

# 전립선암 영상유도 방사선 치료시 골반내장기의 체적변화에 따른 표적장기의 변화

가천대길병원방사선종양학과

동갑상 · 백창욱 · 정윤정 · 배재범 · 최영은 · 성기훈

**목적** : 전립선암 방사선치료에서 방광과 직장의 체적변화에 따른 전립선의 위치 및 모양변화를 파악하여 이들 변화가 표적체에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

**대상 및 방법** : 본원 전립선암 protocol에 따라 방사선치료를 시행한 환자 6명을 대상으로 후향적 영상자료분석 및 윤곽설정을 시행하였다. 설계용 computed tomography (pCT)와 분할치료 시 획득된 cone-beam CT (CBCT)를 이용하여 전립선, 방광, 그리고 직장의 윤곽을 설정(contouring)하였다. 두 영상자료의 골격구조 기반 조사영역맞춤을 통해 전립선의 위치변화를 관찰하였으며, 전립선의 위치변화, 모양변형, 그리고 크기변화를 종합적으로 분석하기 위해 Dice similarity coefficient(DSC)를 이용하였다.

**결과** : 전립선의 체적은 pCT에서 평균 37.2cm<sup>3</sup> 로 측정되었으며 약 5% 이내의 크기변화를 나타내었고, 전립선의 DSC는 평균 89.9%로 환자마다 다양한 분포양상이 관측되었다. 방광의 체적변화에 따른 전립선의DSC 변화를 상관분석한 결과 관련성을 찾을 수 없었지만( $r=-0.084, p=0.268$ ), 방광체적의 증감에 따른 총화분석 시 방광의 체적이 증가한 경우에서 DSC 와 방광변화량 간에 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 관찰할 수 있었다( $r=-0.230, p=0.049$ ). 직장의 체적변화에 따른 전립선의 DSC 변화를 분석한 결과 직장의 체적변화가 증가함에 따라 DSC가 감소하는 것으로 나타났다( $r=-0.162, p=0.032$ ). 직장체적에 대한 총화분석에서는 체적이 pCT보다 증가한 경우에 강한 상관관계를 나타내었다 ( $r=-0.240, p=0.020$ ).

**결론** : 방광과 직장의 체적을 일정하게 유지하는 것이 치료의 정확도를 보장하는 것은 아닌 것으로 나타났다. 따라서 전립선암의 방사선치료 시 CBCT를 이용한 연조직 기반의 조사영역맞춤이 중요하며, 직장풍선(rectal balloon) 등을 이용한 체적관리가 치료정확도를 유지하는데 역할을 할 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 전립선암 방사선치료시 표적장기의 변화

## 서론

골반부위에 대한 방사선치료시 골반내 장기들(pelvic organs)의 움직임과 변화는 총 치료기간 동안 지속적으로 관찰되며, 이는 위치변화(motion), 모양변형(deformation), 그리고 크기 변화(size variation) 등의형태로 나타난다.<sup>1,2)</sup> 따라서, 골반부위, 특히 전립선암방사선치료의 정확도를 높이기 위해 electronic portal imaging device (EPID)나 on-board imager (OBI) 등의 장비와 digitally reconstructed radiograph (DRR)를 이용하여 환자의 위치를 확인한다. 그

러나, 이러한 방법은 골반골격구조(pelvic bony anatomy)를 기반으로한 위치 맞춤(position registration)으로 그 정확도가 높지 않은 것으로 보고 되고 있으며, 이를 보완하기 위해 금표식자(gold fiducial marker)를 이용하여 전립선의 위치 맞춤을 시행할 것을 권고하고 있다.<sup>3,5)</sup>

전립선은 방광과 직장사이에 위치하는 연조직(soft tissue) 장기로서, 크기 변화와 모양 변형이 쉽게 나타난다. 금표 식자를 이용한 위치 맞춤을 이용할 경우, 금표식자의 위치를 3차원적으로 파악하여 환자의 위치를 조정할 수 있으나 전립선의 크기 변화나 모양변형에 따른 선량분포의 변화는 고려할 수 없다. 원뿔형빔전산화단층촬영(cone beam computed tomography; CBCT)을 이용한 영상은 단순 X-선 촬영에 비해 연조직 구조에 대한 판독성이 높다. 따라서, 치료전 CBCT(pre-treatment CBCT)를 이용한 영상유도방사

본 논문은 2016년 11월 11일 접수하여 2016년 12월 10일 채택되었음.

책임저자 : 성기훈, 가천대길병원방사선종양학과  
인천광역시남동구남동대로 774번길 21  
Tel: 032) 460-3031  
E-mail: novalis@gjihospital.com

선치료(image-guided radiotherapy; IGRT) 기법을 이용하면 전립선의 모양과 위치를 정확히 파악하여 치료의 정확도를 높일 수 있다.<sup>6,7)</sup> 또한 치료영상의 분석을 통해 선량분포의 변화와 방광과 직장의 변화에 따른 전립선의 위치변화를 파악할 수 있어, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>8, 11)</sup>

본 연구는 치료 전 CBCT 영상을 후향적으로 분석하여 치료기간중에 관찰되는 골반내 장기의 변화를 관찰하는 연구이다. 각 분할치료별방광과 직장의 체적변화에 따른 전립선의 위치 및 모양변화를 파악하여, 이들 변화가 표적체적선량분포에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 선량설계 및 방사선치료

2014년에서 2016년 사이에 본원 전립선암 protocol에 따라 방사선치료를 시행한 환자 중 6명의 자료를 무작위로 추출하여 후향적 분석을 실시하였다. 치료의 일관성을 높이기 위해 직장을 최대한 비우고, 방광 체적의 75% 이상을 채울 수 있도록 환자교육 및 훈련을 시행한 후 설계용 전산화 단

층촬영(planning computed tomography; pCT)을 실시하였다. 임상표적체적(clinical target volume; CTV)은 전립선과 근위부정낭을 포함하고, 여기에 전방향으로 5 mm의 여분을 더하여 계획용표적체적(planning target volume; PTV)을 생성하였다. 단, 직장쪽 여분은 3 mm 이하로 확장하였으며, PTV에 대한 처방선량은 총 75 Gy (분할선량 2.5 Gy)이었다. 모든 분할치료에서 치료전 CBCT를 이용한 IGRT 기법이 사용되었다. CBCT와 pCT 간 영상등록(image registration)을 통해 조사영역맞춤(field matching)을 시행하였는데, 1차적으로 골격구조를 기반으로 영상등록을 실시한 후 전립선주변연조직을 중심으로 2차 영상등록을 실시하여 환자의 치료위치를 확정하였다.

### 2. 영상등록(image registration) 및 윤곽설정(contouring)

대상환자들의 영상자료분석 및 윤곽설정은 Eclipse treatment planning system (ver. 10.0, Varian, Palo Alto, CA, USA)을 이용하여 후향적으로 시행하였다. 골반내장기들의 위치변화를 측정하기 위하여 획득한 모든 CBCT 영상에 대해 골격구조기반의 조사영역맞춤(field matching)을 재실시하였다. 각 CBCT 영상을 이용하여 전립선, 방광, 그리고 직장의 윤곽을 설정(contouring)하였다. 연구목적에

Table 1. Volumes of pelvic organs measured by planning CT and daily pre-treatment CBCT

#	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Mean
Age	72	83	80	80	63	72	75.0
pV <sub>pCT</sub>	33.7	42.5	23.6	45.2	38.5	39.5	37.2
pV <sub>CBCT</sub>	33.9 (33.7 - 34.1)	42.1 (40.7 - 43.7)	23.7 (22.5 - 24.2)	45.4 (44.9 - 45.8)	38.6 (38.5 - 38.8)	39.3 (38.8 - 39.5)	37.1
bV <sub>pCT</sub>	321	66.4	125.3	214.8	467.3	87.1	213.7
bV <sub>CBCT</sub>	286 (55.3 - 385.4)	88.1 (124.3 - 520.4)	154.1 (46.6 - 174.4)	142.5 (58.2 - 287.2)	313.7 (177.6 - 473.8)	120.9 (63.5 - 237.6)	183.1
rV <sub>pCT</sub>	32.6	29.4	20.2	29.8	25.3	28.1	27.6
rV <sub>CBCT</sub>	36.6 (24.8 - 88.5)	32.9 (20.9 - 52.0)	22.6 (17.9 - 42.9)	31.6 (22.3 - 59.9)	26.3 (17.3 - 38.2)	31.2 (24.3 - 64.5)	30.2

Abbreviations: pCT = planning computed tomography; CBCT = cone-beam CT; pV<sub>pCT</sub> = prostate volume measured by pCT; pV<sub>CBCT</sub> = prostate volume measured by CBCT; bV<sub>pCT</sub> = bladder volume measured by pCT; bV<sub>CBCT</sub> = bladder volume measured by CBCT; rV<sub>pCT</sub> = rectal volume measured by pCT; rV<sub>CBCT</sub> = rectal volume measured by CBCT

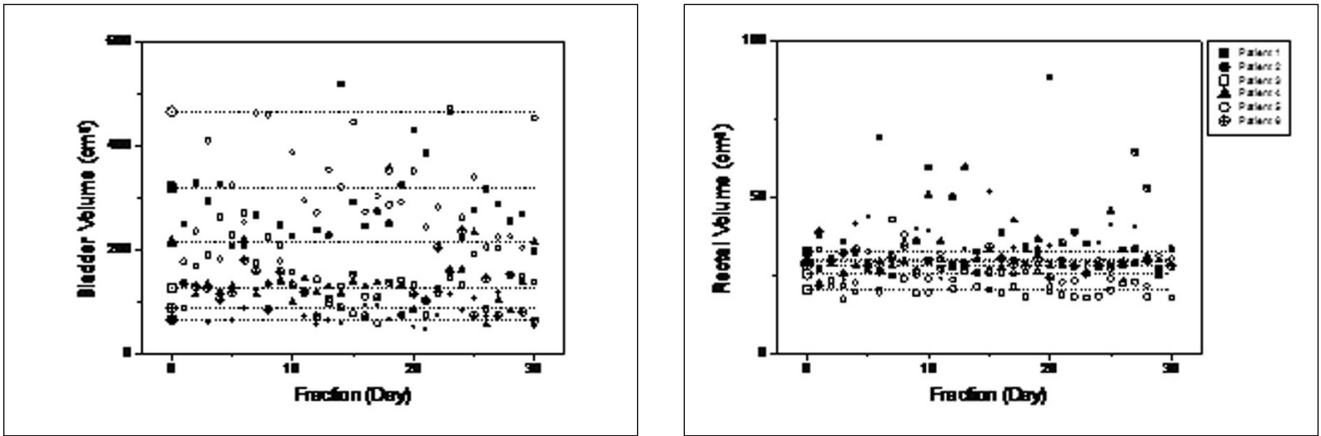


Fig 1. Daily volume variations of (A) bladder and (B) rectum in individual patients. Large symbols and corresponding dashed lines represent volumes measured by planning CT.

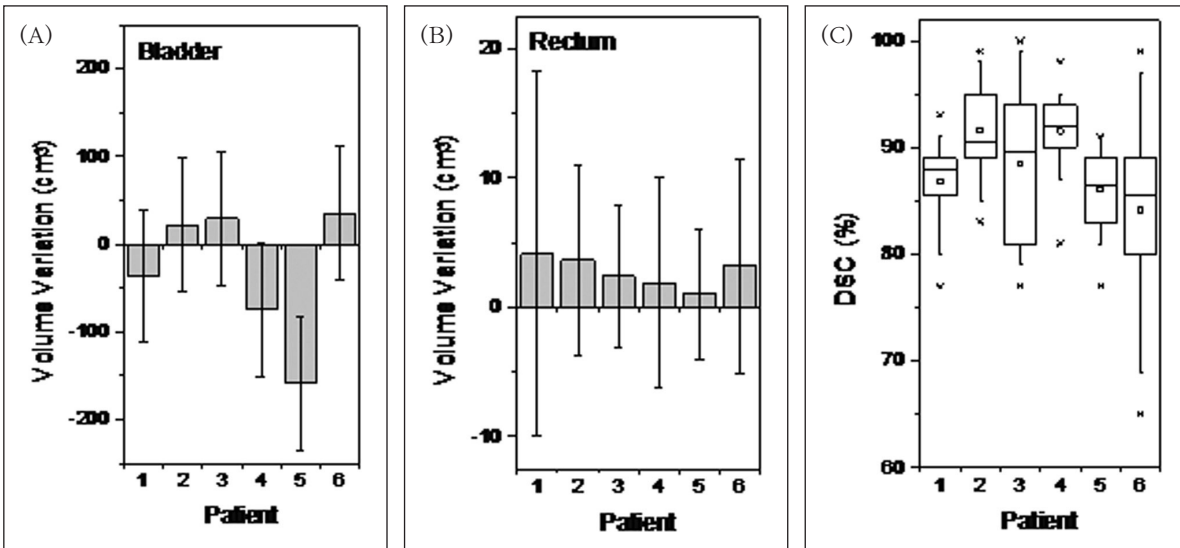


Fig 2. Volume changes of (A) bladder and (B) rectum compared to the planning CT. (C) Dice similarity coefficient (DSC) of prostate volume is summarized as standard whisker-box plots.

따라 직장의 상부경계는 대퇴골두(femoral head)의 상부로, 하부경계는 폐쇄공 (obturator foramen)의 최하단으로 설정하였다. 설정된 윤곽을 통해 CBCT에서의 각 장기의 체적, 즉 전립선체적( $pV_{CBCT}$ ), 방광체적( $bV_{CBCT}$ ), 그리고 직장체적( $rV_{CBCT}$ )을 산출하였다. pCT 영상에서도 CBCT와 동일한 기준으로 전립선체적( $pV_{pCT}$ ), 방광체적( $bV_{pCT}$ ), 그리고 직장체적( $rV_{pCT}$ )을 산출하였다.

### 3. 표적장기의 변화분석

분할치료별 전립선의 위치변화(motion), 모양변형(deformation), 그리고 크기변화(size variation)를 종합적으로 분석하기 위해 Dice similarity coefficient (DSC)를 이용하였다.<sup>12)</sup> DSC는 두 윤곽의 겹침체적(overlapping volume)과 평균체적(average volume)의 비로 정의되며, 동일한 체적의 두 윤곽이 정확히 겹쳐질 때 100%, 그리고 서로 완전히 독립적일 때 0%로 나타난다.

pCT와 CBCT 영상자료를 골격구조를 기준으로 조사영역

맞춤하여  $pV_{PCT}$ 와  $pV_{CBCT}$ 를 비교 하였으며, 이때 전립선의 변화는 아래식과 같이 DSC로 표현된다.

$$DSC = \frac{2(pV_{PCT} \cap pV_{CBCT})}{pV_{PCT} + pV_{CBCT}}$$

#### 4. 통계분석

장기들의 체적변화량은 장기별 Student's t-test를 이용하였으며, 상관분석은 Pearson's correlation coefficient를 사용하였다. 모든 통계분석은 dBSTAT version 5 (dBSTAT Software, Seoul, Korea)를 이용하였으며, 양측 p-value가 0.05미만일 때 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

### 결 과

#### 1. 골반내장기의 체적변화

전립선암환자 6명은 모두 총 30회의 방사선 치료를 완료하였으며, 총 180개의 치료 전 CBCT 영상을 획득하였다. 이중 직장내공기로 인한 잔상(image artifact)으로 윤곽 설정이 불가능한 4개의 CBCT를 제외한 176개의 자료를 이용하여 연구를 진행하였다.

설계용 CT를 기준으로한 방광과 직장의 체적변화를 Figure 1에 나타내었다. 환자별 분할치료별 변화가 다양하게 관찰되고 있으나, 시간에 따른 경향성은 관찰할 수 없었다. 5번환자에서 총치료기간동안 통계적으로 유의한 방광 체적의 감소를 관찰할 수 있었고, 나머지 환자에서는 계획된 방광체적을 잘 유지한 것으로 나타났다(Fig. 2, A). 직장 체적에서는 설계시 체적에 비해 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다(Fig. 2, B). 전립선의 체적은 설계용 CT에서 평균 37.2 cm<sup>3</sup>로 측정되었으며, 모든 환자에서 약 ±5% 이내의 크기 변화를 나타내었다(Table. 1).

#### 2. 골반내장기의 변화에 따른 전립선의 변화

골격구조기반의 조사영역맞춤(field matching)을 시행하여 계산한 전립선의 DSC는 평균 89.9% (65% ~ 100%)로 환자별로 다양한 분포양상이 관측되었다(Fig. 2, C). 본 연구에서 평균 전립선의 평균체적은 37.2 cm<sup>3</sup>이었다. 수학적으로 체적이 37.2 cm<sup>3</sup> 인구체가 5 mm (PTV margin) 위치이동을 했다고 가정할 때 DSC는 82%로 계산 된다. 장기의 움직임과 영역맞춤의 오차를 고려하여 표적장기인전립선에 5 mm 여분을 추가하여 PTV를 설정하였기 때문에, 전립선의 DSC가 82% 이하일 때 전립선이 조사영역을 벗어난것으로 간주하였다. 총 176회의 CBCT 영상 중 15.3%인 27회에서 82% 미만의 DSC 값이 관찰되었다.

설계용 CT를 기준으로한 방광의 체적변화에 따른 DSC의

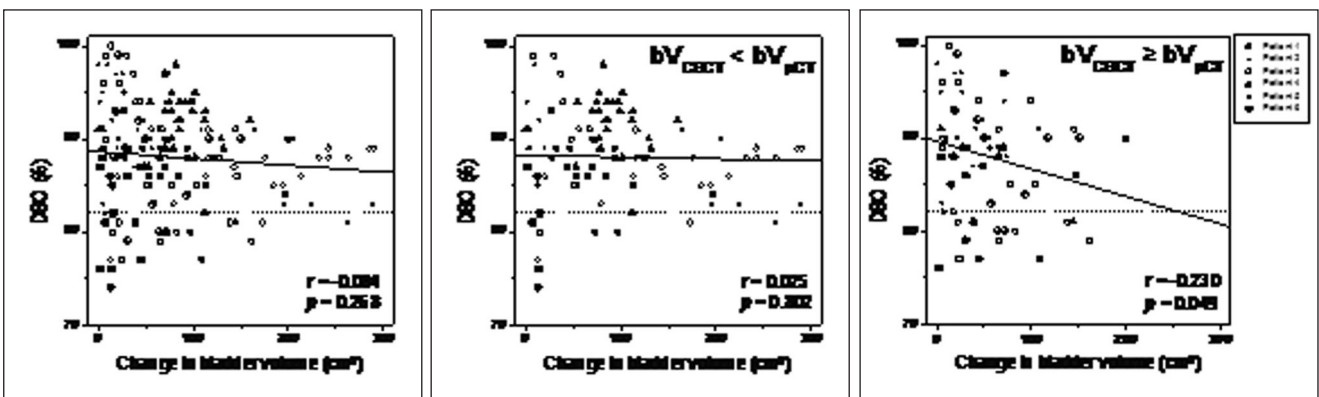


Fig 3. Scatterplot and linear correlation graph (solid line) of Dice similarity coefficient (DSC) in relationship to change in bladder volume ( $bV_{PCT}$  vs,  $bV_{CBCT}$  of each treatment fraction) (A) for total treatment fractions (B) in case of  $bV_{CBCT} < bV_{PCT}$  and (C) in case of  $bV_{CBCT} \geq bV_{PCT}$ . Dashed lines represent DSC = 82%, and symbol under dashed line means prostate displacement of 5 mm or over. Abbreviations :  $bV_{PCT}$  = bladder volume measured by planning CT;  $bV_{CBCT}$  = bladder volume measured by CBCT; r = Pearson's correlation coefficient.

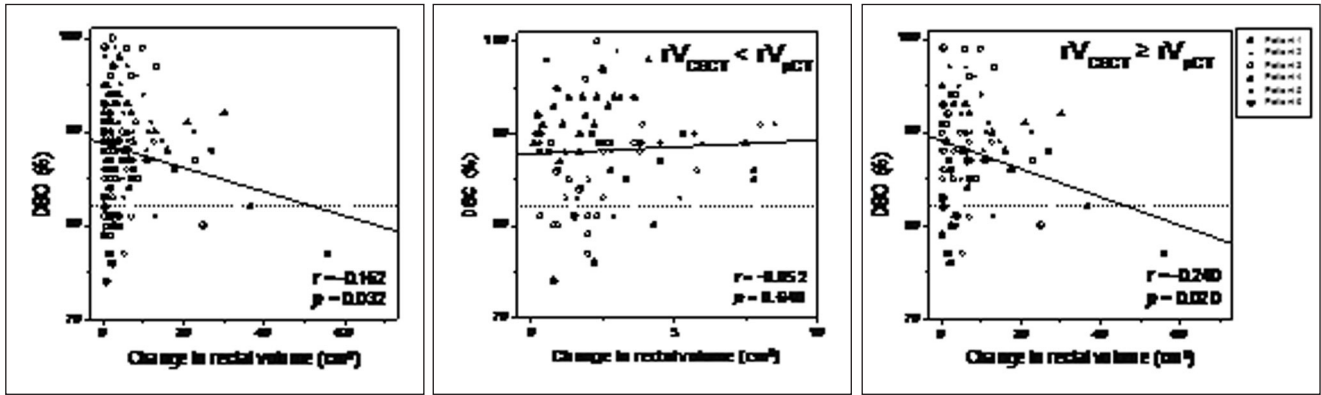


Fig 4. Scatterplot and linear correlation graph (solid line) of Dice similarity coefficient (DSC) in relationship to change in rectal volume ( $rV_{PCT}$  vs.  $rV_{CBCT}$  of each treatment fraction) (A) for total treatment fractions (B) in case of  $rV_{CBCT} < rV_{PCT}$  and (C) in case of  $rV_{CBCT} \geq rV_{PCT}$ . Dashed lines represent  $DSC = 82\%$ , and symbol under dashed line means prostate displacement of 5 mm or over. Abbreviations :  $rV_{PCT}$  = rectal volume measured by planning CT;  $rV_{CBCT}$  = rectal volume measured by CBCT;  $r$  = Pearson's correlation coefficient.

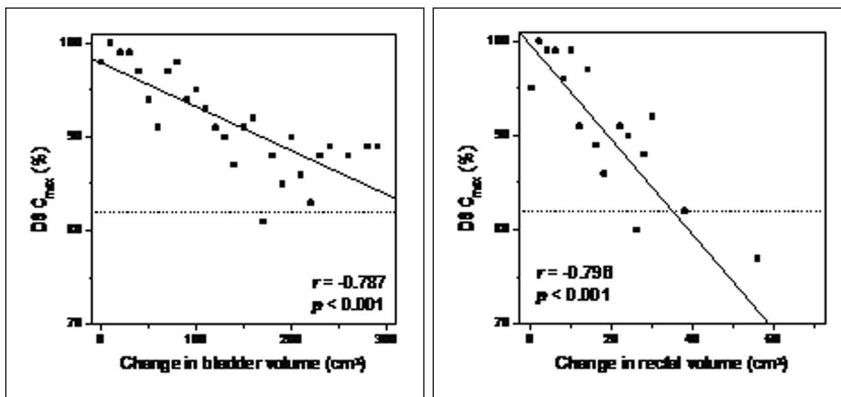


Fig 5. Scatterplot and linear correlation graph (solid line) of maximum DSC for each interval ( $DSC_{max}$ ) in relationship to change (A) in bladder volume, and (B) in rectal volume. Dashed lines represent  $DSC = 82\%$ , and symbol under dashed line means prostate displacement of 5 mm or over. Abbreviations :  $DSC$  = Dice similarity coefficient;  $r$  = Pearson's correlation coefficient.

변화를 상관분석을 통해 분석한 결과, DSC와 방광의 체적 변화와의 관련성을 찾을 수 없었다(Fig. 3, A,  $r = -0.084$ ,  $p = 0.268$ ). 설계 당시에 비해 방광체적의 증감에 따라 층화 분석(stratified analysis)을 실시하였다. 분할치료시 Plan CT보다 CBCT에서의 방광체적이 증가한 경우에서 체적 변화량의 증가에 따라 DSC 값의 감소가 관찰되며, 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 관찰할 수 있었고(Fig. 3, C,  $r = -0.230$ ,  $p = 0.049$ ) 이는 치료의 정확도가 감소함을 파악할 수 있었다.

직장의 경우, 체적변화가 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 DSC가 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4, A,  $r = -0.162$ ,

$p = 0.032$ ). 설계 당시에 비해 직장체적의 증감에 따라 층화 분석(stratified analysis)을 실시 하였다. 분할치료시 Plan CT보다 CBCT에서의 직장의 체적이 감소한 경우, 상관성을 찾을 수 없었으나(Fig. 4, B,  $r = -0.052$ ,  $p = 0.640$ ), 반대의 경우, 즉 Plan CT보다 CBCT에서의 직장의 체적이 증가한 경우에서 체적변화량의 증가에 따라 DSC 값의 감소가 관찰되는 강한 상관관계를 나타내었고(Fig. 4, C,  $r = -0.240$ ,  $p = 0.020$ ) 이 또한 치료의 정확도가 감소함을 파악할 수 있었다.

## 고찰 및 결론

전립선암의 방사선 치료시 치료선량이 증가시키면 국소 제어율을 높일 수 있다.<sup>13)</sup> 그러나, 높은 치료선량을 처방할 때 골반내장기들의 제한선량(tolerance dose)을 고려해야 한다.<sup>14-16)</sup> 골반내장기들의 방사선 독성(radiation toxicity)를 줄이면서 국소제어율을 높이기 위해서는 정밀도가 높은 치료기법, 즉 삼차원입체조형방사선치료(3-dimensional conformal radiation therapy; 3D-CRT)나 세기 조절 방사선 치료(intensity modulated radiation therapy; IMRT)를 사용하여 고선량을 표적체적에 집중시켜야 한다.<sup>17,18)</sup> 이러한 치료기법을 적용하기 위해서는 여러 영상장비들을 이용한 IGRT 기법을 사용해야 하며, 그 중 연조직의 구조를 파악할 수 있는 kV CBCT를 이용한 IGRT가 추천 되고 있다.<sup>6,7)</sup>

본원에서는 모든치료에서 치료전 CBCT를 이용하여 조사영역맞춤을 실시하여 IMRT를 시행하고 있다. 그러나, 모든 병원에서 CBCT 장비를 이용한 IGRT를 시행할 수 있는 것은 아니다. 본연구에서는 골반내장기들의 일간변화를 파악하기 위해, 수집된 CBCT 자료를 골격구조를 기반으로 재배열하였다. 이는 EPID 혹은 OBI 장비만을 이용하여 조사영역맞춤을 시행하는 상황으로 가정할 수 있다. DSC를 이용한 본연구에서 골격구조기반의 위치 맞춤 시약 15%에서 5 mm 이상의 움직임 오차가 발생하는 것으로 관측되었다(Fig. 3, 4; 점선 = 82% DSC, 5 mm 위치변화). 따라서, 연조직 기반의 조사영역맞춤을 시행하지 않을 경우, 통상적으로 사용 되고 있는 5 mm 전립선여유(margin)에 대한 충분한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

골반내장기들에 대한 방사선독성을 줄이기 또하나의 방법은 내부장기의 위치와 체적을 조절하는 것이다. 방광의 체적을 최대한으로 늘리면, 조사영역에 포함되는 방광의 체적을 줄일 수 있으며, 소장을 골반 위로 밀어 올려 조사영역에서 배제할 수 있다.<sup>15,19)</sup> 그러나, 방광과직장의 체적을 총 치료기간동안 지속적으로 동일하게 유지하는 것은 매우 어렵다. 본연구에서 6명의 전립선환자를 대상으로 방광과 직장 체적의 변화를 관찰한 결과, 체적유지의 어려움을 관찰할 수 있었으며, 치료기간에 따른 경향성은 나타나지 않았다(Fig. 1).

전립선의 DSC를 이용하여 방광 및 직장의 체적변화에 따른 전립선의 변화를 관찰하였다. 설계용 CT 당시보다 체적이 줄어든 경우 변화의 경향성을 볼 수 없었으나, 체적이 늘

어난 경우 방광과 직장 모두에서 체적변화에 따라 전립선의 위치가 연관성을 가지고 변화됨을 관찰할 수 있었다(Fig. 3, 4). 그러나, Figure 3과 4에서 보듯이 체적의 변화량이 거의 0에 가까운 경우에 DSC값이 70% ~ 100% 까지 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 전립선의 방사선 치료시 방광과 직장의 체적을 일정하게 유지하는 것이 방사선 독성을 줄이는 데는 중요한 역할을 하지만, 치료의 정확도를 보장하는 것은 아닌것으로 파악되었다.

전립선은 연조직장기로서 위치변화(motion), 모양변형(deformation), 그리고 크기변화(size variation) 등이 쉽게 관찰 되며, 골반내장기의 체적뿐만아니라 주변근육의 긴장도, 다리의 위치, 그리고 식사량의 변화 등 다양한 요인에 기인하여 변화하게 된다. 전립선 변화의 다양한 요인중에 한요소로서 방광 및 직장의 체적변화에 따른 영향을 알아보기 위하여 구간 별 DSC 값의 최대값을 이용하여 상관분석을 실시하였다(Fig. 5). 이 결과는 다른 다양한 요인의 영향을 배제할 경우, 골반내장기의 체적 변화량에 따른 최대 정확도로 해석될 수 있으며, 매우 높은 경향성을 나타내었다. 직장의 경우, 다른요인이 배제되더라도 체적 변화량이 약 35 cm<sup>3</sup>을 초과하면 통계적으로 5 mm 이상의 위치 변화나 모양 변화가 나타남을 의미한다(Fig. 5, B).

본연구에서는 골반내장기의 체적 변화량에 따른 전립선의 위치 변화를 확인하기 위하여 후향적으로 골격구조기반의 조사영역맞춤을 시행하였다. 실제 치료시에는 전립선을 기준으로 연조직기반의 조사영역맞춤을 시행하므로, 전립선에 계획한 선량을 정밀하게 조사할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 골반내 장기, 특히 직장의 체적을 정확히 유지하는 것이 치료의 정확도뿐만아니라 정상조직에 대한 선량을 최소화하는데 중요하다. 따라서, 본원에서는 현재 초음파 장비를 이용하여 치료전방광의 용적을 확인하고 있으며, 환자에 따라 직장풍선(rectal balloon)를 이용하여 직장의 체적을 유지하는 것을 고려하고 있다.

본연구에서 CBCT 영상을 이용하여 전립선암의 분할 방사선치료 중 나타나는 골반 내장기들의 체적변화와 그에 따른 전립선의 변화를 분석하였다. 주변 장기들의 체적변화가 클수록 전립선의 위치, 모양, 그리고 크기 변화량이 커지는 것으로 관찰되었지만, 방광과 직장의 체적을 일정하게 유지하는 것이 치료의 정확도를 보장하는 것은 아닌 것으로 나타났다. 따라서 전립선암의 방사선치료 시 CBCT를 이용한 연조직기반의 조사영역맞춤이 중요하며, 직장풍선(rectal balloon) 등을 이용한 체적관리가 치료 정확도를 유지하는

데 역할을 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Kerkhof EM, van der Put RW, Raaymakers BW et al. Variation in target and rectum dose due to prostate deformation: an assessment by repeated MR imaging and treatment planning. *Physics in medicine and biology* 2008; 53: 5623-34.
2. Peng C, Ahunbay E, Chen G et al. Characterizing interfraction variations and their dosimetric effects in prostate cancer radiotherapy. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2011; 79: 909-14.
3. Nederveen AJ, Dehnad H, van der Heide UA et al. Comparison of megavoltage position verification for prostate irradiation based on bony anatomy and implanted fiducials. *Radiotherapy and oncology : journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology* 2003; 68: 81-8.
4. Schallenkamp JM, Herman MG, Kruse JJ et al. Prostate position relative to pelvic bony anatomy based on intraprostatic gold markers and electronic portal imaging. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2005; 63: 800-11.
5. van der Heide UA, Kotte AN, Dehnad H et al. Analysis of fiducial marker-based position verification in the external beam radiotherapy of patients with prostate cancer. *Radiotherapy and oncology : journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology* 2007; 82: 38-45.
6. Court L, Rosen I, Mohan R et al. Evaluation of mechanical precision and alignment uncertainties for an integrated CT/LINAC system. *Medical physics* 2003; 30: 1198-210.
7. Roach M, 3rd, Faillace-Akazawa P, Malfatti C. Prostate volumes and organ movement defined by serial computerized tomographic scans during three-dimensional conformal radiotherapy. *Radiation oncology investigations* 1997; 5: 187-94.
8. Akino Y, Yoshioka Y, Fukuda S et al. Estimation of rectal dose using daily megavoltage cone-beam computed tomography and deformable image registration. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2013; 87: 602-8.
9. Haworth A, Paneghel A, Herschtal A et al. Verification of target position in the post-prostatectomy cancer patient using cone beam CT. *Journal of medical imaging and radiation oncology* 2009; 53: 212-20.
10. Nijkamp J, Pos FJ, Nuver TT et al. Adaptive radiotherapy for prostate cancer using kilovoltage cone-beam computed tomography: first clinical results. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2008; 70: 75-82.
11. Oates R, Brown A, Tan A et al. Real-time Image-guided Adaptive-predictive Prostate Radiotherapy using Rectal Diameter as a Predictor of Motion. *Clinical oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))* 2016.
12. Zou KH, Warfield SK, Bharatha A et al. Statistical validation of image segmentation quality based on a spatial overlap index. *Academic radiology* 2004; 11: 178-89.
13. Pollack A, Zagars GK, Starkschall G et al. Prostate cancer radiation dose response: results of the M. D. Anderson phase III randomized trial. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2002; 53: 1097-105.
14. Marks LB, Yorke ED, Jackson A et al. Use of normal

tissue complication probability models in the clinic. International journal of radiation oncology, biology, physics 2010; 76: S10-9.

15. Coia LR, Myerson RJ, Tepper JE. Late effects of radiation therapy on the gastrointestinal tract. International journal of radiation oncology, biology, physics 1995; 31: 1213-36.
16. Lebesque JV, Bruce AM, Kroes AP et al. Variation in volumes, dose-volume histograms, and estimated normal tissue complication probabilities of rectum and bladder during conformal radiotherapy of T3 prostate cancer. International journal of radiation oncology, biology, physics 1995; 33: 1109-19.
17. Zelefsky MJ, Cowen D, Fuks Z et al. Long term tolerance of high dose three-dimensional conformal radiotherapy in patients with localized prostate carcinoma. Cancer 1999; 85: 2460-8.
18. Zelefsky MJ, Fuks Z, Hunt M et al. High-dose intensity modulated radiation therapy for prostate cancer: early toxicity and biochemical outcome in 772 patients. International journal of radiation oncology, biology, physics 2002; 53: 1111-6.
19. Fokdal L, Honore H, Hoyer M et al. Impact of changes in bladder and rectal filling volume on organ motion and dose distribution of the bladder in radiotherapy for urinary bladder cancer. International journal of radiation oncology, biology, physics 2004; 59: 436-44.
20. O' Doherty~



Abstract

# Inter-fractional Target Displacement in the Prostate Image-Guided Radiotherapy using Cone Beam Computed Tomography

Department of Radiation Oncology, Gachon University Gil Medical Center, Incheon, Korea

Dong Kap Sang, Back Chang Wook, Jeong Yun Jeong, Bae Jae Beom, Choi Young Eun, Sung Ki Hoon

---

**Purpose** : To quantify the inter-fractional variation in prostate displacement and their dosimetric effects for prostate cancer treatment.

**Materials and Methods** : A total of 176 daily cone-beam CT (CBCT) sets acquired for 6 prostate cancer patients treated with volumetric-modulated arc therapy (VMAT) were retrospectively reviewed. For each patient, the planning CT (pCT) was registered to each daily CBCT by aligning the bony anatomy. The prostate, rectum, and bladder were delineated on daily CBCT, and the contours of these organs in the pCT were copied to the daily CBCT. The concordance of prostate displacement, deformation, and size variation between pCT and daily CBCT was evaluated using the Dice similarity coefficient (DSC).

**Results** : The mean volume of prostate was 37.2 cm<sup>3</sup> in the initial pCT, and the variation was around  $\pm 5\%$  during the entire course of treatment for all patients. The mean DSC was 89.9%, ranging from 70% to 100% for prostate displacement. Although the volume change of bladder and rectum per treatment fraction did not show any correlation with the value of DSC ( $r=-0.084$ ,  $p=0.268$  and  $r=-0.162$ ,  $p=0.032$ , respectively), a decrease in the DSC value was observed with increasing volume change of the bladder and rectum ( $r=-0.230$ ,  $p=0.049$  and  $r=-0.240$ ,  $p=0.020$ , respectively).

**Conclusion** : Consistency of the volume of the bladder and rectum cannot guarantee the accuracy of the treatment. Our results suggest that patient setup with the registration between the pCT and daily CBCT should be considered aligning soft tissue.

---

**Keyword** : Inter-fractional Target Displacement in the Prostate Image-Guided Radiotherapy