

## 방사선치료 시 환자자세 확인을 위한 영상 분석 도구의 개발

한림대학교 의과대학, 성심병원 방사선종양학과\*, 강동성심병원 방사선종양학과†

조병철\* · 강세권\* · 한승희† · 박희철\* · 박석원† · 오도훈† · 배훈식\*

3차원 입체조형방사선치료(3D conformal radiation therapy; 3D-CRT) 및 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy; IMRT) 에서와 같은 정밀 방사선 치료기술이 보다 효과적으로 이루어지기 위해서는 환자자세 오차를 최소화해야 한다. 치료계획용적(PTV)을 정할 때 필요한 마진을 최대한 줄여 줌으로써 치료 병변에 선량을 집중시키고, 정상조직의 선량은 감소시킬 수 있게 되기 때문이다. 이러한 목적 하에 조사문 사진(portal film)을 치료계획시 얻은 기준 영상에 정합시켜 환자자세 오차를 정량적으로 분석할 수 있는 프로그램 도구를 개발하고자 하였다. 현재 본원에서 치료 위치 확인을 위해서는 치료 계획 시행 중에 얻은 모의치료 사진과 치료시 EC-L 필름(KODAK사, 미국)을 사용하여 찍은 조사문 사진을 주로 사용하고 있다. 이 외에도, 모의치료시 영상을 디지털 캡춰한 영상이나, 치료계획으로부터 얻은 디지털화재구성영상(digitally reconstructed radiograph; DRR)도 기준 영상으로 이용할 수 있도록 하였다. 프로그램 제작 틀로는 IDL5.4 (RSI사, 미국)를 사용하였다. 조사문사진의 가장 큰 단점인 영상 대조도를 증가시키기 위해, histogram-equalization, adaptive histogram equalization, 특히 CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization) 등의 영상처리 기능을 구현하였다. 영상 정합 방법으로는 기준 영상에 골반입구(pelvic inlet) 와 같은 위치에 윤곽선을 그리고, 이를 조사문 사진 상에 중첩시킨 다음, 조사문 사진의 동일 해부학적 위치에 일치되도록 이동하여 그 오차를 수치화하였다. 조사문 사진에 CLAHE 필터를 적용한 결과, 치료면 확인을 위해 이중 조사된 영역의 대조도를 월등히 향상시킬 수 있었다. 전후면과 측면 영상을 위 과정을 사용하여 정합시킴으로, 전후, 좌우, 상하 방향으로의 환자자세 차이를 정량화 할 수 있었다. 또한, CLAHE 영상처리 기법을 이용하여 조사문 사진의 화질을 현저하게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 'view-box' 방식과 비교하여 치료 환자자세의 정확도를 수치화 시킴으로써 계통오차(systemic error)와 임의오차(random error) 등의 정량적 분석이 가능해졌다. 더 나아가 환자자세오차를 교정하는 프로토콜을 도입한다면, 보다 정확한 치료에 도움이 될 것으로 기대한다.

**중심단어** : 치료위치 확인, 영상정합

### 서 론

3차원 입체조형방사선치료(3D conformal radiation therapy; 3D-CRT) 및 세기조절방사선치료(Intensity modulated radiation therapy; IMRT)<sup>1,2)</sup> 에서와 같은 정밀 방사선 치료기술이 보다 효과적으로 이루어지기 위해서는 환자자세오차(setup error)를 최소화해야 한다. 치료계획용적(PTV)을 정할 때 필요한 마진을 최대한 줄여 줌으로써 치료 병변에 선량을 집중시키고, 정상조직의 선량은 감소시킬 수 있게 되기 때문이다.<sup>3,4)</sup> 이를 위해서는 환자자세 오차의 정확한 분석이 선행되어야 하는데, 본원의 경우 "view-box"에 의한

정성적 분석방법을 현재까지도 사용하고 있어 환자자세오차의 정량적인 분석이 어려운 실정이다. 물론, 최근 이용되고 있는 전자포탈영상장치(electronic poortal imaging device; EPID)에는 환자자세오차를 분석할 수 있는 도구가 포함되어 있다. 그러나 본 원과 같이 전자포탈영상장치가 없는 병원에서 이를 극복하기 위한 방편으로 본 연구에서는 치료 시 얻은 조사문영상(portal images)을 치료계획 시 모의치료기로부터 얻은 기준 영상에 정합시켜 환자자세오차를 정량적으로 분석할 수 있는 프로그램 도구를 개발하고자 하였다.

### 대상 및 방법

#### 1. 영상처리

현재 본원에서 치료 위치 확인을 위해서는 치료계획 시 얻은 모의치료 사진과 치료 시 EC-L 필름(KODAK사, 미국)을 사용하여 찍은 조사문 사진을 주로 사용하고 있다. 조사

이 논문은 2003년 8월 1일 접수하여, 2003년 8월 26일 채택됨.

책임저자 : 조병철, (431-070) 경기도 동안구 평촌동 896

한림대의 성심병원 방사선종양학과

Tel : 031)380-3911, Fax : 031)380-3913

E-mail : bychul@hallym.or.kr

은 사진은 6 MV 광자선을 사용하여 이중 노출방식으로 치료 조사 면과 주변 해부학적 위치를 알 수 있도록 하였으며, 이 필름을 Vidar사의 VXR-12 필름스캐너를 사용하여 디지털 영상을 획득하여 8 bit 픽셀 값을 갖는 BMP 영상포맷으로 저장하여 이용하였다.

이 외에도, 모의치료 시 영상을 디지털 캡춰한 영상이나, 전산화치료계획을 위한 CT영상으로부터 재구성해 얻은 디지털화재구성영상(Digitally reconstructed radiograph: DRR)도 bmp 포맷으로 변환하여 기존 영상으로 이용할 수 있도록 하였다.

프로그램 제작에 이용한 개발 도구로는 IDL5.4 (RSI사, 미국)를 사용하였으며, 윈도우2000 운영체제 하의 개인용 컴퓨터에서 동작하도록 개발하였다.

조사문사진의 가장 큰 단점인 영상 대조도를 증가시키기 위해, histogram-equalization (HE), adaptive histogram equalization (AHE), 특히 CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization) 영상처리 기능을 구현하였다.

HE 기법은 영상 내에서 빈도가 높은 픽셀 값에 넓은 gray 영역을 할당함으로써 영상의 대조도를 높일 수 있는 대표적인 영상 강조 기법으로 알려져 있다. 그러나 조사문 사진과 같이 배경 잡음(background noise) 영역이 넓게 분포하여 해당 픽셀의 빈도가 높은 영상의 경우 큰 도움이 되지 못하기 때문에, 이를 극복하기 위해 부분영상에 대해 HE 기법을 적용시키는 AHE 기법<sup>5)</sup>이 이용되고 있다. 그러나, AHE 기법은 배경 잡음 영역을 불필요하게 강조시켜 영상을 미현실적으로 만드는 경향이 있기 때문에 이를 극복하기 위해 일정 값 이내로 빈도 수를 제한시킴으로써 극복할 수 있는 것으로 보고된 바 있다.<sup>6)</sup>

2. 영상정합

치료위치 확인을 위해 이용되는 영상정합 방법은 통상적

으로 모의치료기 영상과 조사문 영상 사이에 동일한 해부학적 위치를 일치시킴으로써 행하여진다. 이때 이용하는 해부학적 위치를 점들을 사용하느냐<sup>7-9)</sup> 혹은 윤곽선을 사용하느냐<sup>10-12)</sup>에 따라 구체적인 구현 방법이 달라진다 하겠다. 해부학적으로 동일한 점들을 이용하는 방법은 빠르고 정확한 반면 때로는 충분한 수의 해부학적으로 동일한 점들을 결정하는 것이 어려울 경우도 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 윤곽선을 이용하는 방법이 개발되었다. 본 연구에서 사용된 방법은 윤곽선에 기초한 방식을 택하였다. 기존 영상으로 이용되는 모의치료기 사진에 골반입구(pelvic inlet)와 같은 해부학적 위치에 윤곽선을 그리고, 이를 조사문 사진 상에 중첩시킨 다음, 조사문 사진의 동일 해부학적 위치에 일치되도록 이동하여 그 오차를 수치화 하였다.

구체적인 영상정합과정은 다음과 같다. 먼저, 1) 획득한 각 영상은 선원과 필름간의 거리에 따라 배율이 다를 수 있으며, 영상 획득시 필름의 중심 및 방향 또한 일정하지 않다. 모의치료기 영상의 경우, 필름의 중심과 축, 그리고 배율을 나타내는 지시 눈금이 포함되어 있으며, 조사문 영상 역시 사진을 찍을 때, 빔의 중심 축과 배율을 알 수 있는 방사선에 불투명한 표지자를 이용하여 얻기 때문에 이들을 이용하여 이동, 회전, 배율 조절을 통해 모의치료기 영상과 조사문 영상은 동일한 빔 좌표계 상에 일치시킨다. 2) 모의치료기 영상에 해부학적으로 구별이 뚜렷한 부위에 윤곽선을 그린다. 3) 그려진 윤곽선은 동일한 빔 좌표계로 일치시킨 조사문 사진 상에 중첩시킨다. 4) 옮겨진 윤곽선과 조사문 사진상의 대응되는 해부학적 위치의 불일치를 확인하고, 윤곽선을 조사문 사진상에 대응되는 해부학적 위치에 일치되도록 수평/수직 이동을 시킨다.

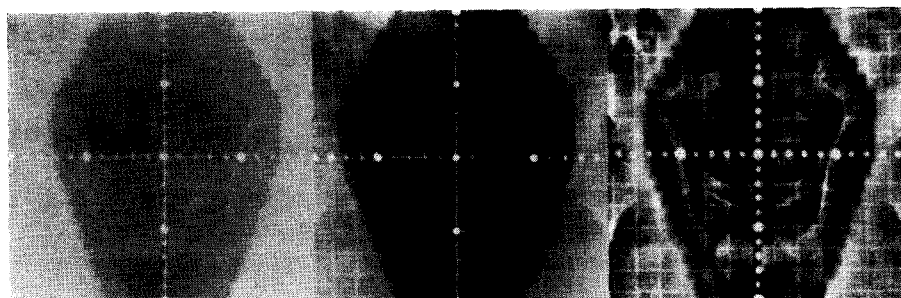


Fig. 1. Portal images of pelvic region. (a) original image obtained by EC-L film, (b) the same image processed by the histogram-equalization method, and (c) the image after applying CLAHE (contrast limited adaptive histogram-equalization) filter.

결 과

1. 영상처리

Fig. 1은 골반부 전후(Anterior/Posterior) 방향의 6 MV 광자선을 조사해 얻은 조사문 사진으로써, 왼쪽의 영상은 EC-L 필름을 사용하여 얻은 조사문 사진을 VXR-12 필름 스캐너(Vidar Systems Corporation, 미국)를 이용하여 스캔한 영상이며, 가운데 것은 Histogram Equalization 방식으로 영상 개선을 시도한 결과이며, 오른쪽은 CLAHE 방식의 영상 개선을 시도한 결과이다. CLAHE 기법 적용에 있어 전체 영상을 12×12 부분영역으로 나누고 빈도수 제한에 이용되는 clip limit을 3으로 하여 영상 처리를 수행하였다. 여기서 clip limit은 평균 빈도수의 배수로 정의되어 진다. CLAHE 기법을 적용시킨 영상은 통상의 모의치료기 영상에 필적할

만한 우수한 영상 대조도를 보여주며 골반입구와 치골결합 부분이 명확하게 보인다. 이 영상에서 짙게 나온 부분은 실제 치료가 되는 부분으로 이중 노출을 통해서 얻은 영상이다. Fig. 2는 두개부의 측방향 조사문 사진에 대한 동일 예를 보여 주고 있다.

이런 방법은 조사문 영상 뿐 아니라 모의치료기 영상에서도 잘 적용됨을 확인할 수 있었다. 위의 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 (a)모의치료기 영상으로부터 (b) Sobel 방식에 의한 경계선 검출 영상, 그리고 (c)는 조사문영상에서 사용한 기법과 동일한 CLAHE 필터를 적용한 모의치료영상의 개선 결과를 보여 주고 있다. 이렇게 해서 개선된 영상을 이용하여 임상에 필요한 계측, 위치 확인 등의 업무를 수행할 수 있다.

2. 영상정합

Fig. 4는 Vidar사의 VXR-12 스캐너를 통해 조사문 사진

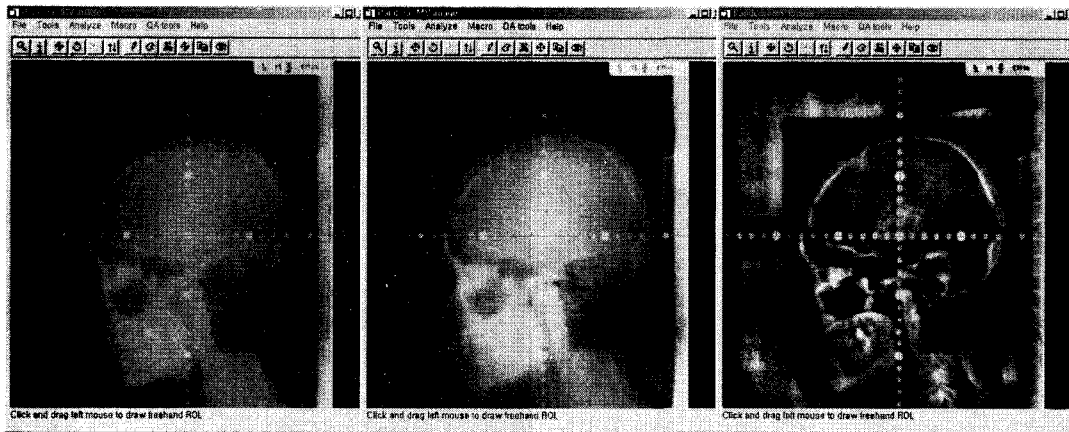


Fig. 2. Examples of portal images for whole brain. (a) original image obtained by EC-L film, (b) the same image processed by histogram-equalization method, and (c) the image after applying CLAHE (contrast limited adaptive histogram-equalization) filter.

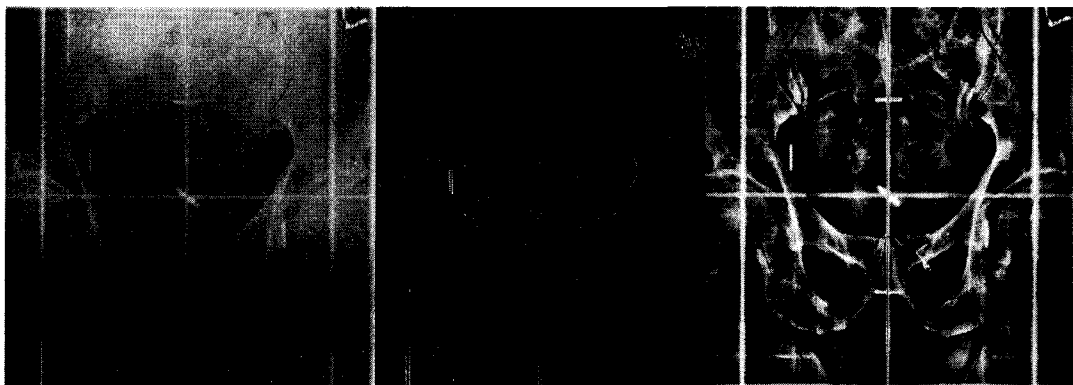


Fig. 3. Simulator images of pelvis region. (a) original simulator image, (b) edge enhanced image using Sobel filter, and (c) CLAHE-filtered image.

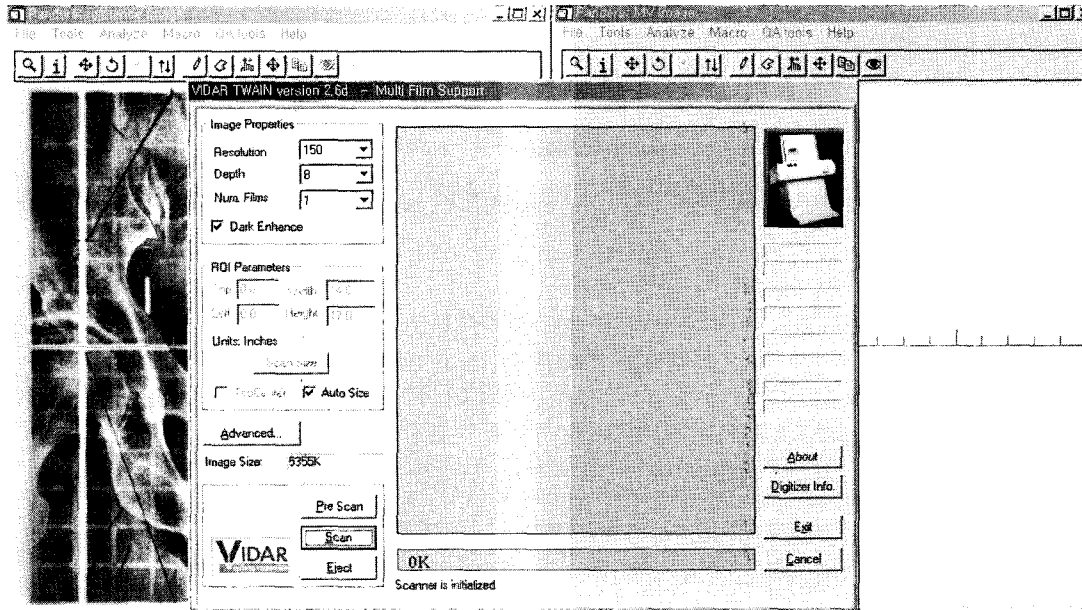


Fig. 4. Window of image acquisition using VXR-12 film scanner (Vidar Systems Corporation, USA).

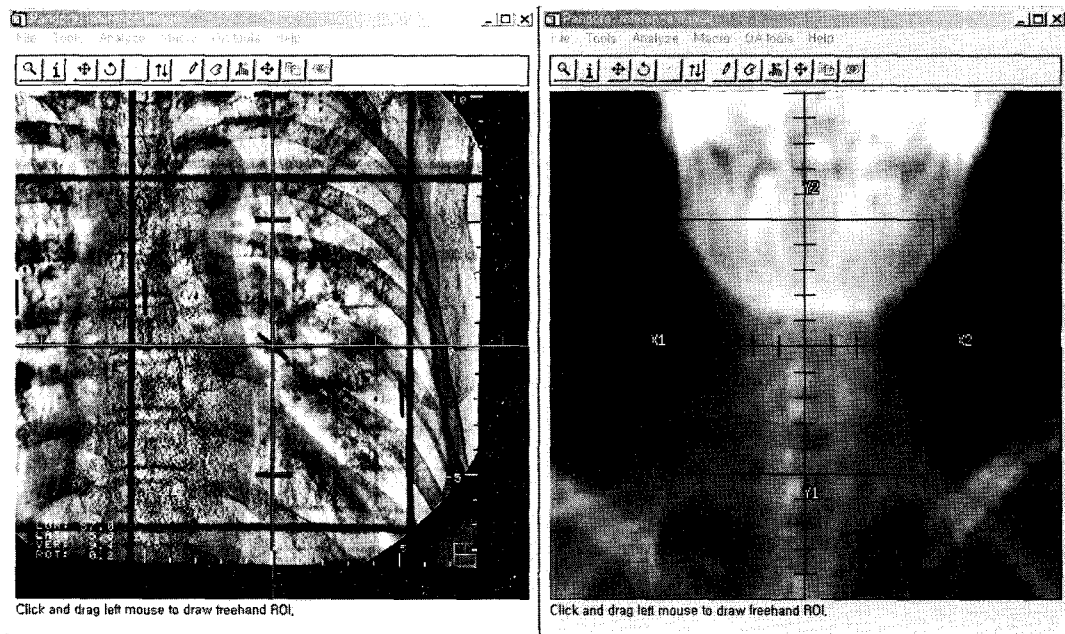


Fig. 5. Other image sources used as a reference image. (a) digitally captured simulator image, and (b) DRR (digitally-reconstructed radiograph) generated with CT images by treatment planning system.

을 스캔할 수 있게 구현된 영상획득 화면을 보여주고 있다. 이 외에도, Fig. 5와 같이 모의치료 시 캡춰한 디지털 영상 (a)이나, 방사선치료계획장치(b)를 이용하여 CT영상으로부터 얻은 디지털화재구성영상(Digitally reconstructed radiograph; DRR)도 기준 영상으로 사용할 수 있도록 BMP 영상 포맷으로 입력 가능하도록 구현하였다.

Fig. 6은 영상처리 및 정합을 위한 사용자인터페이스 화면으로 왼쪽은 모의치료기 영상과 오른쪽은 조사문 사진을 보여주고 있다. 모의치료기 영상은 진단용 X선을 사용하기 때문에 골격 구조를 명확하게 볼 수 있다. 이에 반해 오른쪽의 치료 조사문 영상은 6 MV치료선원을 직접 사용한 영상으로 영상 대조도가 매우 낮아 임상적인 사용 가치가 매우

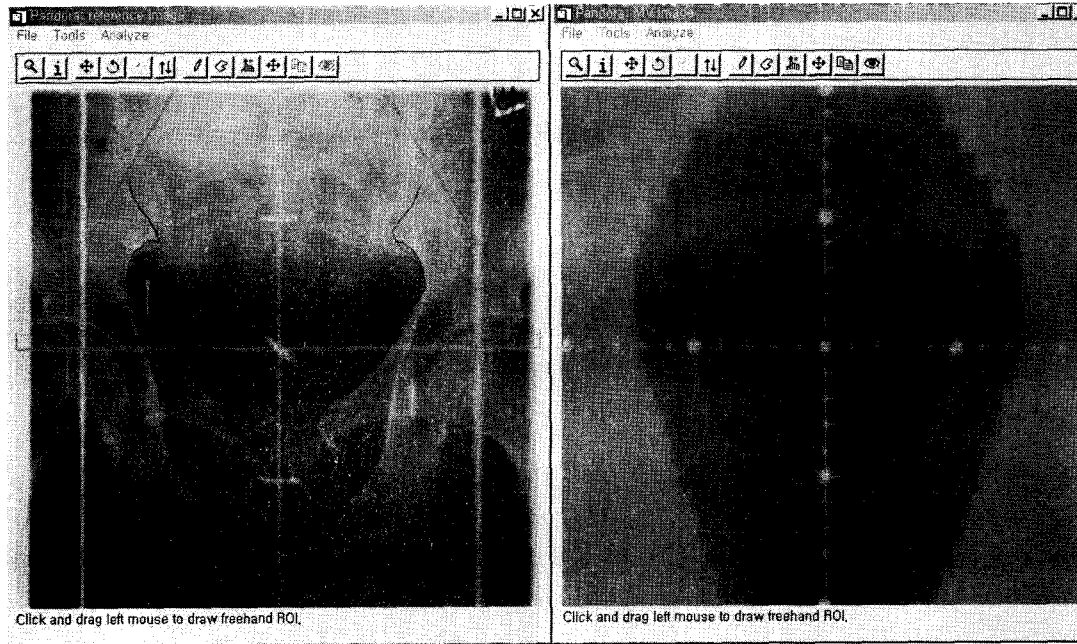


Fig. 6. Graphical user interface for image registration. The left window displays a simulator image with a contour describing pelvic inlet and the right window shows the corresponding portal image before applying CLAHE filter.

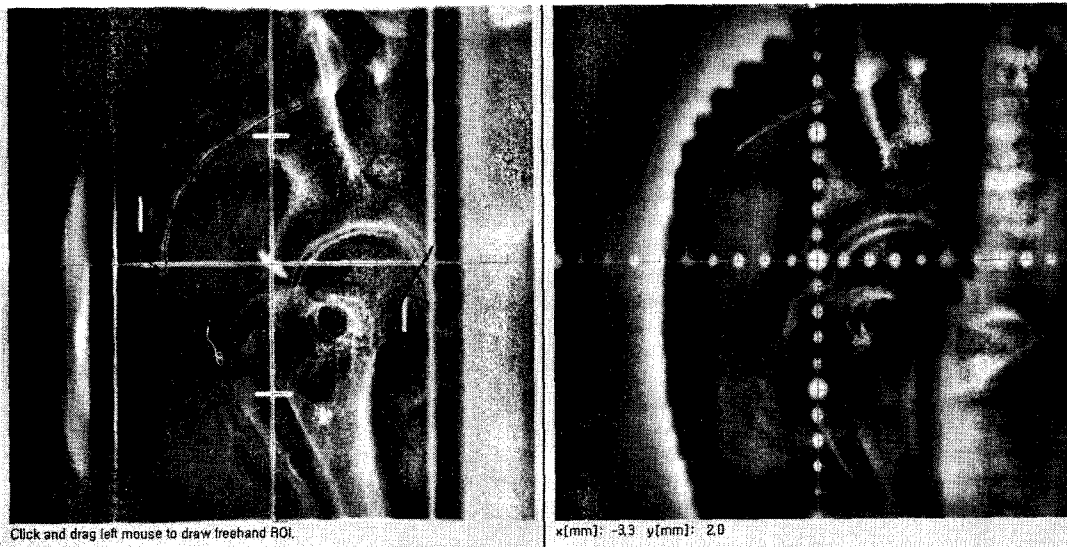


Fig. 7. Example of image registration. the contour drawn on a simulator image window (a) was overlapped with the corresponding portal image on the right window (b).

떨어짐을 알 수 있다. 조사문 영상은 Kodak사의 EC-L 필름을 사용하였으므로 치료 과정 중에 통상적으로 얻을 수 있는 비교적 우수한 영상이다.

영상정합을 위해 먼저, 모의치료기 및 조사문영상 각각에 나타나는 십자선과 확대율 표지자를 이용하여 중심 및 배율이 일치토록 하기 위해 이동, 회전, 확대 및 축소가 가능하도

록 구현하였다. 그런 다음, 모의치료기 영상에 해부학적 위치에 따른 윤곽선을 그리도록 한다. 이렇게 완성된 일련의 윤곽선들은 조사문영상 위에 중첩시킴으로써 조사문영상에 나타나는 해당 해부학적 위치와 윤곽선 사이의 차이를 볼 수 있게 된다. 다시 윤곽선들을 이동, 회전을 통해 조사문영상 위에 나타난 동일 해부학적 위치에 일치시키면 이때 이동,

회전된 정보가 정량적으로 표시되며, 이로써 치료자세 오차를 알 수 있게 된다.

Fig. 7(a)은 골반부의 측면 방향 모의치료영상을 개선한 것이며, Fig. 7(b)는 조사문영상을 개선한 것이다. 일반적으로 이 부위의 영상의 질이 가장 판독이 어려운 것으로 알려져 있다. 그림에서는 모의치료기 영상에서 선명히 구별할 수 있는 미골의 곡선을 그린 후, 역시 조사문 영상에서도 미골의 위치를 선명히 볼 수 있으므로, 두 영상에서 치료의 정확성을 판단할 수 있는 기하학적인 위치 비교를 수행할 수 있다. 이 결과를 이용하여 전시된 예의 경우에는 환자의 앞쪽 방향으로 3.3 mm, 머리 방향으로 2.0 mm 차이가 있음을 정확히 밝혀 내고 있어서 영상 비교와 치료의 위치를 추정해 낼 수 있다. 이 과정을 환자의 전후방향에 대한 모의치료기 영상과 조사문 영상에 적용함으로써 환자자세의 3차원적인 이동오차를 수치화할 수 있다.

### 결 론

CLAHE 등의 영상처리 기법을 이용하여 조사문 사진의 대조도를 현저하게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 현재 이용되고 있는 정성적분석 방법인 'view-box' 방식과 비교하여 치료 환자자세의 정확도를 수치화 시킴으로써 계통오차(systemic error)와 임의오차(random error) 등의 정량적 분석이 가능하게 졌다. 하지만 본 연구에서 개발된 프로그램의 정확도 내지는 오차에 대한 분석이 추가로 연구되어야 하며, 윤곽선 정합과정이 수동방식으로 수행되고 있어 본 연구에서 개발된 도구가 좀 더 임상적 이용도를 갖기 위해서는 이를 자동화시킬 필요성이 있다고 하겠다. 더 나아가 환자자세오차를 교정하는 프로토콜<sup>13)</sup>을 도입한다면, 보다 정확한 치료에 도움이 될 것으로 기대한다.

### 참 고 문 헌

1. Brahme A: Optimization of stationary and moving beam radiation therapy techniques. *Radiother Oncol* 12:129-140 (1988)

2. 조병철, 박석원, 오도훈, 배훈식: 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT)의 정도보증(Quality Assurance). *대한방사선종양학회지* 19:275-286 (2001)
3. ICRU Report 50: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington DC (1993)
4. ICRU Report 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. Supplement to ICRU Report 50, International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington DC (1999)
5. Pizer SM, Amburn EP, Austin JD, et al.: Adaptive histogram equalization and its variations. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 39:355-368 (1987)
6. Rosenman J, Roe CA, Cromartie R, Muller KE, Pizer SM: Portal film enhancement: Technique and clinical utility. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 333-338 (1993)
7. Meertens H, Bijhold J, Strackee J: A method for the measurement of field placement errors in digital portal images. *Phys Med Biol* 35:299-323 (1990)
8. Ende G, Treuer H, Boesecke R: Optimization and evaluation of landmark-based image correlation. *Phys Med Biol* 37:261-271 (1992)
9. Ding GX, Shalev S, Gluchev G: A  $\rho - \theta$  technique for treatment verification in radiotherapy and its clinical applications. *Med Phys* 20:1135-1143 (1993)
10. Gilhuijs KGA, van Herk M: Automatic on-line inspection of patient setup in radiation therapy using digital portal images. *Med Phys* 20:667-677 (1993)
11. Balter JM, Pelizzari CA, Chen GTY: Correlation of projection radiographs in radiation therapy using open curve segments and points. *Med Phys* 19:329-334 (1992)
12. Cai J, Chu JCH, Saxner VA, Lanzl LH: A simple algorithm for planar image registration in radiation therapy. *Med Phys* 25:824-829 (1998)
13. van Herk M, Remeijer P, Lebesque V: Inclusion of geometric uncertainties in treatment plan evaluation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 52:1407-1422 (2002)

## Development of a Verification Tool in Radiation Treatment Setup

Byung-chul Cho\*, Sei-kwon Kang\*, Seung-hee Han<sup>†</sup>,  
Seok-won Park<sup>†</sup>, Do-hoon Oh<sup>†</sup>, and Soonsik Bae\*

*Department of Radiation Oncology, Hallym University College of Medicine,  
Hallym University Sacred Heart Hospital\*, Kangdong Sacred Heart Hospital<sup>†</sup>*

In 3-dimensional conformal radiation therapy (3D-CRT) and intensity-modulated radiation therapy (IMRT), many studies on reducing setup error have been conducted in order to focus the irradiation on the tumors while sparing normal tissues as much as possible. As one of these efforts, we developed an image enhancement and registration tool for simulators and portal images that analyze setup errors in a quantitative manner. For setup verification, we used simulator films and EC-L films (Kodak, USA) as portal images. In addition, digital-captured images during simulation, and digitally-reconstructed radiographs (DRR) can be used as reference images in the software, which is coded using IDL5.4 (Research Systems Inc., USA). To improve the poor contrast of portal images, histogram-equalization, and adaptive histogram equalization, CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization) was implemented in the software. For image registration between simulator and portal images, contours drawn on the simulator image were transferred into the portal image, and then aligned onto the same anatomical structures on the portal image. In conclusion, applying CLAHE considerably improved the contrast of portal images and also enabled the analysis of setup errors in a quantitative manner.

**Key Words :** Setup verification, Image registration