

The error analysis of field size variatiom in pelvis region by using immobilization device

Ki-Hwan Kim*, No-Hyun Kang*, Dong-Wuk Kim*, Jun-Sang Kim*, Ji-Young Jang*, Yong-Eun Kim†, Jae-Sung Kim*, Moon-June Cho*†

Department of Therapeutic Radiology,* College of Medicine, Cancer Research Institute,† Chungnam National University, Chungnam, Korea, Department of Physics,† College of Natural Science, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea

고정기구의 사용이 골반부위 방사선조사영역의 변화에 미치는 오차분석

김기환* · 강노현* · 김동욱* · 김준상* · 장지영* · 김용은† · 김재성* · 조문준*†

*충남대학교 의과대학 치료방사선과학교실, †암공동연구소, †충북대학교 자연과학대학 물리학과
(2000년 1월 5일 접수, 2000년 5월 23일 채택)

Abstract - In radiotherapy, it may happen to radiate surrounding normal tissue because of inconsistent field size by changing patient position during treatment. We are going to analyze errors reduced by using immobilization device with Electronic portal imaging device(EPID) in this study. We had treated the twenty-one patients in pelvic region with 10 MV X-ray from Aug. 1998 to Aug. 1999 at Chungnam National University Hospital. All patients were treated at supine position during treatment. They were separated to two groups, 11 patients without device and 10 patients with immobilization device. We used styrofoam for immobilization device and measured the errors of anterior direction for x, y axis and lateral direction for z, y axis from simulation film to EPID image using matching technique. For no immobilization device group, the mean deviation values of x axis and y axis are 0.19 mm. 0.48 mm, respectively and the standard deviations of systematic deviation are 2.38 mm, 2.19 mm, respectively and of random deviation for x axis and y axis are 1.92 mm. 1.29 mm, respectively. The mean deviation values of z axis and y axis are -3.61 mm. 2.07 mm, respectively and the standard deviations of systematic deviation are 3.20 mm, 2.29 mm, respectively and of random deviation for z axis and y axis are 2.73 mm. 1.62 mm, respectively. For immobilization device group, the mean deviation values of x axis and y axis are 0.71 mm. -1.07 mm, respectively and the standard deviations of systematic deviation are 1.80 mm, 2.26 mm, respectively and of random deviation for x axis and y axis are 1.56 mm. 1.27 mm, respectively. The mean deviation values of z axis and y axis are -1.76 mm. 1.08 mm, respectively and the standard deviations of systematic deviation are 1.87 mm, 2.83 mm, respectively and of random deviation for x axis and y axis are 1.68 mm, 1.65 mm, respectively. Because of reducing random and systematic error using immobilization device, we had obtained good reproducibility of patient setup during treatment so that we recommend the use of immobilization device in pelvic region of radiation treatment.

Key Word: Immobilization device, Systematic error, Random error, Field size, EPID,

요약 - 방사선치료시 환자자세의 변화에 따라 방사선조사영역이 불일치하게 되어 주변의 정상조직에 불필요한 방사선조사가 생길수 있다. 본 연구에서는 골반부위 방사선 치료환자를 대상으로 Electronic portal imaging device(EPID)로 고정기구를 사용한 방사선조사영역의 영상을 획득하여

고정기구사용에 따른 조사영역변화에 대한 오차를 분석하고자 한다. 충남대학교병원 치료방사선과에서 1998년 8월부터 1999년 8월까지 21명의 골반부위 방사선치료환자를 대상으로 하였다. 환자들은 모두 앙와위자세를 유지하면서 치료를 받았고 고정기구를 사용하지 않은 11명과 고정기구를 사용한 10명으로 각각 나누어서 연구를 실행하였다. 고정기구는 스티로폼을 이용하였다. 전체 치료과정 중 EPID를 이용하여 전면조사시 x(right-left)축, y(longitudinal)방향을, 측면조사는 z축(vertical), y축(longitudinal)방향을 대상으로 영상을 얻었다. 전체 치료과정 중 얻은 영상들을 모의치료시 촬영한 기준필름과 matching기법을 이용하여 오차를 측정하였다. 고정기구를 사용하지 않은 11명 환자의 전면 조사영역의 경우 x축, y축으로의 평균이동값은 각각 0.19 mm, 0.48 mm이었고 계통이동과 우연이동은 평균이동으로부터 표준편차가 x축, y축으로 각각 2.38 mm, 2.19 mm와 1.92 mm, 1.29 mm이었다. 측면조사영역에서 z축, y축으로의 평균이동값은 각각 -3.61 mm, 2.07 mm이었고 계통이동과 우연이동은 표준편차가 z축, y축으로 각각 3.20 mm, 2.29 mm와 2.73 mm, 1.62 mm이었다. 한편 고정기구를 사용한 10명 환자의 전면 조사영역에서 x축, y축으로의 평균이동값은 각각 0.71 mm, -1.07 mm이었고 계통이동과 우연이동은 표준편차가 x축, y축으로 각각 1.80 mm, 2.26 mm와 1.56 mm, 1.27 mm이었다. 측면조사영역에서 z축, y축으로의 평균이동값은 각각 -1.76 mm, 1.08 mm 이었고 계통이동과 우연이동은 평균이동으로부터 표준편차가 x축, y축으로 각각 1.87 mm, 2.83 mm와 1.68 mm, 1.65 mm이었다. 본 연구에서는 고정기구를 사용한 환자군의 조사영역의 오차는 고정기구를 사용하지 않은 환자군의 조사영역의 오차에 비해 약간 감소됨을 확인할 수 있었다. 그리고 두 그룹간의 우연오차는 감소하고 계통오차는 크게 변화하지 않는 경향을 보였다. 그러므로 골반부위 방사선 치료시 고정기구를 사용함으로써 방사선 조사영역에 대한 오차유발의 원인을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

중심어 : 고정기구, 계통오차, 우연오차, 조사영역, EPID

서 론

방사선 치료는 종양주위의 정상조직에 방사선의 조사를 최소화하면서 종양에 처방선량을 조사하여 국소적인 종양을 제어하고자 하는 데 있다. 방사선 치료계획과 치료시에 피할수 없는 오차가 있다는 사실이 널리 인식되어져 있기 때문에 방사선조사영역의 불일치에 대하여 많은 연구들이 있었다. 일반적으로 이러한 오차를 완전히 제거하기는 쉽지 않지만 오차의 원인과 정도를 파악하게 되면 치료결과에 대한 평가를 용이하게 할 수 있으며 방사선치료시 생길수 있는 오차를 줄일 수 있게 될 확률이 높아지게 된다. 방사선 치료시 생길수 있는 조사영역의 오차는 치료계획과 실제 치료사이의 불일치에 의해 생길 수 있으며, 조사영역오차의 증가는 부작용을 증가시킬 수 있으므로 종양주위의 결정장기를 고려하여 방사선 조사영역의 여유정도를 결정해야 된다. 이를 위하여 초기의 연구자들인 Kartha등은[1] 치료장비의 품질관리를 통하여 오차를 점검하고자 하였으며 Marks등은[2] portal film(조사문필름)을 이용하여 조사영역의 오차분석을 하였다. 이런 연구결과들에 의하여 결정장기를 고려한 방사선조사영역을 결정하는데 실제로 많은 도움을 받게 되었다.

최근에는 Electronic Portal Imaging Device (EPID)를 이용하여 방사선치료시 실시간으로 영상 획득이 가능해짐으로써 조사영역에 대한 검사와

setup기법들간의 비교가 용이해졌다. 일반적으로 방사선 치료확인을 위한 EPID의 기능은 두가지로 나눌수 있는데 치료부위의 오차들을 환자군에 대하여 평가할 수도 있고, 환자들이 받는 선량과 치료계획한 선량과의 차이에 대하여 평가할 수도 있다[3]. 그리고 Greer등은[4] 고정기구의 사용이 방사선 치료에 끼치는 영향의 평가를 하기 위하여 방사선 조사영역에 대한 정량적 측정등에 관한 연구를 수행하였다. EPID는 치료기간중에 환자의 치료영상을 획득할 수 있으므로 기술의 발전과 더불어 일반 조사문필름 보다 넓게 사용되고 있는 추세이다. 방사선 치료시 조사문필름을 이용한 골반부위의 치료확인 은 필름의 영상질등의 조건에 있어서 한계가 있기 때문에 EPID가 상용화되기 전에 Kelsey등은[5] 치료중인 환자의 움직임을 CCTV를 가지고 관찰하는 연구를 하였다. 한편 고정기구를 사용하여 치료의 정확도가 향상되었다는[6] 여러 연구결과들이 있었음에도 불구하고, 일부 연구결과들은 별이득이 없었다고 보고하고 있으며[7] 아직까지 이런 인식들이 폭넓은 지지를 받고 있어 골반부위를 치료받는 대부분 환자들은 고정기구를 사용하지 않고 방사선치료를 받고 있다. 그러므로 골반부위의 방사선치료시 적절한 치료가 되는 지를 확인하는 일이 매우 중요하게 부각되고 있다.

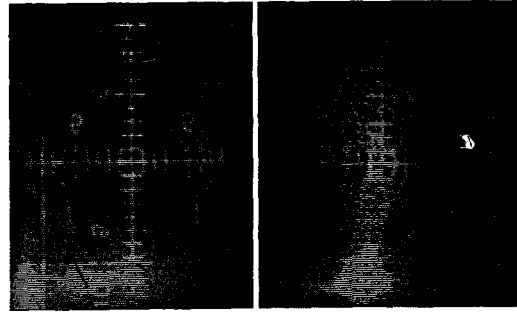
Valicenti등은 환자의 자세를 동일하게 하면서 방사선치료시 조사문필름과 전자조사문영상장치들

이용하여 두 영상사이에 차이가 있음을 알게 되었다[8]. 이러한 차이점은 방사선 조사시 환자의 움직임으로 조사문필름을 얻기전과 방사선 조사후의 환자자세에 차이가 발생하게 되는 것을 시사한다. 이런 현상들은 방사선 치료중에 위치변화의 크기 뿐만 아니라 상대적 빈도 등에 대하여도 영향을 받게 된다[9].

이에 본 연구는 골반부위의 방사선치료환자를 대상으로 모의치료 필름과 EPID를 사용하여 치료 중 방사선 조사영역의 영상을 획득함으로써 고정기구의 사용이 방사선 조사영역의 변화에 대한 영향을 분석하고자 하였다.

대상 및 방법

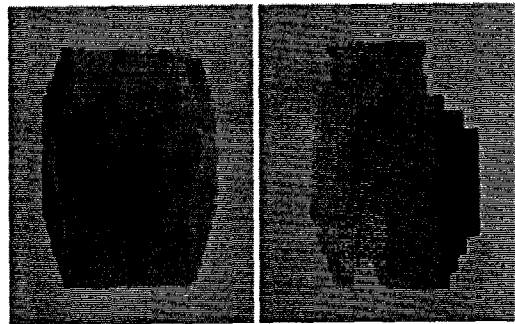
본연구는 1998년 8월부터 1999년 8월까지 충남대학교 병원에서 골반부위 방사선치료를 받은 21명의 환자를 대상으로 하였다. 대상 환자들은 치료기간내내 양와위 자세를 유지하였으며 의료용 선형가속기 CL2100C/D(Varian, USA)의 10MV X선으로 4조사문 치료기법{AP(anterior-posterior), PA(posterior-anterior), both lateral}을 이용하여 고정기구를 사용하지 않은 환자군과 고정기구를 사용하여 치료한 환자군을 각각 11명과 10명으로 나누어 방사선 치료를 시행하였으며 고정기구로는 스티로폼을 사용하였다. 모의치료실에서 환자의 전면과 측면의 회전중심점 위치를 확인한 후 레이저를 참고하여 환자의 피부에 회전중심점 위치를 표시하였다. 모의치료필름은 전면, 측면의 필름을 촬영하여 기준필름으로 하였다. 환자는 치료를 위하여 모의치료실에서 치료실로 옮긴 후 치료용 테이블위에 눕히고 피부표면에 표시된 회전중심점의 입사점을 레이저를 이용하여 치료직전 전면, 좌우 측면의 회전중심점의 입사점을 확인하였다. 모든 환자들은 치료 전 광학거리기를 이용하여 선원 피부간거리(source surface distance)를 검사하였으며 전면, 측면 조사문필름에서 좌우의 중양을 일치시키기 위하여 환자를 조사영역크기의 중간점에 놓았다. 먼저 모의치료에서 얻은 모의치료필름을 EPID와 연결된 카메라(Gammex, USA)를 이용하여 밝기와 확대율을 고려하여 그림 1과 같이 컴퓨터에 입력하였으며 이때 필름들은 골반부위의 골격 구조물들을 기준으로 삼았다.



a) Anterior field b) Lateral field

Fig. 1. Reference simulation films of anterior and lateral field.

연구에 사용한 EPID는 Varian사의 256 x 256 개의 matrix형 액체 섬광형 이온함으로 구성되어 있으며 Portal vision MK1(Varian, U.S.A)을 사용하였다. 연구에 사용된 소프트웨어 버전은 3.6이었다. 모의치료필름의 영상과 EPID영상의 차이를 분석하기 위하여 먼저 모의치료필름위에 조사영역 경계와 골반부위의 해부학적 구조를 마우스를 이용하여 그린후 중첩기법을 이용하여 나타나는 두 영상의 차이를 Portal vision의 프로그램을 이용하여 얻었다. 치료시 격일간격으로 치료부위의 조사영역에 대하여 그림 2처럼 전면, 측면(우측면)의 영상을 획득하였다.



a) Anterior field b) Lateral field

Fig. 2. The EPID imagies of anterior and lateral field.

전면조사시 x축(right-left)방향과 y축(longitudinal) 방향을 대상으로 영상을 얻었으며, 측면조사시 z축(vertical)방향과 y축(longitudinal)방향을 대상으로 영상을 얻었다. 고정기구를 사용하지 않은 11명의 환자군에 있어서 전면조사영역과 측면조사영

역의 영상데이터는 각각 100개를 얻었다. 고정기구를 사용하여 방사선 치료를 받은 10명 환자군의 전면조사영역과 측면의 영상데이터는 각각 93개를 획득하였다. 환자의 피부에 표시한 회전중심점의 입사지점으로부터 조사영역크기의 변화를 측정하기 위하여 전면과 측면의 조사영역크기의 변이를 기록하였으며 방사선 치료기간중 고정기구의 사용에 의한 방사선조사영역의 오차를 기록함으로써 고정기구를 사용하지 않은 군과 사용한 군사이의 어떠한 차이가 생기는지를 고찰하였다. 오차가 생기는 변수로서는 고정기구의 사용여부와 환자의 몸무게 변화, 골반부위의 구조등이었으나, 본 연구에서는 주로 고정기구에 의한 요인만을 대상으로 하였다. 방사선조사영역의 오차에 대한 평가는 환자 1명에서 1일에 1개의 영상을 기준필름과 비교하여 얻은 값을 가지고 우연오차와 계통오차를 구하였다. 계통오차는 한 환자의 평균이동으로 정의하였으며, 우연오차는 한 환자의 개별적인 이동에서 평균이동(계통오차)를 뺀 값으로 정의하였다[4]. 이 값들로부터 우연오차와 계통오차에서 각각 평균과 표준편차를 구하였다.

결 과

고정기구를 사용하지 않은 11명의 환자들을 대상으로 얻은 영상데이터는 200개였으며 고정기구를 사용한 환자 10명을 대상으로 196개의 영상을 얻었다. 고정기구를 사용하지 않은 전면조사영역의 경우 환자의 x축, y축을 측면조사영역에 대하여 y축, z축으로의 평균이동값과 계통오차 그리고 우연오차값을 표 1에 나타내었다.

Table 1. Systematic versus random error of no immobilization device group.

Port direction	Coordinates	Mean(mm)	Systematic 1 SD*	Random 1 SD*
Anterior	x	0.19	2.38	1.92
	y	0.48	2.19	1.29
Lateral	z	-3.61	3.20	2.73
	y	2.07	2.29	1.62

* SD : Standard Deviation

전면조사영역에서 대상환자 11명의 x축, y축의 평균이동값은 각각 0.19 mm, 0.48 mm 이었고 계통이동은 표준편차가 x축, y축으로 각각 2.38 mm, 2.19 mm이었다. 우연이동은 각환자의 평균이동으로부터 x축, y축으로 표준편차가 각각 1.92 mm, 1.29 mm이었다. 측면조사영역에서 전체환자의 z축, y축으로의 평균이동값은 각각 -3.61 mm, 2.07 mm 이었고 계통이동은 표준편차가 z축, y축으로 각각 3.20 mm, 2.29 mm이었다. 우연이동은 각환자의 평균이동으로부터 z축, y축으로 표준편차가 각각 2.73 mm, 1.62 mm이었다. 고정기구를 사용한 환자군에 대한 전면 조사영역의 경우 환자의 x축, y축, z축으로의 평균이동값과 계통오차 그리고 우연오차값을 표 2에 나타내었다.

Table 2. Systematic versus random error of immobilization device group.

Port direction	Coordinates	Mean(mm)	Systematic 1 SD*	Random 1 SD*
Anterior	x	0.71	1.80	1.56
	y	-1.07	2.26	1.27
Lateral	z	-1.76	1.87	1.68
	y	1.08	2.83	1.65

* SD : Standard Deviation

전면조사영역에서 대상환자 10명의 x축, y축의 평균이동값은 각각 0.71 mm, -1.07 mm 이었고 계통이동은 표준편차가 x축, y축으로 각각 1.80 mm, 2.26 mm이었다. 우연이동은 각환자의 평균이동으로부터 x축, y축으로 표준편차가 각각 1.56 mm, 1.27 mm이었다. 측면조사영역에서 전체환자의 z축, y축으로의 평균이동값은 각각 -1.76mm, 1.08mm 이었고 계통이동은 표준편차가 z축, y축으로 각각 1.87 mm, 2.83 mm이었다. 우연이동은 각 환자의 평균이동으로부터 z축, y축으로 표준편차가 각각 1.68 mm, 1.65 mm이었다.

고찰 및 결론

본 연구에서는 방사선 치료계획과 치료시에 생

기계 되는 방사선조사영역의 불일치를 확인하고 개선하기 위하여 골반부위의 환자를 대상으로 스티로폼을 고정기구로서 사용하였다. 이러한 고정기구를 사용한 환자군의 조사영역의 오차는 고정기구를 사용하지 않은 환자군의 조사영역의 오차보다는 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 방사선조사시 생기는 방사선 조사영역의 오차는 계통오차와 우연오차로 나눌수 있는데 계통오차는 모의치료실에서 치료실로의 이동시 생기는 오차, 치료준비시 부정확성, 피부 표시선의 부정확한 위치, 고정대 위의 표시선의 부정확한 표시, 기계적인 요소에 의해서 생길 수 있다. 우연오차는 매일 환자의 자세이동 때문에 생기게 되는 오차이다.

Song등은[10] 고정기구들간의 오차의 정도에 관한 연구에서 무고정상태, Alpha-cradle, 스티로폼 등의 고정기구를 비교하여 전체이동정도(확률)를 측정 한 결과는 각각에 대하여 0.38, 0.44, 0.30였다. Vertical 방향에서의 이동 확률은 각각에 대하여 0.18, 0.26, 0.09였으며, 측면의 이동확률은 각각에 대하여 0.18, 0.26, 0.09 였다. AP(anterior - posterior)방향의 이동정도는 상대적으로 0.15, 0.09, 0.06으로서 스티로폼의 고정효과가 비교적 우수한 것으로 평가되었다. 또한 Gildersleve등은 [11] EPID를 이용하여 치료를 시작한 후 수초이 내에 오차를 발견하여 그 오차를 교정하여 다시 자세를 잡고 치료 함으로써 치료시 오차를 50%정도 줄일수 있어 치료의 정확성을 증대시키고 부작용을 최소화할수 있다고 하였다

EPID는 치료중에 영상을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 환자자세의 오차 정도를 비교적 정확히 정량화할 수 있는 장비로서 비교적 비고가 용이한 골반부위의 setup오차에 대한 연구들이 많이 이루어지고 있는데, 김등은[12] 고정기구를 사용한 양와 위군의 예비실험에서 조사영역크기의 오차가 감소하였다고 보고하였다. Byhardt등의[13] 필름을 이용한 치료의 부정확도 연구에서는 모의치료계획에서 설정된 영역보다 5mm이상 편차가 발생하는 경우를 오차로 간주했는데 골반부위의 치료시 오차발생의 빈도는 26%로 보고하고 있었고, Rabinowitz등은[14] 뇌부위와 골반부위의 우연오차가 3mm정도 되었다고 보고하였으며, 모의치료 필름과 조사문 필름을 비교한 결과 평균 오차는 5mm였으며, 주로 계통오차가 원인이었음을 밝혀내었다. Kihlen등이[15] 전체치료영역에서 측정 한 우연오차는 3.5mm정도로서 Rabinowitz등의 결과와 유사하였다고 보고하였다. 위에서 언급한 오차는 치료시 조사영역여유를 적게 주는 경우 즉, 치

료용적과 중앙용적이 일치할 수록 표적용적의 오류가능성이 증가하게 된다. 이러한 문제들은 입체조형방사선치료와 빔방향상치료등에서는 더 심각하게 고려해야 한다. 예를 들어 이런 치료들로서 치료효율을 증가시키고, 어느 정도의 국소제어율에 대한 정상조직의 피사율을 줄이고자 한다면 조사영역 여유를 어느정도로 설정할 것인가의 문제는 표적용적의 오류가능성을 피해야하는 중요한 요인으로 나타나게 된다. 그러므로 EPID 및 조사문필름을 이용하여 치료중 혹은 치료간에 영상을 얻음으로써 환자 치료자세의 차이를 확인하고 교정하여 치료의 정확성을 증가시키는데 기여할 수 있다. 또한 차폐물 위치의 조절이나 우연 또는 계통오차를 객관적으로 산출하여 환자의 자세를 교정하기 위한 판단을 내리는데 유용한 도구가 될 수 있다고 생각한다.

본 연구에서는 환자의 조사영역의 오차에 대한 연구를 하기 위하여 고정기구와 EPID를 이용하였다. EPID는 치료를 하면서 영상을 얻을 수 있기 때문에 1회 치료시 여러개의 영상을 얻을 수 있고 영상의 보관이 용이하였지만 아직 영상의 질이 만족할만한 수준은 아니었다. 또한 두그룹에서 우연오차는 감소했지만 여전히 계통오차는 감소하지 않는 경향을 보였다. 전면조사영역에서 고정기구를 사용하지 않은 군과 사용한 군에서 x축, y축의 평균이동과 계통오차와 우연오차는 큰 차이를 보이지 않았으나, 측면조사영역에서 y축, z축으로의 평균이동값과 계통오차와 우연오차에서는 고정기구를 사용하지 않은 군의 오차가 사용한 군의 오차에 비하여 거의 2배정도가 되는 경향을 보였다. 이러한 결과들로부터 골반부위 방사선 치료시 고정기구인 스티로폼을 사용함으로써 큰 이득을 보았다고는 말할 수 없지만 방사선 조사영역에 대한 오차유발의 원인을 줄일 수 있는 한 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 충남대학교병원 일반연구비의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. P.K.I. Kartha, A. Chung-bin and F.R. Hendrickson, "Accuracy in clinical dosimetry", *Br.J Radiol.*, 46, 1083-1084 (1973).

2. J.E. Marks and A.G. Haus, "The effect of immobilization on localization error in radiotherapy of head and neck cancer", *Clin. Radiol.*, 27, 175-177(1976).
3. M.A Hunt, T.E Schultheiss, G.E Desobry, M Hakki and G.E Hanks, "An evaluation of setup uncertainties for patients treated to pelvic sites", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 32, 227-233(1995).
4. P.B. Greer, T.M. Mortensen, D.T Rad and C.C Jose, "Comparison of two methods for anterior-posterior isocenter localization in pelvic radiotherapy using electronic portal imaging", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 41, 1193-1199(1998).
5. C.A. Kelsey and R.G. Lane, "Measurement of patient movement during radiation therapy", *Radiology*, 103, 697-698(1972).
6. S.A. Rosenthal, M. Roach III, B.J. Goldsmith, E.C. Doggett, B. Pickett, H.A. Yuo, E.M. Soffen, R.L. Stern and J.K. Ryu, "Immobilization improves the reproducibility of patient positioning during six-field conformal radiation therapy for prostate carcinoma", *Int Radiat Oncol Biol Phys*, 27, 921-926(1993).
7. S. P.Y. Song, Quint, M. Seven, M. D. Hoog, M. Olofsen, C. Creutzberz, "Positioning gynaecological patients for conformal radiotherapy using vacuum mattresses", Proceedings of the workshop on electronic portal imaging, June 10-12, 1996.
8. R.K Valicenti, J.M Michalski, W.R Bosch, R.L Gerber, M.V Graham, A.Y Cheng and J.A Purdy, "Is weekly port filming adequate for verifying patient position in modern radiation therapy?", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 30, 431-438(1994).
9. A Tinge, J.M Michalski, W.R Bosch, R.K Valicenti, D.A Low and Myerson RJ, "An analysis of intratreatment and intertreatment displacements in pelvic radiotherapy using electronic portal imaging", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 34, 683-690(1996).
10. P.Y. Song, M Washington, F Vaida, R. Hamilton, D. Spelbring, B. Wyman, J. Harrison, George T.Y Chen and S Vijayakumar, "A comparison of four patient immobilization device in the treatment of prostate cancer patient with three dimensional conformal radiation therapy", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 34, 213-219(1996).
11. J. Gildersleve, D.P. Dearnaley, P.M. Evans and W. Swindell, "Reproducibility of patient positioning during routine radiotherapy, as assessed by an integrated megavoltage imaging system", *Radiotherapy and oncology*, 35, 151-160(1995).
12. 김기환, 강노현, 김동욱, 장지영, 김준상, 김재성, 조문준, " 고정기구 사용이 조사영역의 오차에 미치는 영향", 대한방사선종양학회지, 17(부록1호), 96(1999).
13. R.W Byhardt, J.D Cox, A.G Hornburg and O Liermann, "Weekly localization films and detection of field placement deviation", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 4, 881-887(1978).
14. I. Rabinowitz, J. Broomberg, M Goitein, K McCarthy and J Leong, "Accuracy of radiation field alignment in clinical practice", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 11, 1857-1867(1985).
15. B. Kihlen and B.I Ruden, "Reproducibility of field alignment in radiation therapy: a large-scale clinical experience", *Acta Oncol*, 28, 689-692(1989).