

## Convolution-Superposition Based IMRT Plan Study for the PTV Containing the Air Region: A Prostate Cancer Case

Sei-Kwon Kang, Jai-Woong Yoon, Soah Park, Taejin Hwang, Kwang-Ho Cheong, Taejin Han, Haeyoung Kim, Me-Yeon Lee, Kyoung Ju Kim, Hoonsik Bae

Department of Radiation Oncology, Hallym University College of Medicine, Seoul, Korea

In prostate IMRT planning, the planning target volume (PTV), extended from a clinical target volume (CTV), often contains an overlap air volume from the rectum, which poses a problem in optimization and prescription. This study was aimed to establish a planning method for such a case. There can be three options in which volume should be considered the target during optimization process; PTV including the air volume of air density ('airOpt'), PTV including the air volume of density value one, mimicking the tissue material ('density1Opt'), and PTV excluding the air volume ('noAirOpt'). Using 10 MV photon beams, seven field IMRT plans for each target were created with the same parameter condition. For these three cases, DVHs for the PTV, bladder and the rectum were compared. Also, the dose coverage for the CTV and the shifted CTV were evaluated in which the shifted CTV was a copied and translated virtual CTV toward the rectum inside the PTV, thus occupying the initial position of the overlap air volume, simulating the worst condition for the dose coverage in the target. Among the three options, only density1Opt plan gave clinically acceptable result in terms of target coverage and maximum dose. The airOpt plan gave exceedingly higher dose and excessive dose coverage for the target volume whereas noAirOpt plan gave underdose for the shifted CTV. Therefore, for prostate IMRT plan, having an air region in the PTV, density modification of the included air to the value of one, is suggested, prior to optimization and prescription for the PTV. This idea can be equally applied to any cases including the head and neck cancer with the PTV having the overlapped air region. Further study is being under process.

**Key Words:** IMRT, Convolution-superposition, Prostate, Rectum air

### 서 론

방사선 치료 계획의 작성에 있어서 공기가 포함된 표적 체적은 균일한 선량 전달에 장애가 된다.<sup>1-3)</sup> 표적내의 이러한 비균질성은 공기가 포함된 두경부 및 폐암 쪽에서 치료 계획 시스템의 선량 계산 정확도를 평가하는데 이용되기도 한다.<sup>4,7)</sup> 한편, 전립선암의 방사선 치료 시, 표적위치의 재현성 확보 및 직장 보호를 위해 종종 공기를 주입한 직장 풍선(rectal balloon)을 이용하기도 하는데, 이 풍선은 생리적인 원인에 의해 직장이 팽창되는 정도가 변하는 것을 최

소화하기 위한 것으로, 직장의 후방 벽과 전립선 사이의 거리를 크게 한다.<sup>8-15)</sup> 이런 경우, CTV로부터 확대된 PTV는 종종 무시하기 어려운 비율로 직장 내의 공기를 포함하는데, 이는 흔히 말하는 in-air PTV를 만든다. 직장 풍선을 사용하지 않아도 때로는 과도하게 팽창된 직장도 이러한 상황을 유발한다(Fig. 1a). 공기가 포함되면 선량 교란(perturbation)이 일어나는 것은 잘 알려져 있으며 이에 대해서는 위의 참고 문헌을 비롯하여 많은 연구가 이루어져왔다. 그러나 플랜 시, 표적체적에 겹치는 공기 체적을 포함하는지 제외하는지, 또한 표적체적의 처방 기준이 되는 체적은 무엇인지 명확히 언급한 연구는 찾기가 쉽지 않다.<sup>16)</sup>

전립선암에 대한 IMRT 플랜 시 PTV가 겹치는 공기를 포함하는 경우, 대부분 공기 부분을 제외한 새 PTV를 만들어서 플랜을 한 후 임상가가 처방선량 및 목표선량의 커버 범위를 정한다. ICRU 62에 의하면, PTV는 여러 가능한 불확실한 위치에서도 CTV를 충분히 조사하기 위해 만들어진 개념으로 사실상 CTV의 가능한 움직임을 합해서 만든 체

본 연구는 미래창조과학부 방사선기술개발사업(No. 2013043498)의 일부 지원을 받아 수행되었습니다.

이 논문은 2013년 12월 6일 접수하여 2013년 12월 13일 채택되었음.

책임저자 : 강세권, (134-701) 서울시 강동구 길동 445번지

한림대학교 강동성심병원 방사선종양학과

Tel: 02)2224-2529, Fax: 02)475-8763

E-mail: seikang@hallym.or.kr

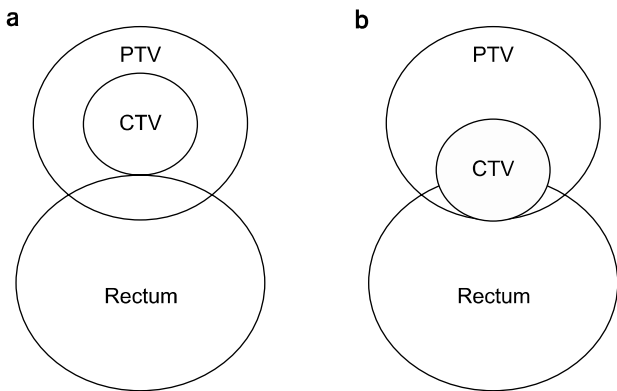
적이다.<sup>17)</sup> 따라서, 중첩으로 포함된 공기 위치를 PTV에서 배제해야 할 아무런 타당한 근거도 없다. 전립선의 치료에서 선량전달체적 면에서 볼 때 가장 나쁜 경우에 해당하는 CTV의 움직임은 공기를 포함하고 있는 직장 쪽으로의 움직임이다. 따라서 PTV의 선량전달체적 정도를 평가하기 위한 보조적인 도구로서, 직장 쪽으로 움직인 가상의 CTV가 충분히 조사된다면 가상의 CTV의 집합체인 PTV 역시 만족스럽게 커버될 것으로 예상할 수 있다.

본 연구에서는 PTV의 일부에 공기가 포함된 전립선 암에 대한 IMRT 치료계획 작성에서 다음과 같은 세 가지 경우에 대한 플랜을 작성하고 평가하였다. 1) PTV에 포함된 공기의 밀도를 그대로 공기밀도로 한 경우, 2) 포함된 공기의 밀도를 조직과 유사하게 밀도값 1로 바꾼 경우, 3) 공기가 포함된 부분을 PTV에서 처음부터 뺀 경우. 평가를 위해 각 경우에 대해 DVH를 비교하였고, CTV의 가능한 움직임을 고려한 선량커버(dose coverage)에 대해 논의하였다.

### 대상 및 방법

본 연구에 이용된 영상은 반듯이 누운 자세로 자유로운 호흡 하에서 얻은 한 명의 전립선 암 환자 CT로서, 두께는 2.5 mm이다. CTV 및 직장, 방광, 대퇴두부, 음경근(penile bulb)을 보호장기로 선택했고, 7 개 방향에서(0°, 55°, 100°, 140°, 220°, 260°, 305°) step-and-shoot IMRT플랜을 작성하였다. 치료계획장비 및 선형가속기로는 Pinnacle (ver. 8.0 m, Philips Radiation Oncology Systems, Fitchburg, WI, USA)과 Varian-21EX (Varian, Palo Alto, CA, U.S.A)의 10 MV 광자선을 이용하였다. 플랜은 PTV의 98% 부피와 CTV의 100% 부피에 처방선량 78 Gy가 전달되도록 하였으며, 처방선량의 110%는 PTV의 5%를 넘지 않도록 하였다.

본 연구에서 다른 환자의 경우, PTV 생성과정에서 CTV가 직장 쪽으로 확장되면서 공기 영역을 포함한다. 플랜 방식에 따른 선량 분포의 변화를 비교하기 위하여 표적체적을 달리하는 세 가지 플랜을 작성하였다(Table 1). ‘airOpt’ 플랜의 경우, IMRT의 최적화를 위한 표적체적은 원래의 공기 밀도를 가진 공기를 포함한다. ‘density1Opt’ 경우에는 PTV에 포함된 공기의 밀도를 조직과 유사하게 밀도 값 1로 바꾸었다. ‘noAirOpt’의 경우에는 공기 부분을 제외한 PTV를 표적체적으로 삼았다. 나머지 인자들은 모두 동일한 상태에서 최적화 과정을 진행한 후, 각각의 표적체적의 98% 부피에 처방선량 78 Gy가 전달되도록 모니터유닛 (monitor unit)을 조절하였다. CTV를 기준으로 한 평가를 하기 위해, 원래의 CTV를 복사해서 PTV 범위 내에서 직장 쪽으로 평행이동 시킨 ‘shiftedCTV’를 만들었다. 겹침으로 포함된 공기 체적에 대한 조건을 달리해서 플랜했지만, 원래 CTV와 방광 및 직장의 선량 평가는 공기 영역의 밀도를 원래 공기의 밀도 값으로 유지한 채 수행하였다. 그러나 세 경우 모두 shiftedCTV에 대해서는 CTV의 움직임에 의해 공기 영역이 조직으로 대체되는 상황을 나타내기 위해 밀도 값 1로 바꾼 후, 각각의 최적화 결과에 의한 플루언스를 그대로 이용하여 선량계산만 다시 수행한 후 평가하였다(Fig. 1b).



**Fig. 1.** (a) The extended PTV from CTV has an overlap air region in the rectum area. (b) One of the possible states of the CTV movement from e.g, setup errors. In this case, the density of original ‘air’ region occupied by the CTV is that of the tissue, not of the air.

**Table 1.** Conditions for optimization and DVH extraction for three rival plans.

Plan	Target for optimization	CTV/Bladder/Rectum	Shifted CTV
airOpt	Air included PTV	Air with air density	Air with density 1
density1Opt	Air (density 1) included PTV	"	"
noAirOpt	Air excluded PTV	"	"

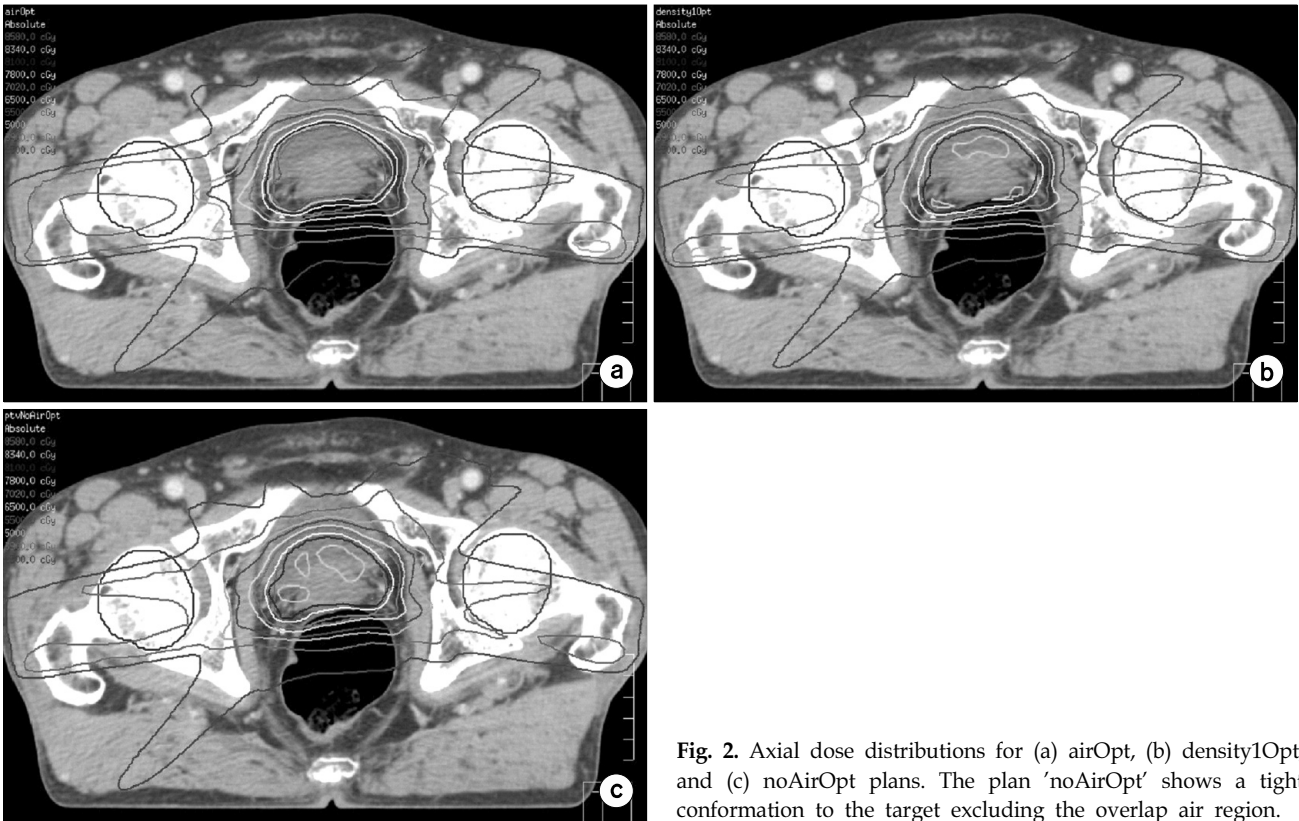


Fig. 2. Axial dose distributions for (a) airOpt, (b) density1Opt, and (c) noAirOpt plans. The plan 'noAirOpt' shows a tight conformation to the target excluding the overlap air region.

### 결 과

Fig. 2는 각각의 방식에 따른 표적에 대해 처방을 한 후 얻은 선량분포이다. PTV에 포함된 공기는 5.8 cc로 PTV의 6.8%에 해당했다. 공기 밀도를 1로 바꾼 후 IMRT 플랜을 한 density1Opt 경우, 조직-경계에서의 선량커버 및 선량 균일도가 가장 좋았다. 최적화 과정에서 공기 부분을 제외했던 noAirOpt 플랜은 이 공기 위치에 대해 불충분한 커버를 보인다.

세 가지 PTV의 DVH를 Fig. 3에 나타내었다. density1Opt와 airOpt 경우, PTV로 나타낸 표적은 공기를 포함한 것으로 각각 최적화 과정에서 밀도 변경을 하고 안하고의 차이가 있다. noAirOpt의 경우에는 공기를 제외하고 IMRT 플랜을 한 후, DVH 평가에서는 공기를 포함하였다. 이 경우, 그림에서 보듯이 저선량이 뚜렷하며 이것은 최적화 과정에서 공기 부분이 제외되어 이 영역에 방사선 조사가 충분히 이루어지지 않았기 때문이다. airOpt 플랜의 PTV는 90.7 Gy의 최대선량값( $D_{max}$ )을 보이며, 86%의 PTV 체적이 처방선량의 110% (85.5 Gy)를 넘었다. density1Opt 경우,  $D_{max}$ 는

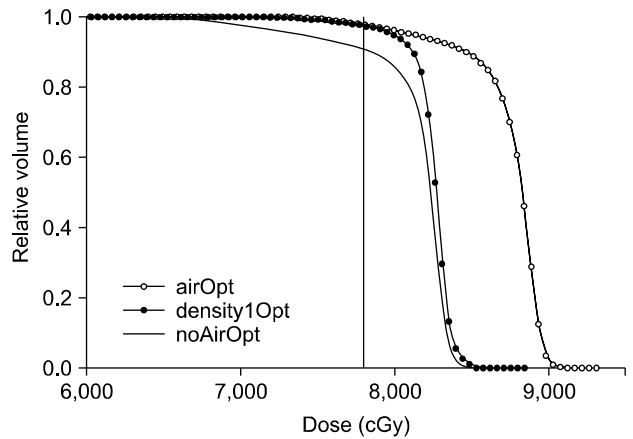


Fig. 3. DVHs of PTVs after optimization and prescription of 78 Gy to each optimization target. The density of the included air region was 'air' for airOpt and density 1 for density1Opt. The noAirOpt plan had the air excluded during the optimization. The vertical line was drawn for the 78 Gy.

86.6 Gy이고 처방선량의 110%를 초과하는 체적은 0.1% 이하였다. noAirOpt 경우에는  $D_{max}$ 가 84.8 Gy, 처방선량의 110%를 초과하는 체적은 없었다.

Fig. 4의 방광과 직장에 대한 DVH는 포함된 공기의 밀도

를 원래 값으로 유지한 상태에서 얻었다. 방광의 경우, 80 Gy 이상이 전달된 부피는 airOpt, density1Opt, noAirOpt 순으로 각각 14.3%, 11.0%, 10.7%이었고,  $D_{max}$ 는 각각 90.7 Gy, 85.1 Gy, 84.5 Gy이었다. 직장의 경우에도 경향은 비슷해서 75 Gy 이상이 조사된 체적은 각각 6.3%, 4.2%, 2.9%이었고,  $D_{max}$ 는 90.2 Gy, 84.6 Gy, 83.6 Gy이었다.

세 가지 서로 다른 최적화 조건에 대해 원래의 CTV와 shiftedCTV에 대한 DVH를 Fig. 5에 나타내었다. 원래 CTV의 경우 모든 DVH는 원래의 공기밀도를 유지한 상태에서 얻은 것으로 세 경우 모두 100% 체적이 처방선량 78Gy로 커버되는데, airOpt 경우에는 PTV에서와 마찬가지로 과다

한 조사를 보이고 있다. shiftedCTV 경우에는 각각의 최적화 후에 공기 영역을 조직과 유사하게 밀도 1로 바꾼 다음 선량만 재계산하여 얻었다. 처방선량에 대한 선량커버 비율과 최대 선량값은 각각 100%, 91.2 Gy (airOpt), 97.9%, 86.6 Gy (density1Opt), 89.0%, 85.0 Gy (noAirOpt)이었다. no-AirOpt 경우, shiftedCTV의 DVH는 원래 CTV에 비해 눈에 띄게 감소함을 보인다.

### 고 찰

전립선 암의 플랜에서 직장이 팽창해 있는 경우, PTV는 직장 내 공기 일부를 포함하는 경우가 있다. 이렇게 포함된 공기는 특히 조직-공기의 경계에서 선량교란을 일으킨다. 본 연구의 예와 같은 전립선의 IMRT 플랜에서는 표적체적이 공기를 포함하는지 제외하는지, 즉 PTV의 정확한 정의가 불분명하다. 본 연구 결과를 이용하면, PTV내의 공기부분의 밀도를 1로 바꾼 후(density1Opt) 최적화와 선량계산 및 처방을 하는 것이 임상적으로 무난하다(Fig. 3). no-AirOpt 플랜의 경우, 불충분한 PTV의 선량커버는 최적화 과정에서 원래 공기부분을 제외했기 때문이다. airOpt의 경우에는 최대선량이 90.7 Gy이고, PTV 체적의 86%가 처방선량의 110% 이상을 받아 치료계획 기준에 부합하지 않는다. 원래의 CTV를 기준으로 할 때, 세 방식 모두 100%의 커버를 보이는데(Fig. 5a), airOpt 플랜의 경우에는 매우 높은 선량으로 임상적으로 부적합하다.

이러한 상황에서의 PTV란 무엇인가 하는 문제는 Fig. 1b

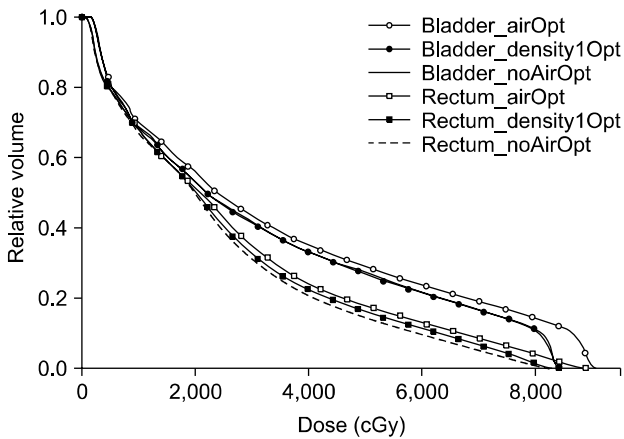


Fig. 4. DVHs for the bladders and rectums. All lines were obtained under condition of air density irrespective of the optimization condition.

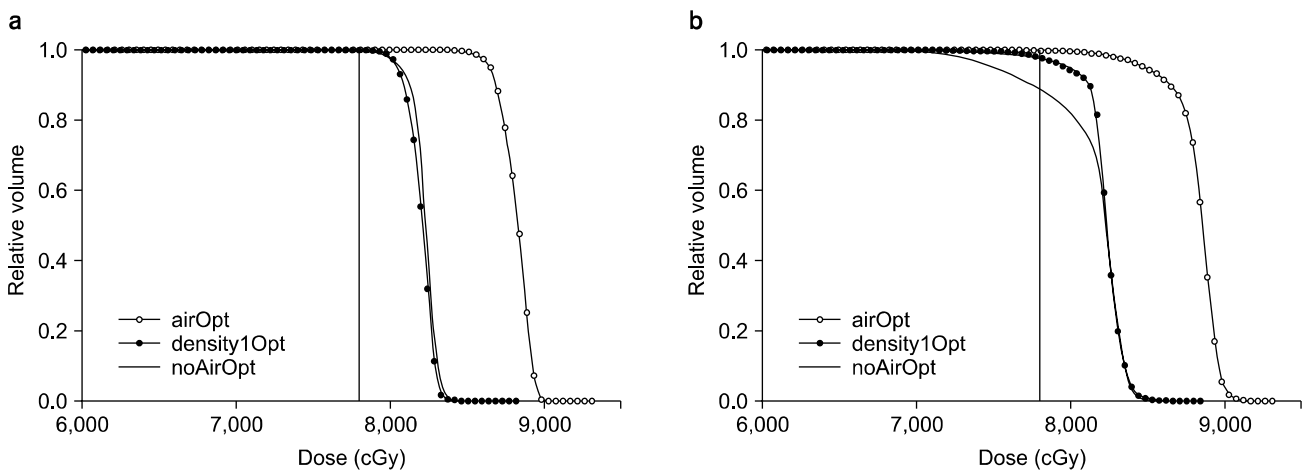


Fig. 5. DVHs of (a) the original CTVs, and (b) the shifted CTVs. After optimization and prescription for each target, the density of the overlap air volume was returned to the original air density for (a), or changed to a value of one for (b). Dose recalculation was executed, if necessary.

와 같은 shiftedCTV의 선량 커버를 고려하면 해결이 가능하다. PTV라는 것은 CTV의 여러 가능한 위치 불확정 상황에서 충분한 선량 커버를 확보하고자 도입된 도구에 불과하므로 여러 가능한 상황에서 이동된 CTV가 목표 선량으로 충분히 조사된다면 PTV의 커버에 주의를 기울일 필요가 없다. 움직임을 고려할 때 선량커버 면에서 가장 열악한 조건은 CTV가 직장 쪽으로 움직여서 PTV내의 공기가 있는 위치에 자리하는 경우이다(shiftedCTV). 이 위치에서 조직-공기간 경계에 의한 선량 교란이 일어난다. 따라서 shiftedCTV가 충분히 조사된다면 가능한 모든 다른 위치에서의 가상의 CTV들, 즉 PTV는 충분히 조사된다고 생각할 수 있다. shiftedCTV의 평가에서 주의할 점은 최적화 당시의 조건과는 상관없이 shiftedCTV 내의 공기 체적을 밀도 1로 바꾸어 조직이 공기를 대체한 것과 같은 조건을 만든 후 선량계산을 해야 한다는 것이다. shifted CTV의 선량 커버는 각각의 최적화 과정에서 공기 체적 부분에 대해 계산된 플루언스의 차이를 보이게 될 것이다.

Fig. 5b에 보인 shiftedCTV의 DVH는 원래 CTV와는 다른 양상을 보인다. noAirOpt 플랜의 shiftedCTV 경우, 89.0%의 선량커버로 불충분한 선량 전달을 보이는데, 이것은 겹치는 공기 체적이 최초의 플랜 최적화 계산에서부터 고려가 되지 않아 이 영역에 대한 플루언스 자체가 형성되지 않았기 때문이다. densityIOpt 플랜의 경우에는 밀도를 1로 바꾼 후 최적화 과정에 포함되었기에 shiftedCTV의 커버가 97.9%에 달한다. shiftedCTV는 PTV 경계까지 이동시킨 것 이어서 원래의 CTV와 직장사이에 있는 조직이 고려되지 않은 수학적인 체적이다. 따라서 shiftedCTV의 경우에도 감싸는 조직이 고려된다면 빌드업(build-up) 효과로 조금이나마 선량 커버가 증가할 것이다. 실제로, 원래의 CTV에서 공기 쪽 가장자리의 점 선량과 인접한 직장벽의 선량을 비교해보면 조직 내에 있는 CTV의 점선량이 2~3% 증가한 값을 보이고 있다. airOpt 플랜의 경우에는 여전히 임상적으로 허용하기 어려운 높은 선량을 보인다.

본 연구에서 보인 수치 결과는 Pinnacle의 convolution superposition 알고리즘에 따른 계산이므로 다른 알고리즘 계산과 다를 가능성이 있다.<sup>14)</sup> 포함된 공기에 의한 선량 교란 효과에 대한 정확도를 향상시키기 위해서는 몬테칼로 계산이 바람직하다. Nicholas 등은 공기가 충전된 직장 풍선을 사용하여 전립선 IMRT에서의 선량계산에 대한 Pinnacle의 정확도를 평가하였는데, 50 Gy 이상에서 직장벽의 전방위 선량이 과하게 계산되어 계산보다 실제 직장의 독성효과(toxicity)는 감소함을 보고하였다.<sup>14)</sup> 또한 본 논문의 수치

결과는 PTV에 포함된 공기의 비율에 따라서도 다르게 된다. 그러나 본 연구의 주 관심은 선량계산의 정확도가 아니고 일관성있는 플랜 작성 방법을 세우는 것이었다. 전립선 치료 계획에서 PTV에 포함되는 공기 양의 비율이 아주 크게 증가하지는 않는다고 가정하면, 본 논문의 플랜방법은 일반적으로 적용 가능하다고 판단된다. 마찬가지로, 공기가 포함된 두경부에 대한 IMRT 플랜에서도 동일한 적용이 가능하다.

그러나, 본 논문에서 이용된 환자와 같이 직장 풍선과 무관하게 직장이 평균보다 과도하게 팽창된 경우, 실제 임상 치료에서는 주의가 요구된다. 과하게 팽창된 직장의 상태에서 플랜 CT를 얻은 경우, 치료의 전 과정동안 직장 내 공기는 더 이상 증가하는 것은 없이 줄어드는 일만 있을 것이고, 이 경우, 전립선의 위치는 직장 쪽으로 이동하여 표적이 조사범위에서 벗어날 가능성이 크다.<sup>18)</sup> 따라서, 일반적으로는 환자의 셋업 시 영상유도를 통해 표적위치의 변동을 주의깊게 관찰해야 하며, 필요하다면 CT를 다시 얻어 플랜을 작성해야 한다. 아니면 처음부터 직장풍선이 도움이 될 수 있다. 공기 충전 방식의 직장 풍선의 경우, 마진을 고려하기 위해 확대되는 과정에서 PTV에 공기가 포함되는 것을 종종 볼 수 있다. 이러한 공기에 의해 선량 전달에 교란이 일어나는 것을 막고 또한 조직과 공기 사이의 경계 근처에서의 저선량을 줄이기 위해 Srivastava 등은 직장 풍선 내의 물질을 여러 가지로 시험한 결과, 풍선을 물로 채우면 선량 분포가 개선됨과 동시에 최대선량값 또한 공기의 경우보다 낮아짐을 보고하였다.<sup>16)</sup> 그러나 여전히 대부분의 임상에서는 광자선 치료 시 공기 충전을 이용하는데, 이것은 만일의 경우 환자 체내에서 물이 새는 가능성을 완전히 배제할 수 없는 것이 한 요인이다. 따라서, 본 연구에서 소개한 방식을 쓰면 공기로 채워진 직장풍선의 경우에도 도움이 될 것이다.

## 결 론

본 연구는 전립선에 대한 IMRT 플랜을 통해 셋업 마진에 따라 확장되는 과정에서 공기가 포함된 PTV에 대해 다루었다. PTV에 포함된 공기를 처리하기 위해 세 가지 방식으로 살펴보았으며, 'shiftedCTV' 개념을 도입하여 선량 커버를 살펴보았다. 결과적으로 PTV에 포함된 공기 영역의 밀도값을 1로 바꾼 후 IMRT 최적화 계산 및 처방선량을 조절하면 임상적으로 뿐만 아니라 논리적으로 일관된 결과를 얻을 것으로 판단된다. shiftedCTV를 이용한 표적선량의

커버를 평가했을 때, 본 논문의 방식을 적용하면 임상적으로 허용 가능한 결과를 얻을 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Solberg TD, Holly FE, De Salles AA, Wallace RE, Smathers JB: Implications of tissue heterogeneity for radio-surgery in head and neck tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 32(1):235-239 (1995)
2. Kan WK, Wu PM, Leung HT, et al: The effect of the nasopharyngeal air cavity on x-ray interface doses. *Phys Med Biol* 43(3):529-537 (1998)
3. Waldron JN, O'Sullivan B, Warde P, et al: Ethmoid sinus cancer: twenty-nine cases managed with primary radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 41(2):361-369 (1998)
4. Davidson SE, Ibbott GS, Prado KL, Dong L, Liao Z, Followill DS: Accuracy of two heterogeneity dose calculation algorithms for IMRT in treatment plans designed using an anthropomorphic thorax phantom. *Med Phys* 34(5):1850-1857 (2007)
5. Tillikainen L, Helminen H, Torsti T, et al: A 3D pencil-beam-based superposition algorithm for photon dose calculation in heterogeneous media. *Phys Med Biol* 53(14):3821-3839 (2008)
6. Han T, Mikell JK, Salehpour M, Mourtada F: Dosimetric comparison of Acuros XB deterministic radiation transport method with Monte Carlo and model-based convolution methods in heterogeneous media. *Med Phys* 38(5):2651-2664 (2011)
7. Takahashi W, Yamashita H, Saotome N, et al: Evaluation of heterogeneity dose distributions for Stereotactic Radiotherapy (SRT): comparison of commercially available Monte Carlo dose calculation with other algorithms. *Radiat Oncol* 7:20 (2012)
8. Teh BS, Mai WY, Uhl BM, et al: Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for prostate cancer with the use of a rectal balloon for prostate immobilization: acute toxicity and dose-volume analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 49(3):705-712 (2001)
9. McGary JE, Teh BS, Butler EB, Grant W 3rd: Prostate immobilization using a rectal balloon. *J Appl Clin Med Phys* 3(1):6-11 (2002)
10. Wachter S, Gerstner N, Dörner D, et al: The influence of a rectal balloon tube as internal immobilization device on variations of volumes and dose-volume histograms during treatment course of conformal radiotherapy for prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 52(1):91-100 (2002)
11. Miralbell R, Molla M, Arnalte R, et al: Target repositioning optimization in prostate cancer: is intensity-modulated radiotherapy under stereotactic conditions feasible? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 59(2):366-371 (2004)
12. Teh BS, Dong L, McGary JE, Mai WY, Grant W 3rd, Butler EB: Rectal wall sparing by dosimetric effect of rectal balloon used during intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for prostate cancer. *Med Dosim* 30(1):25-30 (2005)
13. Song JS, Court LE, Cormack RA: Monte Carlo calculation of rectal dose when using an intrarectal balloon during prostate radiation therapy. *Med Dosim* 32(3):151-156 (2007)
14. Hardcastle N, Metcalfe PE, Rosenfeld AB, Tome WA: Endo-rectal balloon cavity dosimetry in a phantom: performance under IMRT and helical tomotherapy beams. *Radiother Oncol* 92(1):48-56 (2009)
15. Smeenk RJ, Teh BS, Butler EB, van Lin EN, Kaanders JH: Is there a role for endorectal balloons in prostate radiotherapy? A systematic review. *Radiother Oncol* 95(3):277-282 (2010)
16. Srivastava SP, Das IJ, Kumar A, Johnstone PA, Cheng CW: Impact of rectal balloon-filling materials on the dosimetry of prostate and organs at risk in photon beam therapy. *J Appl Clin Med Phys* 14(1):81-91 (2013)
17. ICRU Report 62: *International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy* (supplement to ICRU Report 50), Bethesda, MD (1999)
18. de Crevoisier R, Tucker SL, Dong L, et al: Increased risk of biochemical and local failure in patients with distended rectum on the planning CT for prostate cancer radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 62(4):965-973 (2005)

## Convolution-Superposition 알고리즘을 이용한 치료계획시스템에서 공기가 포함된 표적체적에 대한 IMRT 플랜: 전립선 케이스

한림대학교 의과대학 방사선종양학교실

강세권 · 윤제웅 · 박소아 · 황태진 · 정광호 · 한태진 · 김해영 · 이미연 · 김경주 · 배훈식

전립선에 대한 IMRT 치료계획을 작성 시 CTV를 확장해서 PTV를 얻을 때 가끔 직장 내의 공기가 포함되는 경우가 있는데, 공기의 처리 여부에 따라 선량 처방에 문제가 발생한다. 이 경우 IMRT 플랜의 최적화 과정에서 다음과 같은 세 가지 가능성을 생각해 볼 수 있다: PTV에 포함된 공기를 원래의 공기밀도로 두는 경우('airOpt'), 포함된 공기의 밀도를 조직과 비슷하게 밀도 1로 하는 경우('density1Opt'), 공기 부분을 제외한 PTV를 고려하는 경우('noAirOpt'). 본 연구에서는 이 세 가지 경우에 대해 7개 방향에서 10 MV 광자선으로 동일한 인자의 IMRT 플랜을 하였다. 평가를 위해서는 CTV를 복사한 후, PTV 내에서 직장 쪽으로 이동시켜 최악의 표적 위치 설정이 되도록 원래의 공기가 있는 부분에 위치하도록 해서 가상의 CTV를 만들었다. PTV의 선량커버(dose coverage)와 최대 선량값을 비교했을 때, density1Opt 플랜만이 임상적으로 적절하였다. airOpt 경우, PTV에 과도한 선량이 전달되었고 선량전달체적 또한 과도하였다. noAirOpt 경우에는 이동된 가상 CTV 위치에서 저선량을 보였다. 이 결과에 의하면, 전립선 IMRT 플랜의 작성에서 공기가 포함된 PTV의 경우 플랜의 최적화와 선량 처방을 하기 전에, PTV에 포함된 공기의 밀도를 밀도값 1로 변경하는 것이 적절하였다. 이 아이디어는 두경부 IMRT 플랜을 비롯하여, 표적체적 내에 공기가 포함된 기타 경우에도 그대로 적용가능한 것으로 판단되며, 추가 연구를 진행 중이다.

---

**중심단어:** IMRT, Convolution-superposition, 전립선, 직장내 공기