

세기변조방사선치료의 정도관리를 위한 두경부 팬텀 제작에 관한 연구

국립암센터 양성자치료센터

신동호 · 박성용 · 김주영 · 이세병 · 조정근 · 김대용 · 조관호

m3 (BrainLAB Inc., Germany)를 이용한 두경부 IMRT의 정도관리에서 테이블과 갠트리의 위치에 따라 테이블에 의한 선량감쇠가 일어나 정확한 처방 선량을 측정할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해 두경부 종양의 세기변조방사선치료를 위해 Brain Lab사의 환자테이블 mount를 이용해 설치할 수 있는 원통형 두경부 팬텀을 제작하였다. 이를 이용하여 환자테이블에 의한 선량 감쇠를 측정하고 실제 임상에 적용함으로써 테이블에 의한 선량 감쇠로 인한 선량분포의 차이를 확인할 수 있었다. 측정결과 환자테이블에 의한 점 선량의 감쇠가 최대 약 35%가 낮으며 실제 환자 치료계획에 대한 정도관리에서의 절대 점 선량의 경우 5.4%의 선량차이를 나타냈다.

중심단어: 세기변조방사선치료, 두경부 팬텀, 선량감쇠

서 론

최근 세기변조방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy: IMRT)는 방사선을 이용한 종양의 치료 성적을 향상시키고 있으며 특히 기존의 치료방법에 제약이 있던 두경부 종양 치료에 좋은 성적을 나타내는 것으로 알려져 있다.^{1,2)} 이에 따라 특성상 각각의 환자에 대해 높은 정확성과 복잡한 정도관리절차가 요구되고 있다.³⁾ 따라서 세기변조방사선치료 기술을 이용한 전체적인 방사선치료과정에서 가장 중요한 준비과정은 실제 환자에게 전달될 선량을 확인하는 것으로, 일반적으로 잘 알려진 세기변조방사선치료를 이용한 두경부 종양 치료 시 치료 전 환자에 대한 정도관리의 방법으로는 micro 이온함을 이용하여 절대 점 선량을 측정하는 방법과 필름 또는 EPID (Electronic Portal Imaging Device)) 등을 이용한 2차원적인 선량 분포의 측정이 시행되고 있다.⁴⁻⁷⁾

소조사면 다엽콜리메이터인 m3 (BrainLAB Inc., Germany)를 이용한 두경부 종양의 치료의 경우 실제 환자치료에서

는 환자의 치료부위인 머리가 환자테이블 끝 바깥쪽으로 나와 공간에 떠 있는 상태이지만 치료 전 환자에게 부여되는 선량을 검증하기 위한 정도관리 과정은 Fig. 1과 같이 물 등가 고체팬텀을 이용해 환자테이블 위에서 이루어지고 있다. 이때 갠트리, 콜리메이터, 환자테이블의 각도가 치료 시와 같은 조건으로 이루어고 있어 Fig. 1(a)의 경우와 같이 특정 입사방향에 따라서는 환자테이블과 테이블의 가로 지지대(couch rail)에 의해 선량의 감쇠가 있을 수 있다. 실제로 환자테이블의 가로지지대와 환자 고정 장치(immobilization device)등에 의해 15%정도의 선량감쇠가 있음이 보고된 바 있다.⁸⁾ 그러나 이처럼 입사하는 방사선의 방향에 따라 환자테이블에 의한 선량의 감쇠가 무시할 수 없을 정도로 크에도 불구하고 정도관리를 위한 팬텀의 치료계획과정에서는 환자테이블에 의한 선량 감쇠에 대한 효과는 무시되어 왔다.

특히 Fig. 1(b)와 같은 환자테이블과 갠트리의 각도에서는 더 많은 선량 감쇠가 발생하여 정확한 절대선량이나 선량분포를 측정하기 어려울 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 환자의 치료과정과 동일한 환경에서 환자에게 부여되는 선량을 정확히 측정하고자 환자테이블에 의한 선량 감쇠의 영향을 고려한 두경부 팬텀을 제작하고 이를 이용하여 정확한 환자의 정도관리와 환자테이블에 의한 선량 감쇠효과를 측정하여 임상에 적용하고자 한다.

본 연구는 2005년도 국립암센터 기관고유연구사업 (0410310)의 일환으로 수행되었음.

이 논문은 2005년 2월 28일 접수하여 2005년 3월 17일 채택되었음.

책임저자 : 박성용, (411-769)경기도 고양시 일산구 마두1동 809번지

국립암센터 양성자치료센터

Tel: 031)920-1728, Fax: 031)920-0149

E-mail: cool_park@ncc.re.kr

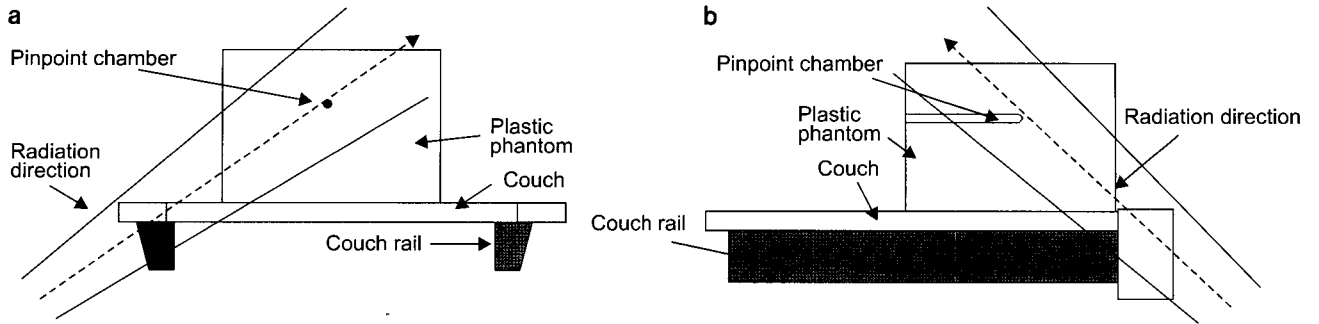


Fig. 1. Actual setup of the quality assurance couch and plastic phantom. (a) Frontal view of treatment couch. (b) Lateral view treatment couch.

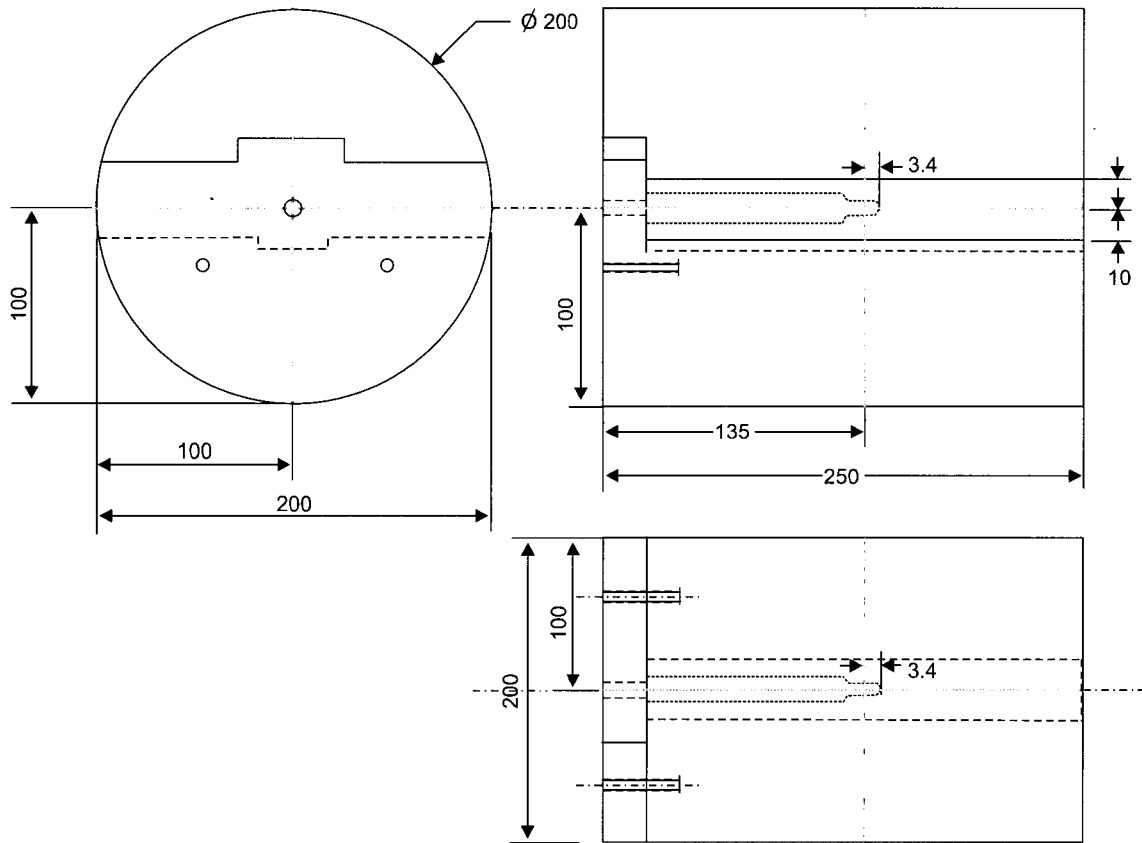


Fig. 2. The design of head and neck acryl phantom.

재료 및 방법

1. 두경부 팬텀 제작

원통형의 아크릴을 이용하여 Fig. 2와 같이 사람의 머리

크기와 유사한 지름 20 cm, 길이 25 cm의 원통형 두경부 고체팬텀을 설계하였다. 고체팬텀은 BrainLAB 사의 m3 micro MLC를 이용한 치료과정에 사용되는 환자 테이블 마운드에 쉽게 장착하도록 제작하였다. 또 팬텀은 환자테이블에 고정된 상태에서 필름을 삽입할 수 있는 아크릴판과

pinpoint 이온함을 삽입할 수 있는 아크릴판으로 구성되어 팬텀이 테이블에 설치된 상태에서 상황에 따라 필름과 이온함을 교체 삽입할 수 있게 하였다. 또한 팬텀의 위 덮개와 팬텀의 몸체는 요철을 만들어 고정되도록 설계하여 테이블의 움직임 등으로 인해 팬텀이 흔들리거나 팬텀 구성품들 사이에 유격이 발생하지 않게 설계하였다. 제작된 원통형 두경부 팬텀은 m3 micro MLC가 부착된 Clinac 600 CD (Varian, USA)의 환자테이블에 설치했다.

2. 테이블에 의한 선량 감쇠 측정

환자 테이블에 의한 선량 감쇠정도를 알아보기 위해 제작한 두경부 팬텀을 테이블 바깥 두경부 고정틀에 설치한 후 테이블 각도 0°에서 갠트리를 회전 시키면서 제작한 두경부 팬텀의 등방성을 측정하였다. SAD는 100 cm로 하였고 조사면의 크기는 10×10 cm³로 하였다. 100MU의 선량을 테이블 각도 0°에서 갠트리를 0°, 30°, 60°, 90°, 135°, 180°, 270° 그리고 330°의 각도로 돌려 각각의 각도에서 선량을 측정 하였다. 측정한 선량은 갠트리 0°에서의 선량을 기준으로 하여 각 갠트리 각도에서 팬텀으로 입사된 선량을 상대적으로 비교하였다.

등방성이 확인 된 두경부 팬텀을 환자 테이블 중앙에 위치시키고 Fig. 3과 같이 테이블 0°에서 이온함의 위치를 isocenter에 위치시킨 후 갠트리를 회전시키면서 입사되는

방사선속의 중심이 테이블의 라켓(racket), 카본구조(carbon frame), 테이블지지대(couch rail) 및 테이블 끝 모서리(couch head edge) 등을 통과하여 이온함에 측정되도록 인위적인 테이블과 갠트리 각도를 설정하여 테이블에 의한 선량 감쇠를 측정하였다.

3. 두경부 팬텀의 임상 적용

BrainScan (BrainLab Inc., Germany)을 이용하여 실시한 두경부 종양에 대한 치료계획 중 테이블과 갠트리의 각도가 테이블에 의해 많은 선량 감쇠를 유발할 수 있을 것으로 판단되는 환자 두 명의 환자에 대한 치료계획을 이용하여 치료 전 정도관리를 실시하였다. 물 등가고체 팬텀을 환자 테이블에 올려놓는 일반적인 방법과 제작한 두경부 팬텀을 테이블에 설치하여 절대 점 선량 및 선량분포를 비교하였다. 절대 점 선량의 측정은 pinpoint 이온함(PTW31006, Germany)을 이용하였으며, 선량 분포는 EDR-2(Kodak, USA)필름을 이용하였다. 측정 시 설치 조건은 Fig. 4와 같이 SAD 100 cm에서 물 등가고체 팬텀을 테이블에 올려놓고 측정할 경우 측정 깊이는 팬텀 표면으로부터 5 cm 깊이로 하였고 아크릴 두경부 팬텀의 경우는 팬텀 표면으로부터 10 cm로 하였다. 선량분포를 확인 하기위한 필름의 위치도 이온함이 위치한 깊이와 동일하게 하였다. 각각의 팬텀에서 얻은 필름은 현상 후 필름스캐너(Vidar VXD-12,

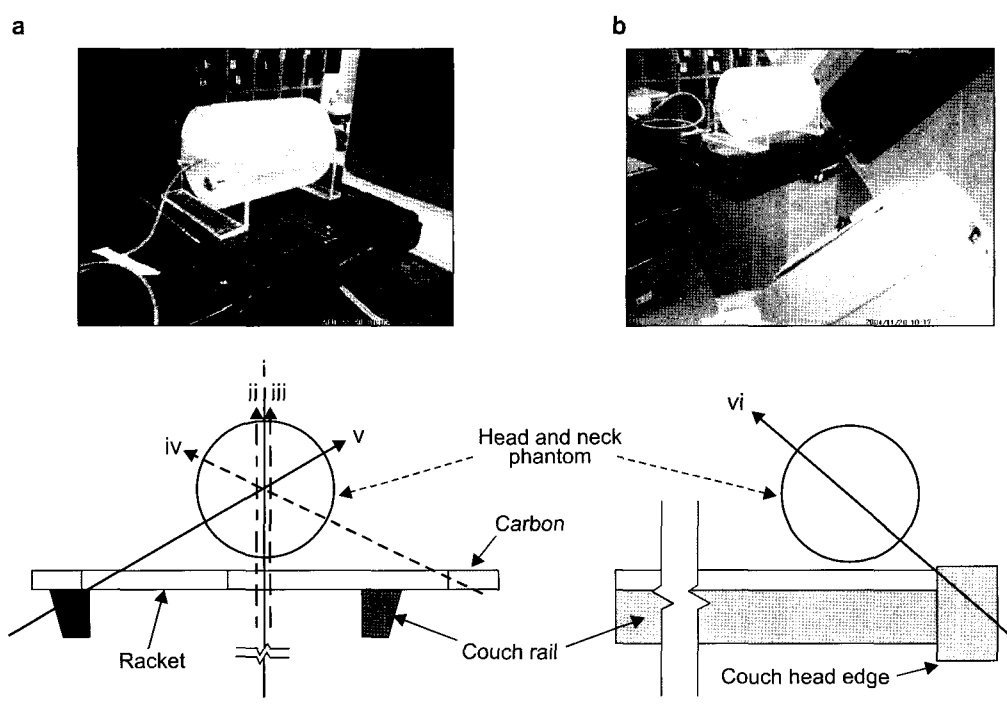


Fig. 3. Result of table attenuation test using the head and neck phantom. (a) Frontal view of couch. (b) Lateral view of couch.

USA)를 이용하여 필름의 선량 분포를 5 mm 간격으로 ASCII파일로 변환 하여 치료계획 시스템으로부터 얻은 선량 분포 결과와 본 기관에서 개발하여 현재 임상에 사용하고 있는 최적화알고리즘을 이용한 선량분포 정도관리방법을 이용하여 비교하였다.⁹⁻¹¹⁾

결과 및 검토

1. 두경부 팬텀 제작

제작된 두경부 팬텀은 Fig. 5와 Fig. 6에서와 같이 이온함

과 필름의 설치가 용이하도록 교체식 홀더로 제작하였고 테이블에 직접 장착하여 고정시킬 수 있어 공간상에 띄운 상태로 테이블의 선량감쇠에 대한 영향을 받지 않도록 제작하였다. 따라서 팬텀을 이용한 정도관리의 과정이 실제 환자의 치료 시와 동일한 상태에서 이루어질 수 있게 하였다. 팬텀의 설치시간 또한 단축되고 한번 설치에 2차원 선량 분포 측정이나 절대 점 선량 측정 시 설치 절차가 간단하고 isocenter의 변화가 없어 일관성 있는 측정이 가능하게 되었다.

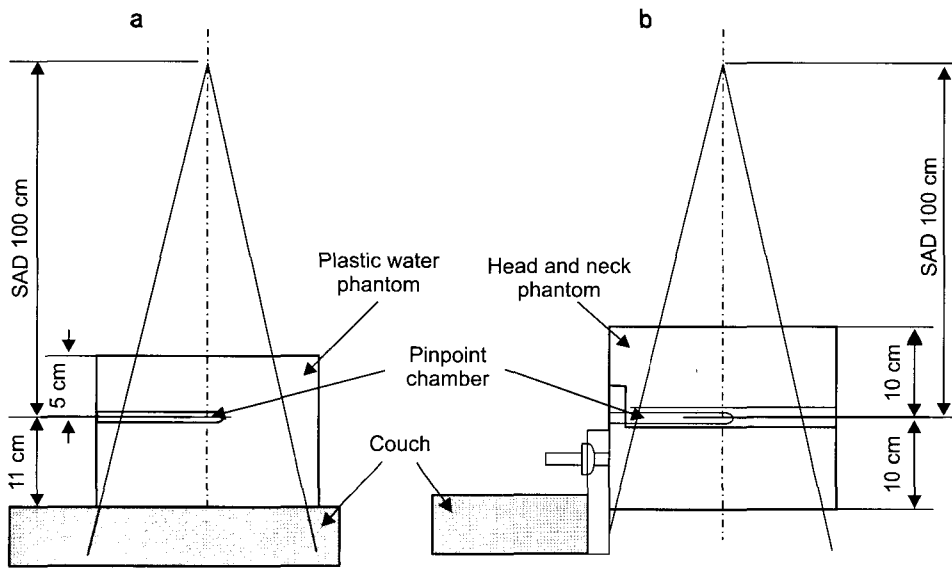


Fig. 4. Measurement setup for absolute point dose using the pinpoint chamber. (a) Case of plastic water phantom setup on the couch. (b) Case of acryl head and neck phantom setup edge of couch.

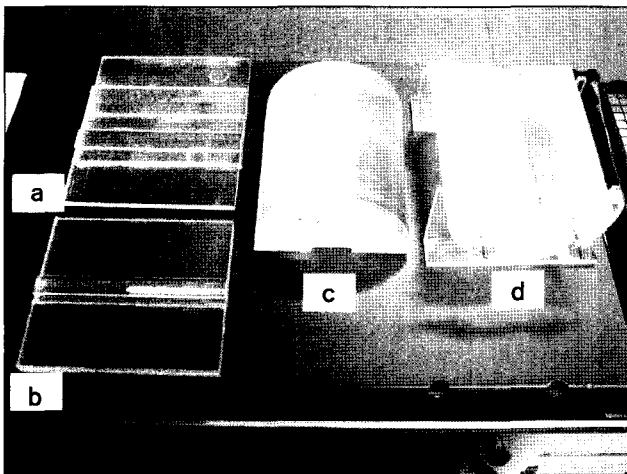


Fig. 5. The component of head and neck phantom. (a) Film holder set, (b) pinpoint chamber holder. (c) upper part of head and neck phantom, (d) lower part of head and neck phantom.

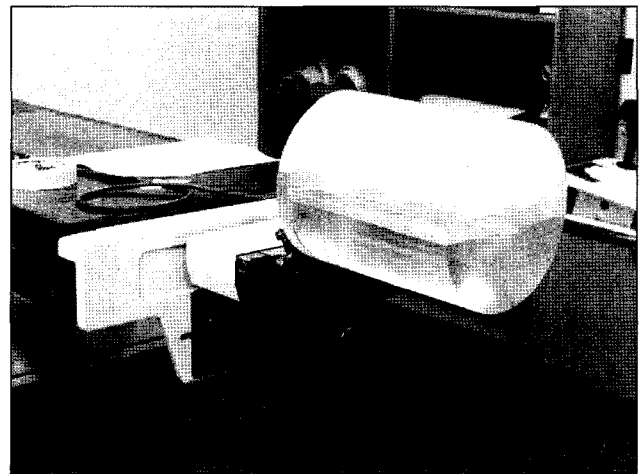


Fig. 6. Setup on patient couch of cylindrical head and neck acryl phantom for measurement of absolute point dose.

2. 테이블에 의한 선량 감쇠 측정

제작된 두경부 팬텀의 선량에 대한 등방성을 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 갠트리 0°에서 측정된 선량 값에 대해 각 갠트리 방향에서 측정된 각각의 선량을 상대값으로 환산하여 비교한 것으로 상대선량이 모든 갠트리 방향에 대해 0.5% 이내에서 등방성을 나타내고 있는 것을 볼 수 있었다. 등방성이 확인된 두경부 팬텀을 환자 테이블 중앙에 위치시키고 테이블 0°와 90°에서 갠트리를 회전시키면서 테이블에 대한 선량 감쇠정도를 측정하였다. Table 1에서와 같이 갠트리 각도 0°에서의 선량을 기준으로 한 상대선량을 측정된 결과 테이블의 라켓을 통과할 경우 선량 감쇠는 나타나지 않았다. 그러나 라켓과 함께 테이블을 구성하는 카본구조를 통해 들어올 경우 갠트리각도에 따라 4~7.6%

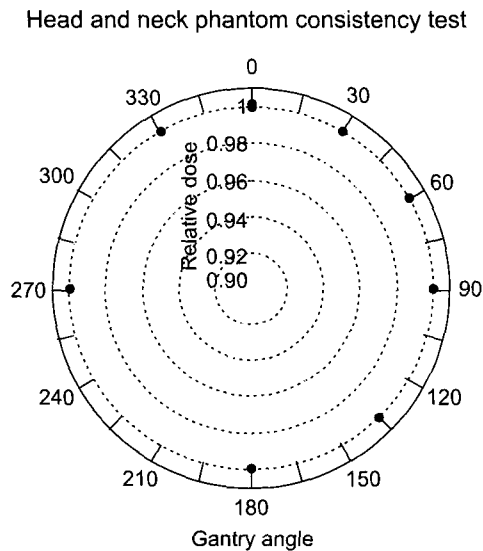


Fig. 7. Result of consistency test of head and neck phantom.

의 선량 감쇠가 나타나는 것을 볼 수 있었으며 테이블지지대를 통하여 입사되는 선속의 경우 8.8%의 선량 감쇠를 보이고 있어 Sandra 등⁸⁾에 의해 보고된 5~10%의 선량 감쇠와 일치하는 결과를 볼 수 있었다. 특히 테이블 각도 90°와 갠트리 각도 135°와 같은 경우 테이블의 끝 모서리를 통해 선속이 통과할 경우 선량 감쇠가 약 35%까지 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이는 테이블의 끝 모서리 부분이 다른 카본구조들 보다 두껍고 테이블을 구성하기 위한 보철물들이 함께 포함하고 있기 때문으로 분석된다.

3. 두경부 팬텀의 임상 적용

두경부 팬텀을 임상에 적용하기 위해 예비실험으로 선택한 두명의 환자에 대한 치료계획은 각각 5개의 조사면에 대해 isocenter에서의 전체 누적선량을 측정하였다. 각각의 환자에 대한 테이블과 갠트리의 각도는 Table 2와 같다. 각각의 팬텀에 대해 전체 측정 선량은 Table 3에서와 같이 A환자의 경우 일반 물 등가 고체팬텀을 이용한 경우 -5.43% 그리고 두경부 팬텀을 사용할 경우 2.2%의 계획된 선량과

Table 2. The treatment field angle of gantry and couch of each patients.

Treatment field No.	Patient			
	A		B	
	Table angle (°)	Gantry angle (°)	Table angle (°)	Gantry angle (°)
1	90	330	90	130
2	90	45	90	175
3	0	230	0	230
4	45	120	300	270
5	315	315	0	280

Table 1. Result of dose attenuation test using the head and neck phantom.

Detection position	Angle		Direction of beam incident	Relative attenuation dose (%)
	Table	Gantry		
i	0°	0°	No transmission of the couch	0
ii	0°	180°	Through the carbon of couch center	7.6
iii	0°	180°	Only through the couch racket	0
iv	0°	125°	Through the carbon of couch side edge	4.0
v	0°	125°	Through the carbon of couch side edge and couch rail	8.8
vi	90°	135°	Through the couch head edge	35.4

Table 3. Result of absolute point dose and dose verification.

Patient	Phantom	Total verification point number	5% out of tolerance point number (%)	Average difference (%)	Maximum difference (%)	Absolute point dose difference (%)
A	Plastic water	260	49 (18.85%)	2.82	11.03	-5.43
	Acryl head & neck	286	16 (5.59%)	1.79	10.74	-2.2
B	Plastic water	108	9 (8.33%)	2.01	10.58	-4.37
	Acryl head & neck	132	5 (3.79%)	1.41	6.41	2.26

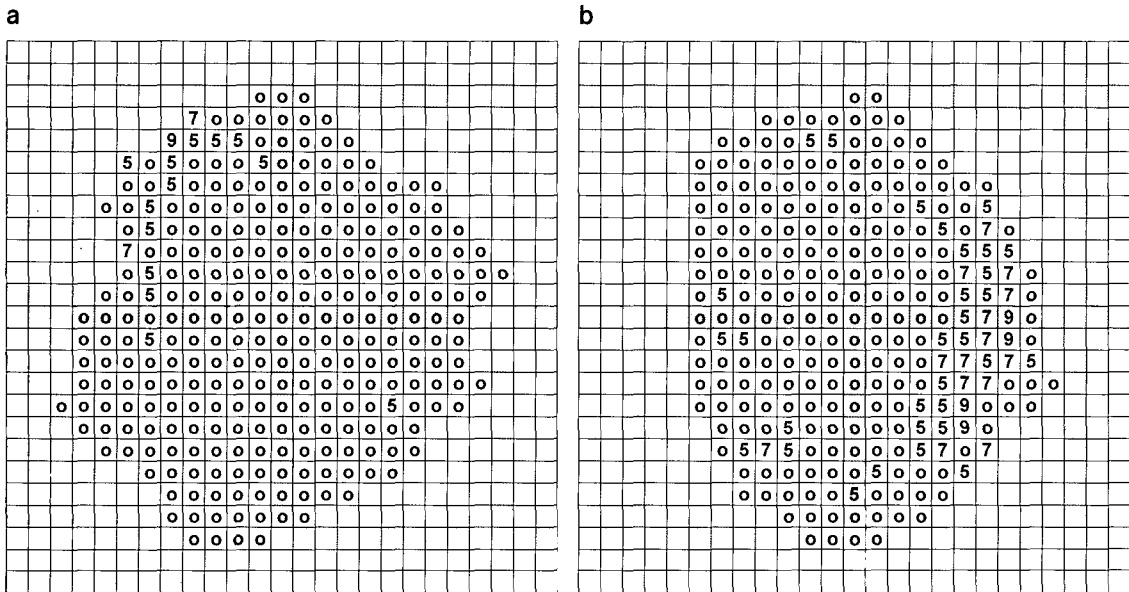


Fig. 8. The result of dose verification of dose distribution for patient A. (a) Result of using the acryl head and neck phantom. (b) Result of using plastic water phantom.

의 차이를 보였으며 B환자의 경우 물 등가 고체팬텀의 경우 -4.37% 두경부 팬텀의 경우 계획된 선량과 2.6%의 선량 차이를 보였다. 이는 절대 점 선량 측정 시 ±3%의 허용오차범위를 벗어나는 것으로 환자의 정도관리에 대한 신뢰도를 떨어뜨리는 요인이 된다. 이는 A환자의 경우 4번 조사면에 대한 방사선속의 방향이 테이블의 끝 모서리의 끝을 통해 들어오고 있으며 B환자의 경우 1번 조사면에 대한 방사선속이 테이블 끝 모서리를 통해 들어오고 있어 많은 선량 감쇠를 일으키기 때문이다.

실제 환자의 치료계획에 따른 정도관리 시 테이블 선량 감쇠 실험에서보다 선량의 차가 크게 나타나지 않은 것은 치료를 위해 방사선의 세기변조에 따른 조사면의 크기와 모양이 계속 변하면서 실제 선량이 측정되는 이온함피 놓이는 선속에서의 선량을 및 조사면의 모양에 따라 전체 처

방선량에 비해 적은 선량이 관여했기 때문으로 보인다.

Fig. 8은 컴퓨터에 의해 계산된 선량 분포와 필름에 의해 얻어진 선량 분포를 1 mm 간격으로 각각의 위치에서 점 선량을 비교한 것으로 5% 이상의 선량 차이가 나는 점에 대해 나타내고 있다. 숫자 5는 5% 이상 7% 미만의 선량차이를, 7은 7% 이상 9% 미만 9는 9% 이상의 선량 차이가 나는 점의 위치를 나타낸 것이다. Fig. 8(a)는 두경부 팬텀을 이용한 결과로 선량차이가 급격한 부분에 선량 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 8(b)는 오른쪽으로 넓은 부분에서 선량 차이나 나타나는 것을 볼 수 있으며 이는 테이블에 의한 선량 감쇠가 큰 작용을 한 것으로 본다. Table. 3에서도 A환자의 경우 물 등가 팬텀의 경우 전체 260개 점을 비교한 결과 49개(18.85%)의 지점에서 5%가 넘는 선량차이를 보였고 평균 2.8%의 선량 차이를 보였으며

또한 최대 11.03%의 선량차이가 나타났다. 반면 두경부 팬텀의 경우 전체 비교 점의 수는 증가한 반면 5% 이상의 선량 차이를 보이는 지점의 수도 줄어들고 평균 선량 차가 1.79%로 낮아진 것을 볼 수 있으며 최대 선량 차이도 10.74%로 낮아졌다. B환자의 경우도 같은 양상의 결과를 나타내고 있다.

결 론

두경부 종양의 IMRT치료를 위한 정도관리에서 환자의 치료환경과 같은 조건에서 정도관리가 이루어지도록 아크릴을 이용한 두경부 팬텀을 설계 제작하였다. 이를 이용하여 실제 치료계획 수립 시 고려되지 않는 환자테이블에 대한 선량 감쇠를 측정할 수 있었으며 정확한 정도관리에 영향을 줄 정도의 선량 감쇠가 측정되었다. 따라서 BrainLab사의 BrainScan과 같은 정도관리 시 테이블과 갠트리와 치료 시와 같이 회전하는 경우 테이블의 선량 감쇠에 대한 효과를 고려하여 정도관리를 수행 하거나 본 연구와 같은 두경부 전용 팬텀들을 개발하여 사용하는 것을 권고한다.

또 두경부 팬텀의 경우 육면체 모양의 일반 고체 팬텀에 비해 360° 방향에 대해 대칭적인 모양을 하고 있고 테이블의 감쇠에 영향을 받지 않으므로 앞으로 Dynamic Conformal Arc Therapy 등의 선량 측정 및 정도관리에 대한 연구에도 유용할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 국립암센터 기관고유연구사업 (0410310-2)으로 이루어진 것임.

참 고 문 헌

1. De Gersem W, Claus F, De Wagter C, et al: An anatomy-

based beam segmentation tool for intensity-modulated radiation therapy and its application to head and neck cancer. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 51:849-859 (2001)

2. Boyer AL, Geis P, Grant W, Carol M: Modulated beam conformal therapy for head and neck tumors. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 39:227-236 (1997)

3. IMRT Collaborative Working Group. Intensity modulated radiotherapy: Current status and issues of interest. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 51:880-914 (2001)

4. Ma L, Geise OB, Boyer AL: Quality assurance for dynamic multileaf collimator modulated fields using a fast beam imaging system. *Med Phys* 24:1213-1219 (1997)

5. Komaki R, Cox JD, Hartz AJ, et al: Characteristics of long-term survivors after treatment for inoperable carcinoma of the lung. *Am J Clin Oncol* 8:362-370 (1985)

6. Komaki R, Seiferheld W, Ettinger D, et al: Randomized phase II chemotherapy and radiotherapy trial for patients with locally advanced inoperable non-small-cell lung cancer: long-term follow-up of RTOG 92-04. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 53:548-557(2002)

7. Werner-Wasik M, Pequignot E, Leeper D, Hauck W, Curran W: Predictors of severe esophagitis include use of concurrent chemotherapy, but not the length of irradiated esophagus: a multivariate analysis of patients with lung cancer treated with nonoperative therapy. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 48:689-696 (2000)

8. Vieira SC, Kaatee RSJP, Dirkx MLP, et al: Two-dimensional measurement of photon beam attenuation by the treatment couch and immobilization devices using an electronic portal imaging device. *Med Phys* 30:2981-2987 (2003)

9. 박동현, 박 달, 박성용 등: 최적화알고리즘을 이용한 세기변조 방사선치료의 정량적인 정도관리. *한국의학물리학회 추계학술대회 초록집*. 2003, 서울 pp. 35-35

10. 신동호, 박동현, 김주영, 박성용: IMRT를 위한 3차원 선량확인에 관한 연구. *대한방사선종양학회지 추계학술대회 초록집*. 2004, 서울 pp. 68

11. 신동호, 박동현, 김주영 등: 최적화 알고리즘을 이용한 3차원 IMRT 정도관리. *한국의학물리학회 추계학술대회 초록집*. 2004, 서울 pp. 72-74

The Study on the Head and Neck Phantom for Quality Assurance of Intensity Modulated Radiotherapy

Dongho Shin, Sung-Yong Park, Joo Young Kim, Se Byeong Lee, Jung Keun Cho,
Dae Yong Kim, Kwan Ho Cho

Research Institute and Hospital, National Cancer Center

For the QA of IMRT treatment of head and neck cancer by using M3 (BrainLAB Inc. Germany), it is not easy to measure delivery dose exactly because the dose attenuation appears by the couch according to the position of table and gantry. In order to solve this problem, we fabricated head and neck phantom which would be implemented on the couch mount of Brain Lab Inc. We investigated dose attenuation by the couch and found the difference of dose distribution by the couch, in the applying this phantom to the clinic. After measurement, we found that point dose attenuation was 35% at maximum and dose difference was 5.4% for a point dose measurement of actual patient quality assurance plan.

Key Words : Intensity modulated radiotherapy, Head and neck phantom, Dose attenuation