

토모테라피에서 계획용표적체적 설정 시 필드 폭 영향 분석

전남대학교 의과대학 방사선종양학교실

송주영 · 나병식 · 정웅기 · 안성자 · 남택근 · 윤미선 · 정재욱

본 연구에서는 토모테라피 Hi-Art 시스템이 제공하는 3가지(1.0 cm, 2.5 cm, 5.0 cm) 필드 폭 변화에 따른 치료부위 경계면에서의 선량 변화를 조사하여, 필드 폭 크기에 따라 PTV 설정 시 고려되어야 할 사항들을 분석하고자 하였다. 토모테라피 필드 폭 크기에 의한 PTV 양 끝단부 부위의 선량분포 변화를 알아보기 위해 토모테라피 DQA (delivery quality assurance)용 cheesecake 팬텀을 대상으로 각 필드 폭 크기별 토모 치료계획을 수립하여 선량계산 결과와 실제 필름에서의 선량분포를 비교, 분석하였고, 실제 환자를 대상으로 한 치료계획에서도 필드 폭 크기의 영향을 살펴보고자, 복부 부위를 치료했던 환자 4명을 대상으로 각 필드 별 치료계획을 세우고, 선량분포를 분석하였다. DQA 팬텀을 대상으로 분석한 결과, 선량계산 값과 조사된 필름분석 결과 모두에서 필드 폭 크기가 커질수록 PTV 양끝단 부위의 선량분포가 더 넓게 분포함을 확인할 수 있었다. Jaw의 폭 변화 방향인 세로(y)방향의 선량분포에서 1.0 cm 필드 크기와 비교하여 최대 선량값 50% 기준으로 2.5 cm 필드는 1.6 cm 더 넓은 선량분포를, 5.0 cm 필드는 4.2 cm 더 넓은 선량분포를 보였다. 실제 환자 데이터를 대상으로 분석한 결과, 4명 모두 필드 폭 크기가 증가함에 따라 PTV y축 양끝 경계면에서 더 많은 선량이 더 넓게 분포함을 알 수 있었다. 특히, 5.0 cm 필드 폭을 사용하였을 경우에는 처방선량에 가까운 높은 선량이 PTV 양끝 상당히 넓은 영역에 걸쳐 조사됨을 알 수 있었으며, 이를 통해 큰 필드 폭을 기준으로 토모테라피 치료계획을 수립할 경우에는 치료기 테이블 진행방향으로 PTV 양끝 경계면에서 기존보다 여유도(margin)를 축소하여 PTV 설정을 하는 것이 타당함을 확인할 수 있었다.

중심단어: 토모테라피, 필드 폭, 계획용표적체적, 선량분포

서 론

토모테라피 방사선치료 장비는 치료 전 MVCT 영상을 통해 환자의 치료 위치 및 자세의 오차를 확인, 보정하여 영상유도방사선치료(image guided radiation therapy, IGRT)를 효과적으로 수행할 수 있으며, 중요장기 선량을 최소화하고, 종양에 더 많은 선량을 부여할 수 있는 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy, IMRT)를 정밀하게 수행할 수 있는 첨단 방사선치료 기기로 다수의 병원에서 운영되고 있다.^{1,2)}

현재 국내외에서 운용되고 있는 대부분의 토모테라피 장비는 Hi-Art (TomoTherapy, 미국) 제품으로 6 MV 광자선을 치료 방사선으로 사용하고 있으며, 기본적인 방사선 필드

형태는 15 cm 두께의 한 쌍의 jaw로 형성되며 그 밑에 64 개의 leaf들로 구성된 다엽콜리메터(multi-leaf collimator, MLC)의 움직임을 통해 세기조절방사선치료가 구현된다. Hi-Art 장비에서 허용되는 기본적인 방사선 필드의 크기는 가로 방향으로 40.0 cm의 고정된 길이이고, 세로 방향으로 1.0 cm, 2.5 cm, 5.0 cm 세 가지 옵션만이 허용된다. 이러한 필드 폭 크기의 변화는 토모테라피 치료계획 시 계산된 선량 분포의 변화를 가져올 수 있으며, 특히 치료가 시작되는 계획용표적체적(planning target volume, PTV) 처음 부위와 종료되는 PTV 말단 부위 영역에서의 선량분포에 큰 영향을 줄 수 있다.³⁾ 본 연구에서는 이와 같은 토모테라피 필드 크기 폭 변화에 따른 치료부위 경계면에서의 선량 변화를 조사하여, 필드 폭 변화에 따라 PTV 설정 시 고려되어야 할 사항들을 분석하고자 하였다.

이 논문은 2010년 9월 3일 접수하여 2010년 11월 9일 채택되었음.
 책임저자 : 송주영, (501-757) 광주시 동구 학동 8번지
 전남대학교 의과대학 방사선종양학교실
 Tel: 061)379-7225, Fax: 061)379-7249
 E-mail: jysong@jnu.ac.kr

대상 및 방법

1. 팬텀 대상 필드 폭 크기 변화에 따른 선량분포 변화 분석

토모테라피 필드 폭 크기에 의한 PTV 양 끝단부 부위의 선량분포 변화를 알아보기 위해 토모테라피 DQA (delivery quality assurance)용 cheesecake 팬텀을 대상으로 각 필드 폭 크기별 토모 치료계획을 수립하여 선량계산 결과와 실제

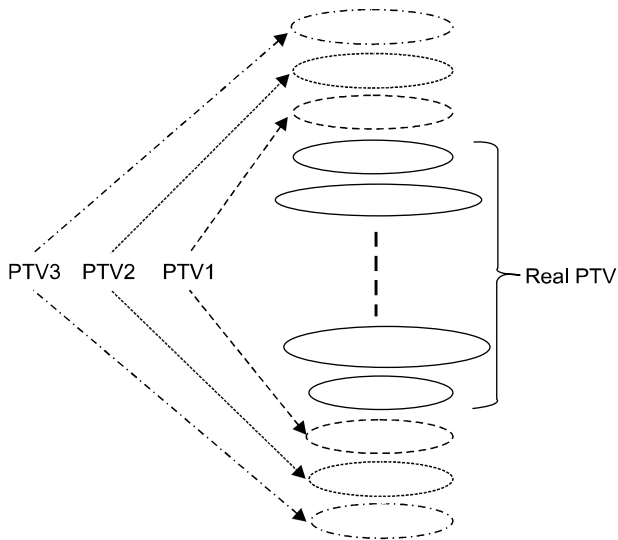


Fig. 1. Delineation of virtual PTVs for the analysis of dose variation in the area of both end of real clinical PTV due to the variation of field width in TomoTherapy.

조사된 필름에서의 선량분포를 비교, 분석하였다.

팬텀영상을 슬라이스 두께 2.5 mm로 획득한 후, 중심부

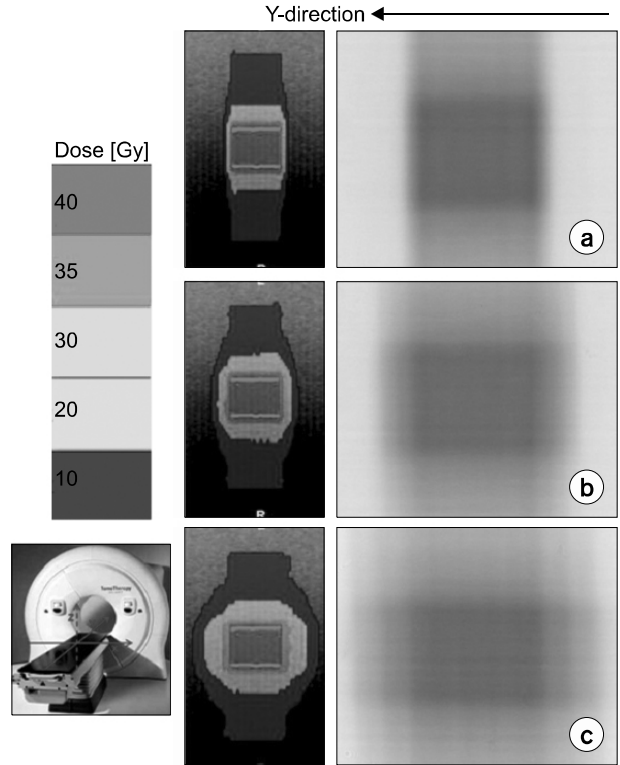


Fig. 2. Calculated dose distributions and irradiated films using DQA phantom with a variation of field width. (a) 1.0 cm Field width. (b) 2.5 cm field width. (c) 5.0 cm field width.

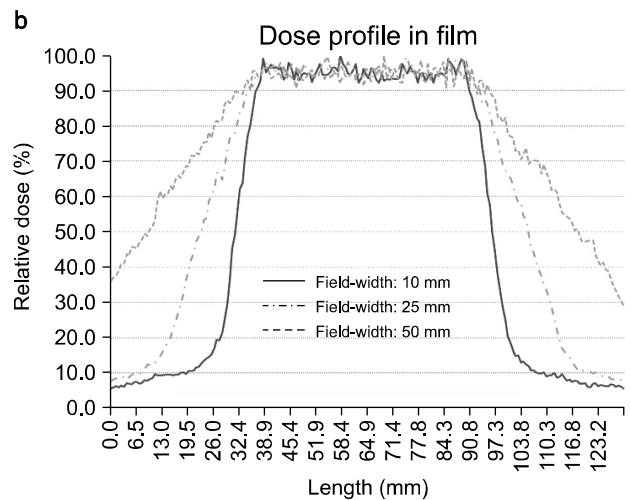
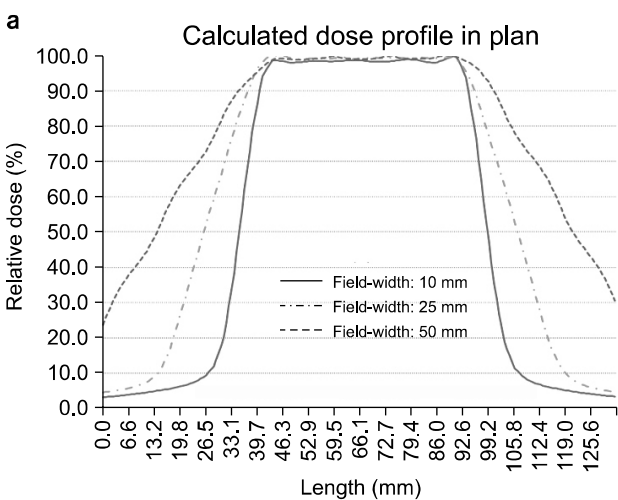


Fig. 3. Comparison of dose profiles in calculated results and irradiated films in the direction of jaw variation with a variation of field width. (a) Calculated dose profile in plan. (b) Dose profile in film.

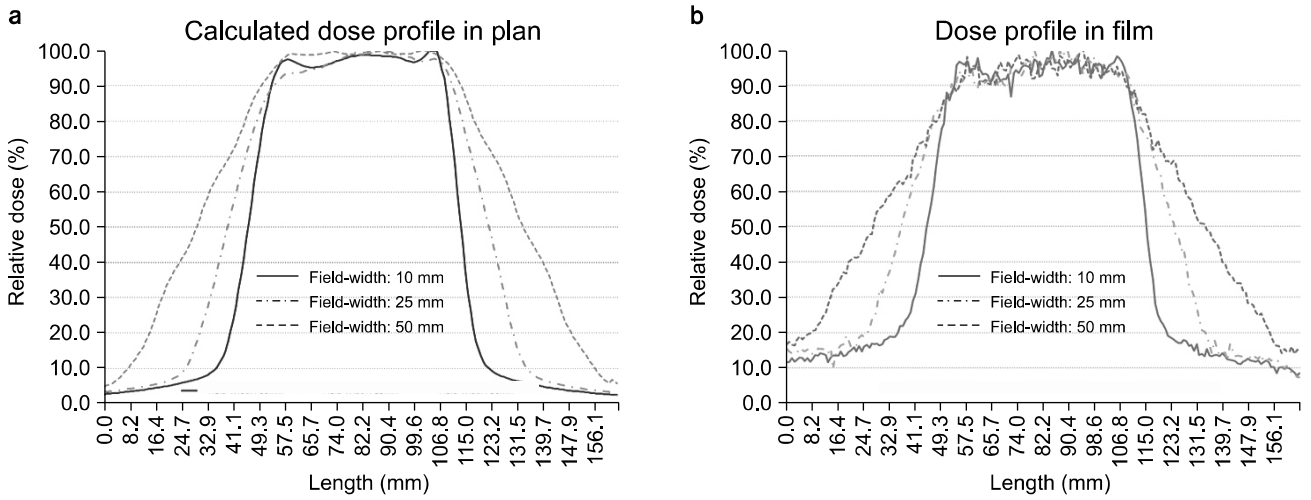


Fig. 4. Comparison of dose profiles in calculated results and irradiated films in the direction of jaw variation in the case of patient B. (a) Calculated dose profile in plan. (b) Dose profile in film.

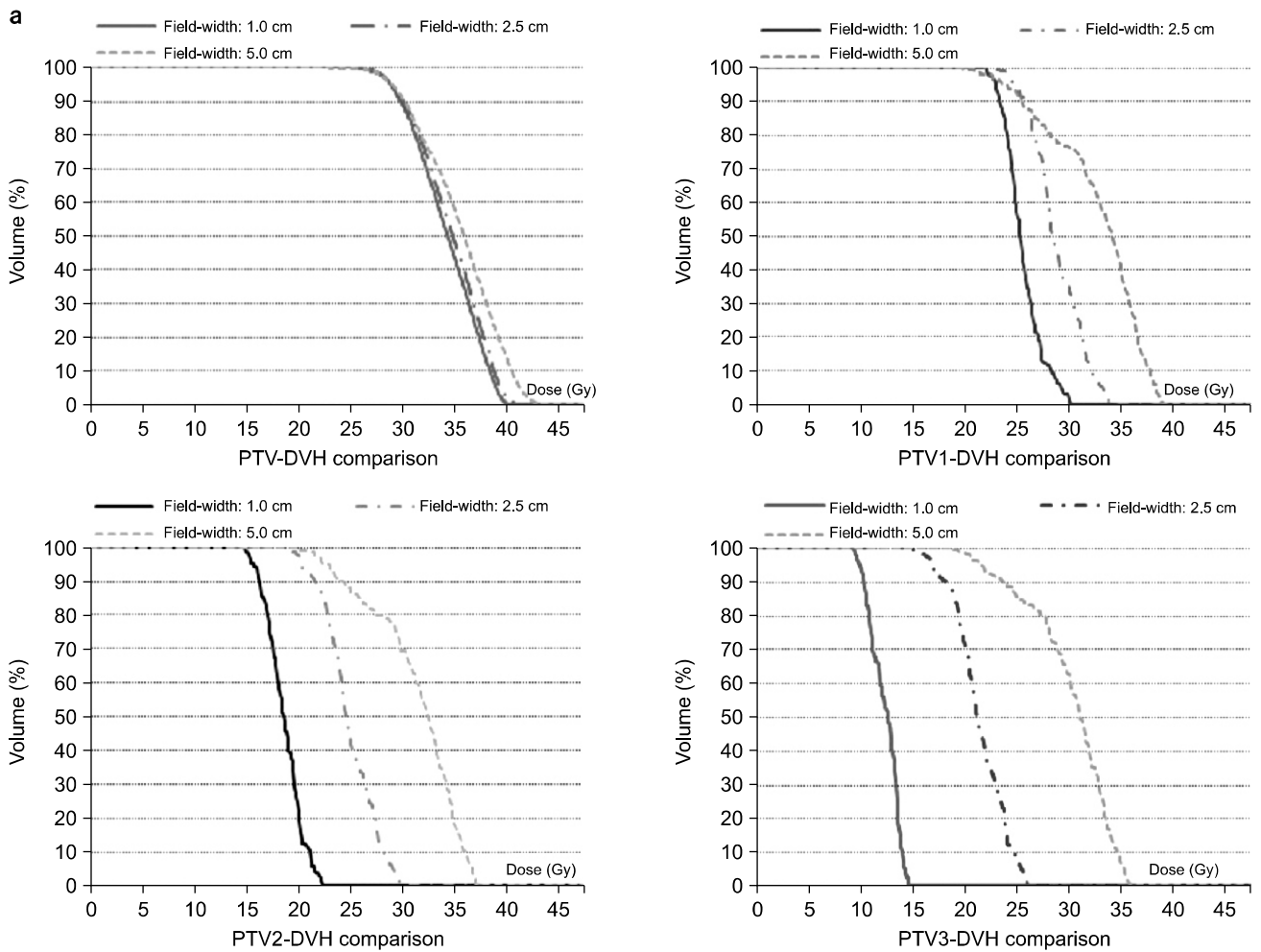


Fig. 5. Calculated DVHs of real clinical PTV and virtual PTVs with a variation of field width. (a) Patient A. (b) Patient B. (c) Patient C. (d) Patient D.

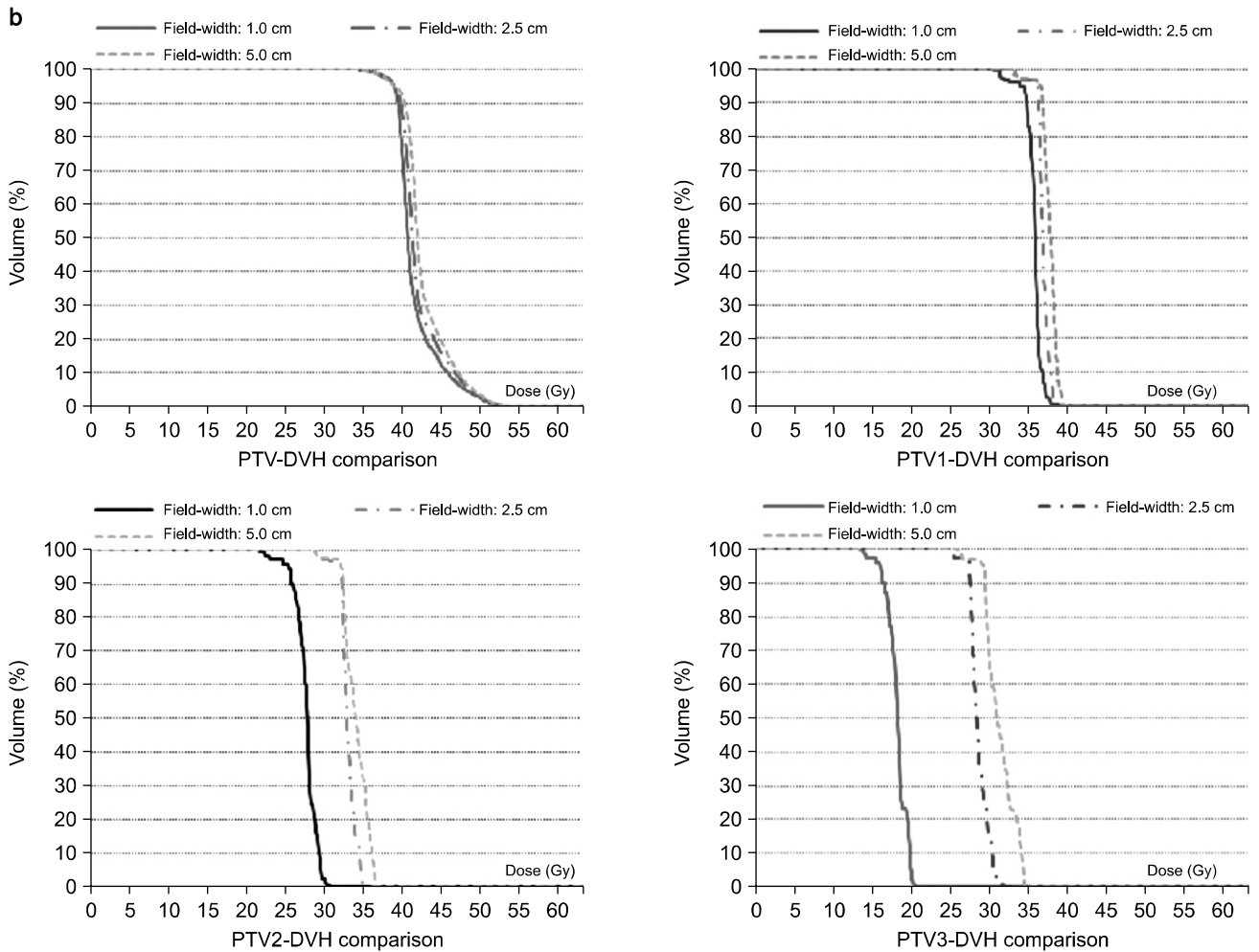


Fig. 5. Continued.

를 기준으로 가로, 세로 4 cm인 정사각형 형태의 가상의 종양형태를 총 21개의 CT 슬라이스에 그려, 4×4×5 cm³의 PTV를 설정하였다. 필드 크기(1.0 cm, 2.5 cm, 5.0 cm) 별로 총 3개의 토모치료계획을 수립하였으며, 처방선량은 총 40 Gy를 20회로 나누어 치료하는 것으로 설정하였고, PTV와 다른 structure는 설정하지 않았다. 토모치료계획에 적용한 모든 변수 값들은 세 치료계획 모두 동일하게 적용하였으며, DQA용 치료계획을 세워 계산된 선량분포에 대한 데이터 획득 및 필름 조사를 수행하였다. 조사에 사용된 필름은 Gafchromic EBT2 (ISP, 미국)를 사용하였고, Expression 10000XL (Epson, 미국)로 필름을 스캔하였으며, 필름 분석 프로그램은 FilmQA (3Cognition, 미국)을 사용하였다. 선량 분포의 변화는 선량계산결과와 필름 조사 결과 모두 jaw의 폭 변화 방향인 세로방향을 기준으로 차이를 분석하였다.

2. 환자 대상 필드 폭 변화에 따른 선량분포 변화 분석

실제 환자를 대상으로 한 치료계획에서 필드 폭 크기의 영향을 살펴보고자, 복부 부위를 치료했던 환자 4명을 대상으로 각 필드별 치료계획을 세우고, 선량분포를 분석하였다. 모든 환자의 치료계획용 CT영상은 2.5 mm 두께로 획득하였으며, 기존 치료 시 설정한 PTV 양끝단을 기준으로 Fig. 1과 같이 한 슬라이스 위, 아래에 기존 PTV 양끝단의 PTV 형태를 그대로 복사하여 PTV1을 설정하였고, 두 슬라이스 위, 아래에 동일한 PTV 형태를 복사하여 PTV2를, 세 슬라이스 위, 아래에 동일한 PTV 형태를 복사하여 PTV3를 설정하였다. PTV1, PTV2, PTV3는 모두 두께 슬라이스 영역만을 가지며, 이는 필드 폭 크기별로 가장 큰 선량분포의 영향을 받을 수 있는 PTV 양 끝단 영역에서의

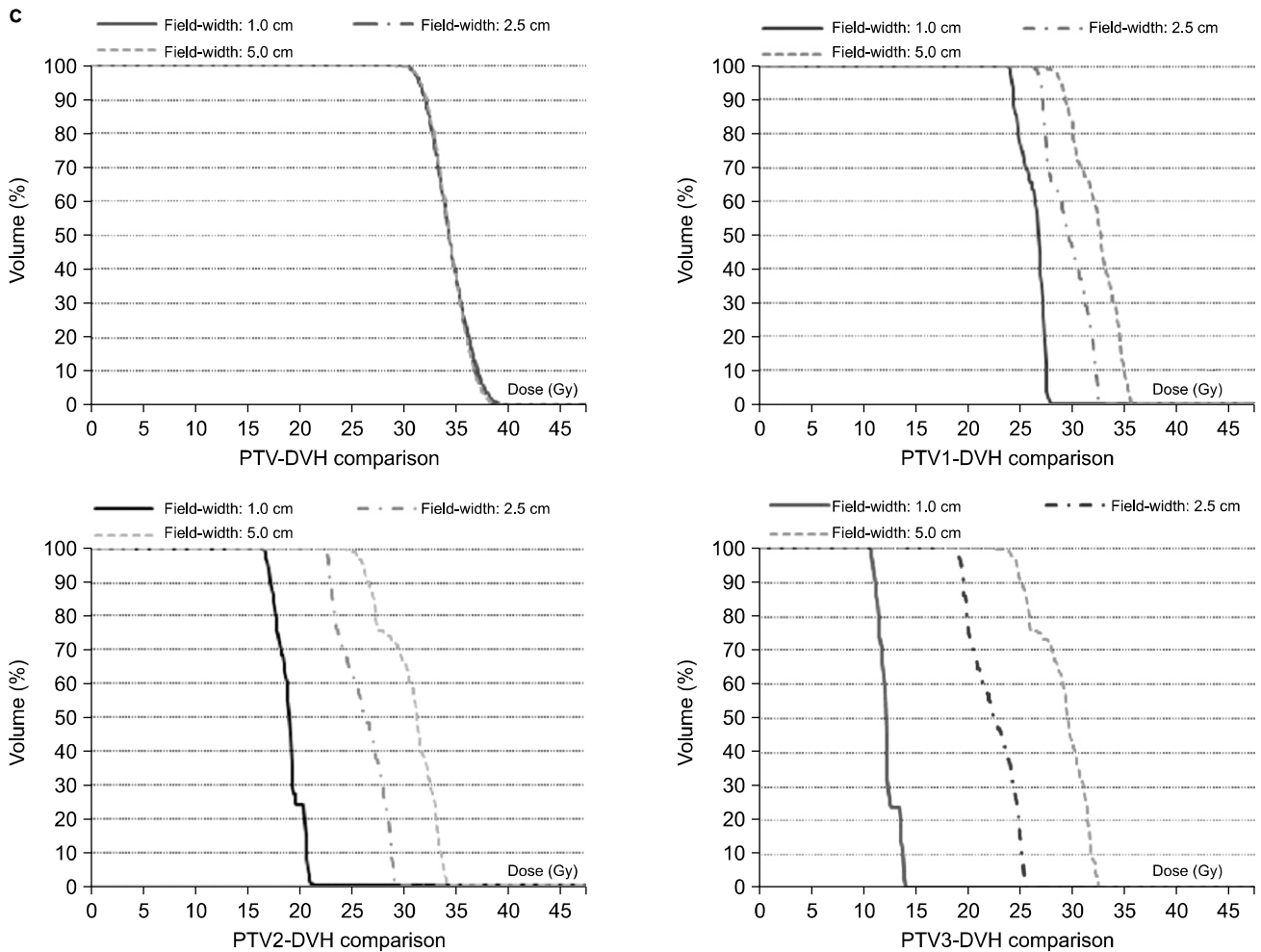


Fig. 5. Continued.

선량분포의 변화를 정량적으로 분석하기 위함이었다. 각 환자별 기존 치료계획과 동일한 계획조건과 50회 동일한 반복(iteration) 수의 최적화과정을 통해, PTV와 추가로 삽입된 세 가지 유형의 PTV에서 선량체적히스토그램(dose volume histogram, DVH)을 계산하여⁴⁾ 필드별 선량분포의 변화를 정량적으로 분석하였다.

결 과

DQA 팬텀을 대상으로 필드 폭 크기별 계산된 선량분포와 실제 조사된 필름의 결과는 Fig. 2와 같다. 선량계산 값과 실제 조사된 필름분석 결과 모두에서 필드 폭이 커질수록 PTV 양끝단 부위의 선량분포가 더 넓게 분포함을 확인할 수 있었다. 토모테라피 jaw 폭의 변화 방향인 세로(y)축

방향의 선량분포에서 1.0 cm 필드 크기와 비교하여 최대 선량값 50% 기준으로 2.5 cm 필드는 1.6 cm 넓은 선량분포를 보였고, 5.0 cm 필드는 4.2 cm 더 넓은 선량분포를 보였다(Fig. 3).

실제 환자 데이터를 대상으로 분석한 결과, 4명 모두 필드 폭이 증가함에 따라 PTV y축 양끝 경계면에서 더 많은 선량이 더 넓게 분포함을 알 수 있었고, Fig. 4는 한 환자의 예로 치료계획과 실제 필름 조사 결과 모두에서 필드 폭 증가에 따른 선량 분포가 증가함을 보여주고 있다. 이는 Fig. 5에서와 같이 기존 PTV 경계면에서의 표적(target) 형태를 연장하여 생성한 PTV1, PTV2, PTV3에서 필드 폭 크기별 DVH의 변화의 분석을 통해서도 정량적으로 확인할 수 있었다. 기존 PTV 부피의 100%를 포함하는 최대 선량 $D_{PTV100\%}$ 을 기준으로, 추가로 설정한 PTV1, PTV2, PTV3에

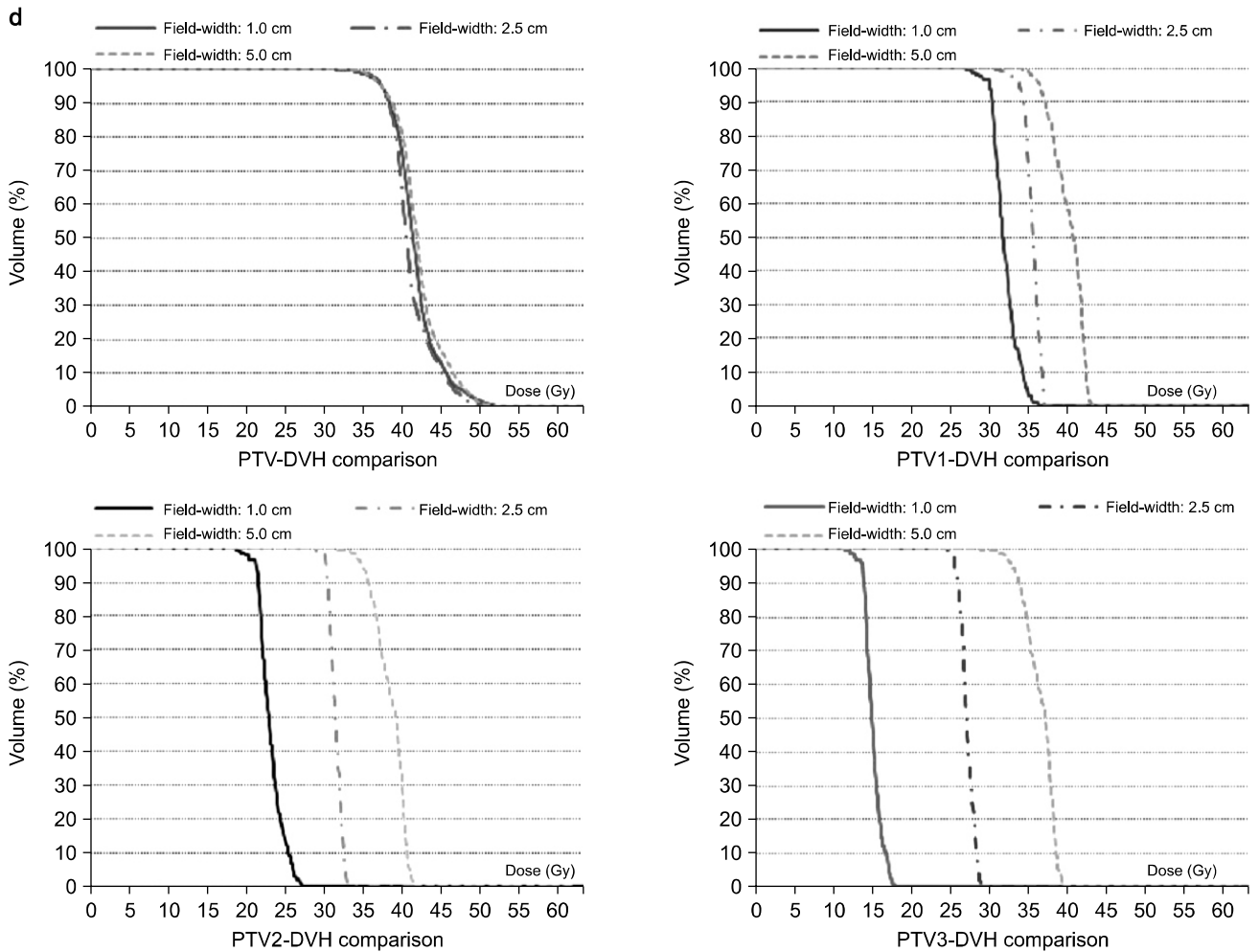


Fig. 5. Continued.

서 각 부피의 100%를 포함하는 최대선량 $D_{100\%}$ 의 비를 계산하여 토모테라피 필드 크기에 따른 PTV 양끝 영역에서 적합한 PTV 범위 설정에 참조할 수 있는 값으로 비교, 분석하였다(Fig. 6). 환자별로 약간의 차이는 있었지만 공통적으로 필드 폭이 증가할수록 PTV1, PTV2, PTV3에서 증가된 선량분포를 보였다. Table 1은 Fig. 6에서의 필드 폭 크기별 $D_{100\%}/D_{PTV100\%}$ 평균값을 표기한 것으로 필드 크기가 1.0 cm인 경우와 비교했을 때, 2.5 cm, 5.0 cm 모두 PTV1, PTV2, PTV3에서 상대적으로 더 높은 선량이 조사됨을 확인할 수 있었고, 특히 5.0 cm의 경우에는 PTV1, PTV2, PTV3 모두에 걸쳐 평균 89.0%의 $D_{100\%}/D_{PTV100\%}$ 값으로 높은 선량분포를 보였다.

고찰 및 결론

본 연구를 통해 토모테라피 필드 폭 크기 변화에 따라 PTV 양 끝단부 주변의 선량분포의 차이가 발생함을 확인할 수 있었고, 특히 5.0 cm의 가장 큰 필드 폭을 사용한 경우에는 처방선량에 근접하는 높은 선량이 상당히 넓은 영역에 조사됨을 알 수 있었다.

토모테라피의 선량분포는 필드 폭 크기 외에 최적화 과정에서의 modulation factor 및 종양과 중요 장기들의 중요도와 여러 토모치료기 작동과 관련된 변수들로 결정된다. 그 중 필드 폭 크기는 토모치료기에서 조사되는 방사선의 기본 필드를 결정짓는 요소로 비록 그 아래에 있는 MLC의 구동으로 선량이 변조되기는 하지만 필드 폭 방향의 선량

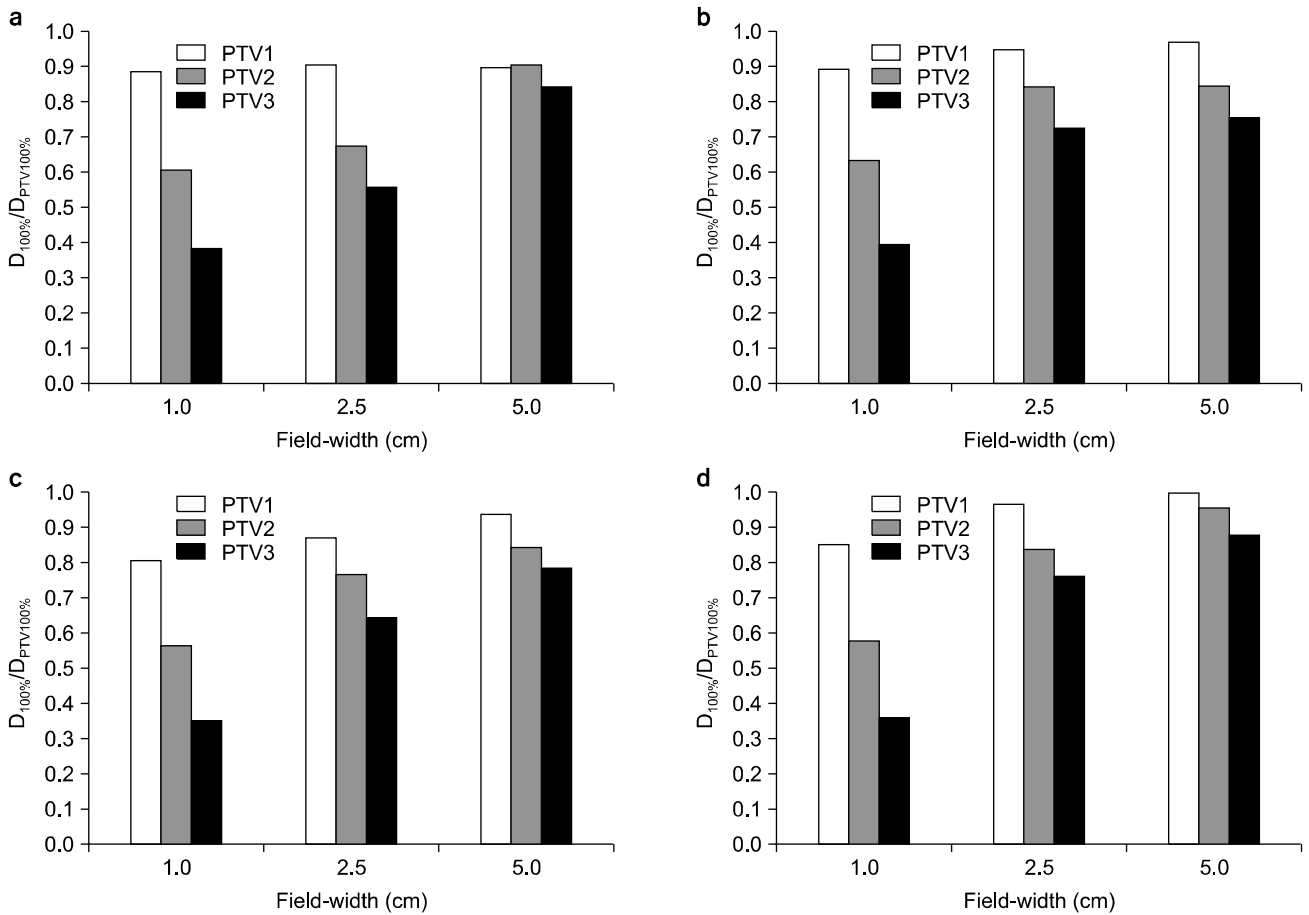


Fig. 6. Comparison of $D_{100\%}/D_{PTV100\%}$ in virtual PTVs with a variation of field width. (a) Patient A. (b) Patient B. (c) Patient C. (d) Patient D.

Table 1. Average $D_{100\%}/D_{PTV100\%}$ of virtual PTVs in 4 patients with the change of field width.

	Average $D_{100\%}/D_{PTV100\%}$ with field width		
	1.0 cm	2.5 cm	5.0 cm
PTV1	85.9%	92.1%	96.7%
PTV2	59.4%	78.2%	88.6%
PTV3	37.4%	67.4%	81.7%

분포에 있어 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 필드 폭이 증가함에 따라 이웃한 슬라이스에서의 종양의 모양이 급격히 변하는 부위와 종양 시작부분과 끝부분, 즉 치료빔이 조사되는 시작과 종료부위인 PTV 양 끝단 부분에서 PTV에만 정확한 선량분포를 부여하기에는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 dynamic jaw와 dynamic couch 기술이 개발되어⁵⁾ TomoTherapy에 적용될 예정이나 현재 설치되어 운영되고 있는 Hi-Art 시스템에는 해당 기능이 없어, 여진

히 해당 부위에서 정확한 선량분포를 형성하는 데 어려움이 있다.

PTV설정 시 가장 큰 여유도를 부여하게 되는 요인 중 하나가 종양과 장기의 움직임에 대한 고려이다. 토모테라피에서 종양과 중요 장기의 움직임 영향을 고려하여 정확한 치료선량을 조사하려는 여러 연구가 시행되고 있지만⁶⁻⁹⁾ 아직까지는 종양의 움직임 영역을 고려하여 충분히 여유를 주어 PTV를 설정하여 치료계획을 수행할 수 밖에 없는 상황이다. 이러한 점을 고려할 때, 호흡에 의한 장기의 움직임이 심한 복부부위의 토모테라피 치료 시 큰 필드 폭을 기준으로 토모테라피 치료계획을 수립할 경우에는 치료기 테이블 진행방향으로 PTV 양끝 경계면에서 기존보다 여유도(margin)를 축소하여 PTV를 설정해야 함을 본 연구결과를 통해 확인할 수 있었다. 즉, 넓은 필드 폭, 특히 5.0 cm과 같은 필드 폭을 사용할 경우에는 치료 시작과 끝 부분에서의 PTV 설정 시 치료기 테이블 진행방향 양 끝단에서

기존 PTV 영역보다 약 5.0 mm씩 축소하여 설정하는 것이 PTV 주변 정상조직의 피폭선량 감소 측면에서 타당함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Balog J, Olovera G, Kapatoes J: Clinical helical tomotherapy commissioning dosimetry. *Med Phys* 30:3097-3106 (2003)
2. Kim JY, Kay CS, Kim YS, et al: Helical tomotherapy for simultaneous multitarget radiotherapy for pulmonary metastasis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 75:703-710 (2009)
3. Kanagaki B, Read PW, Molloy JA, Larnar JM, Sheng K: A motion phantom study on helical tomotherapy: the dosimetric impacts of delivery technique and motion. *Phys Med Biol* 52:243-255 (2007)
4. 김진성, 윤명근, 박성용 등: 방사선치료 관련 연구를 위한 선량체적 히스토그램 분석 프로그램 개발. *대한방사선종양학회지* 27:240-248 (2009)
5. Sterzing F, Uhl M, Hauswald F, et al: Dynamic jaws and dynamic couch in helical tomotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 76:1266-1273 (2010)
6. Kissick MW, Flynn RT, Westerly DC, et al: On the impact of longitudinal breathing motion randomness for tomotherapy delivery. *Phys Med Biol* 53:4855-4873 (2008)
7. Zhang T, Lu W, Olivera GH, et al: Breathing-synchronized delivery: a potential four-dimensional tomotherapy treatment technique. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 68:1572-1578 (2007)
8. Lu W: Real-time motion-adaptive-delivery (MAD) using binary MLC: II. Rotational beam (tomotherapy) delivery. *Phys Med Biol* 53:6513-6531 (2008)
9. Lu W, Chen M, Ruchala KJ, et al: Real-time motion-adaptive-optimization (MAO) in TomoTherapy. *Phys Med Biol* 54:4374-4398 (2009)

Analysis on the Effect of Field Width in the Delineation of Planning Target Volume for TomoTherapy

Ju-Young Song, Byung-Sik Nah, Woong-Ki Chung, Sung-Ja Ahn,
Taek-Keun Nam, Mee-Sun Yoon, Jae-Uk Jung

Department of Radiation Oncology, Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

The Hi-Art system for TomoTherapy allows only three (1.0 cm, 2.5 cm, 5.0 cm) field widths and this can produce different dose distribution around the end of PTV (Planning target volume) in the direction of jaw movement. In this study, we investigated the effect of field width on the dose difference around the PTV using DQA (Delivery quality assurance) phantom and real clinical patient cases. In the analysis with DQA phantom, the calculated dose and irradiated films showed that the more dose was widely spreaded out in the end region of PTV as increase of field width. The 2.5 cm field width showed a 1.6 cm wider dose profile and the 5.0 cm field width showed a 4.2 cm wider dose profile compared with the 1.0 cm field width in the region of 50% of maximum dose. The analysis with four patient cases also showed the similar results with the DQA phantom which means that more dose was irradiated around the superior and inferior end of PTV as an increase of field width. The 5.0 cm field width produced the remarkable high dose distribution around the end region of PTV and we could evaluate the effect quantitatively with the calculation of DVH (Dose volume histogram) of the virtual PTVs which were delineated around the end of PTV in the direction of jaw variation. From these results, we could verify that the margin for PTV in the direction of table movement should be reduced compared with the conventional margin for PTV when the large field such as 5.0 cm was used in TomoTherapy.

Key Words: TomoTherapy, Field width, PTV (planning target volume), Dose distribution