity modulated radiation therapy quality assurance, Physica Medica 26:38-43 (2010)
- Roesink JM, Moerland MA, Battermann JJ, Hordijk GJ, Terhaard CHJ: Quantitative dose-volume response analysis of changes in parotid gland function after radiotherapy in the head-and-neck region, Int J Radiat Oncol Biol Phys 51:938-946 (2001)
- Sasaki R, Soejima T, Matsumoto A, et al: Clinical significance of serum pulmonary surfactant proteins A and D for the early detection of radiation pneumonitis, Int J Radiat Oncol Biol Phys 50:301-307 (2001)
- Lee N, Xia P, Quivey JM, et al: Intensity-modulated radiotherapy in the treatment of nasopharyngeal carcinoma: an update of the UCSF experience, Int J Radiat Oncol Biol Phys 53:12-22 (2002)
- Nutting CM, Convery JD, Cosgrove PV, et al: Reduction of small and large bowel irradiation using an optimized intensity-modulated pelvic radiotherapy technique in patients with prostate cancer, Int J Radiat Oncol Biol Phys 48:649-656 (2000)
- Sanguineti G, Cavey ML, Endres EJ, et al: Is IMRT needed to spare the rectum when pelvic lymph nodes are part of the initial treatment volume for prostate cancer? Int J Radiat Oncol Biol Phys 64:151-160 (2006)
- Luxton G, Hancock SL, Boyer AL: Dosimetry and radiobiologic model comparison of IMRT and 3D conformal radiotherapy in treatment of carcinoma of the prostate, Int J Radiat Oncol Biol Phys 59:267-284 (2004)
- Wang-Chesebro A, Xia P, Coleman J, Akazawa C, Roach III: Intensity-modulated radiotherapy improves lymph node coverage and dose to critical structures compared with three-dimensional conformal radiation therapy in clinically localized prostate cancer, Int J Radiat Oncol Biol Phys 66:654-662 (2006)
- Wang L, Hoban P, Paskalev K, et al: Dosimetric advantage and clinical implication of a micro-multileaf collimator in the treatment of prostate with intensity-modulated radiotherapy, Med Dosim 30:97-103 (2005)
- ICRU REPORT 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50), International Commission in Radiation Units and Measurements (1999)
- Chu SS, Cho KH, Lee CG, Suh CO: Development of conformal radiotherapy with respiratory gate device, Radiat Oncol J 20:41-52 (2002)
- Kini VR, Vedam SS, Keall PJ, et al: Patient training in respiratory-gated radiotherapy, Med Dosim 28:7-11 (2003)
- Lim S, Park SH, Ahn SD, et al: Guiding curve based on the normal breathing as monitored by thermocouple for regular breathing, Med Phys 34:4514-4518 (2007)
- Lim S: Research on the respiratory synchronization system for dynamic tumor tracking radiation therapy, Gyeonggi, Kyonggi University doctorate thesis (2008)

27. Vedam SS, Kini VR, Keall PJ, et al: Quantifying the predictability of diaphragm motion during respiration with a non-invasive external marker. Med Phys 30(4):505-513 (2003)
28. Cervino LI, Du J, Jiang SB: MRI-guided tumor tracking in lung cancer radiotherapy. Phys Med Biol 56:3773-3785 (2011)
29. IBA Dosimetry: I'mRT MatriXX: The new standard in 2D IMRT pre-treatment verification. <http://www.iba-dosimetry.com>
30. Ma SY, Choi JH, Jeung TS, Lim S: Quantitative evaluation of gated radiation therapy using gamma index analysis. Progress in Medical Physics 24:198-203 (2013)
31. Lim S, Ahn SD, Park SH et al: Study of respiration simulating phantom using thermocouple-based respiration monitoring mask. Radiat Oncol J 23:217-222 (2005)
32. Yoon GJ, Kwak JW, Cho BC et al: Development of new 4D phantom model in respiratory gated volumetric modulated arc therapy for lung SBRT. Progress in Medical Physics 25:100-109 (2014)

호흡연동방사선치료시 폐암과 간암환자의 병소 움직임 크기에 따른 선량분포 차이 분석

*고신대학교 의과대학 방사선종양학교실, †동아대학교 물리학과

김영국*[†] · 임상욱* · 최지훈* · 마선영* · 정태식* · 노태익[†]

호흡연동방사선치료(respiratory-gated radiation therapy)법을 적용한 세기조절방사선치료(intensity-modulated radiation therapy, IMRT) 시 환자의 호흡에 의한 장기 움직임 크기에 따른 계산된 선량분포와 측정된 선량분포의 차이를 분석하고자 한다. 치료를 완료한 폐암과 간암 환자 4명을 선택하였다. 한 환자당 5개의 조사면 총 20개의 조사면을 갠트리 각도를 모두 0°로 변경하여 치료계획시스템(Eclipse Ver. 8.1, Varian Medical Systems, Inc., USA)으로 다시 계산하였다. 치료계획과 동일한 조건으로 각 IMRT 조사면을 2차원 이온전리함배열(MatriXX, IBA Dosimetry, Germany)을 자체 제작한 호흡모사 플랫폼(respiratory simulating platform)위에 놓고 0, 1.0, 2.0, 및 3.0 cm 씩 호흡 움직임을 모사하여 일반적으로 치료에 사용되는 연동창 범위인 30~70% 위상을 선택하여 호흡연동방사선치료법으로 조사하여 선량분포를 측정하였다. 계산된 선량분포와 측정된 선량분포의 2차원적 비교를 위해 소프트웨어(Omni-pro I'mRT, IBA Dosimetry, Germany)를 이용하여 3 mm/3%의 기준으로 감마 지표(gamma index)로 비교하였다. 움직임이 없을 때 감마 지표의 합격률이 평균 98.63%였으며, 움직임을 1.0, 2.0, 3.0 cm으로 모사할 경우 합격률이 각각 평균 98.50%, 97.82%, 95.84%로 낮아졌다. 따라서 실제 환자에 대해 호흡연동방사선치료법을 적용한 세기조절방사선치료 시 병소의 움직임이 2 cm가 넘을 경우 ITV (internal target volume) 여유분을 크게 설정하거나 연동창을 좁게 선택하여야한다.

중심단어: 호흡연동방사선치료, 세기변조방사선치료, 감마 지표, 동팬텀