

조직결손이 큰 환자에서 물 볼루스의 적용에 관한 고찰

연세대학교 의과대학 방사선종양학과

박효국 · 김주호 · 이상규 · 윤종원 · 조정희 · 김동욱

목 적: 전자선 조사야 내에서 조직결손이 큰 경우 일어나는 선량의 불균일도를 물 볼루스를 사용하여 감소시키고자 하였으며 이 때 물을 쉽게 제어할 수 있는 방법을 강구하였다.

대상 및 방법: 조직결손이 심하여 일반적인 볼루스를 사용할 수 없는 환자에 대하여 치료계획 장치(Pinnacle, Philips, USA)의 결손조직 보상 기능을 사용하여 이를 보상하는 치료계획을 수립하였다. 결손 된 조직 부분에 해당하는 조직 보상체는 물을 사용하기로 하였고, Mev-green을 환자 몸 위에서 만들어 물을 보다 쉽게 제어할 수 있는 장치를 제작하였다. 제작된 장치는 환자 개개인만의 체포 모양에 맞게 제작하였다. 물을 채운 비닐을 Mev-green 안쪽에 넣어 물이 결손 된 조직을 보상해주는 역할을 하도록 하였다. 자체 제작한 물 볼루스의 효과를 평가하기 위해 CT 스캔을 시행한 후 결손조직 보상 기능을 이용하여 물 볼루스 사용전후의 치료계획을 수립하여 그 결과를 비교하였다.

결 과: 흉벽 조직결손으로 인해 생긴 선량의 불균일도는 자체 제작한 물 볼루스 사용 시 감소하였고, 또한 폐와 간의 정상조직의 선량 역시 감소하였다. 볼루스를 사용하지 않은 경우 최대 표적선량이 132%였으나 물 볼루스 사용 시는 최대 표적선량이 110.4%로 21.6%가 감소하였다. 그리고 우측 폐에 들어가는 선량이 볼루스를 사용하지 않은 경우 19.49%에서 물 볼루스를 사용한 경우 1.02%로 줄었고 간에서는 볼루스를 사용하지 않은 경우 17.1%에서 물 볼루스 사용으로 인해 6.8%로 감소하여 정상조직을 보호할 수 있었다.

결 론: 자체 제작한 물 볼루스 장치를 사용한 결과 PTV 내에서 선량의 균일도가 향상됨을 확인할 수 있었고, 인접장기 선량의 현저한 감소로 정상조직을 더 많이 보호할 수 있었다. 이 방법은 불균등한 체표에서의 전자선 치료 시 발생할 수 있는 정상조직의 부작용을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

핵심용어: 조직결손, 물 볼루스 장치, 전자선 치료

서 론

천재성(superficial depth) 병소를 치료하기 위한 전자선 치료의 장점은 제한된 깊이에서 고선량을 조사할 수 있고, 전자선 에너지에 따라 유효한 선량 영역 이하에서 급격한 선량 감소로 인해 다른 정상장기를 보호할 수 있다는 것이다.¹⁾ 그러나 이러한 고 선량 영역에서 선량 분포의 양상은 입사되는 체포 윤곽의 형태와 전자선 조사 방향에 따라 큰 차이를 나타내고, 그 중 병소와 병소 주변 체포 윤곽의 급격한 변화, 혹은 수술로 인한 병소 주변의 조직 결손 등은 고 선량 영역 내의 불균일한 선량분포를 야기하며 그로 인한 정상조직의 고 선량 지점이 증가함으로써 방사선으로 인한 합병증을 유발할 수 있다.^{2,3)} 불균일한 선량 분포를 감소시키기 위한 일

반적인 방법은 상품화된 조직 등가물질인 볼루스를 사용하는 것으로 대부분의 상품화된 볼루스는 1~2 cm의 두께로 체포 불균등 정도가 심하지 않은 천재성 병소를 가진 환자의 경우에 사용한다.^{4,7)} 그러나 방사선 치료 전 수술 등으로 인해 체포 윤곽 등이 심하게 변형된 경우 상품화된 일반적인 볼루스를 사용하는 것은 치료 부위와 볼루스 물질과의 이격(air gap) 등으로 인해 계획된 선량과 주어진 선량 간의 차이를 유발할 수 있다.

ICRU는 빔의 감약이나 선량보강(build-up) 또는 부가적인 산란선을 제공하기 위해 조사되는 범위에 놓인 조직등가물질로 볼루스를 정의하였고 볼루스 물질의 특성은 조직과 등가의 선량흡수와 산란특성을 가져 선량 감약이 비슷하여야 하며 피부윤곽에 맞도록 적절히 구부러질 수 있어야 하고 독성이 없고 청결유지가 쉬어야 할 것 등을 권고하고 있다.^{4,8-9)} 그 중 물은 조직과 가장 비슷한 물질이며¹¹⁾ 유동적인 형태로 인해 급격한 체포 윤곽의 불균등함을 가진 환자의 해부학적 구조에 맞는 보상체로서 사용하기에 이상적이라고 알려져

이 논문은 2006년 5월 20일 접수하여 2006년 7월 20일 채택되었음.
책임저자 : 김주호, 연세대학교 의과대학 방사선종양학과
Tel: 02)2228-8087, Fax: 02)365-1792
E-mail: parkhyokuk@yumc.yonsei.ac.kr

있다. 그러나 물은 형태를 일정 하게 유지할 수 없다는 단점으로 인해 조직 보상 물질로 흔히 사용되지는 않는 실정이다.⁶⁾

이에 본 연구에서는 조직 결손이 심한 환자를 대상으로 하는 전자선 치료 시 전자선 조사 영역의 깊이를 일정 하게 할 수 있는 물 볼루스를 제작하였고, 전산화 단층 촬영 영상을

이용한 치료 계획을 통해 유용성을 평가함으로써 방사선 치료 전 수술로 인한 불균등한 체표 윤곽을 동반한 환자, 혹은 단기적인 조사만으로도 급격한 종양 크기의 감소를 보이는 환자에게 전자선 치료 시 물 볼루스의 사용을 제안하고자 하였다.

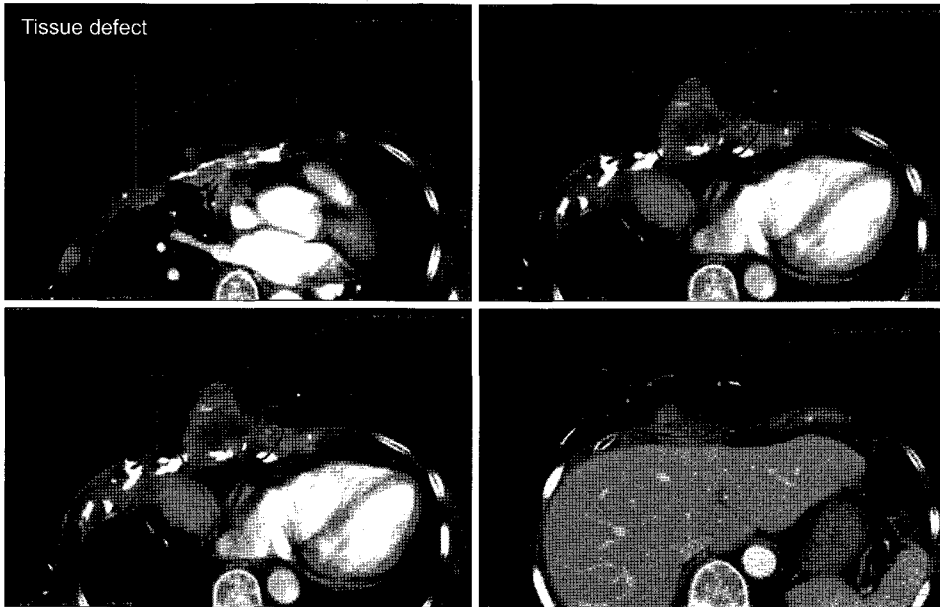


Fig. 1. CT images of a recurrent breast cancer patient with surface defect.

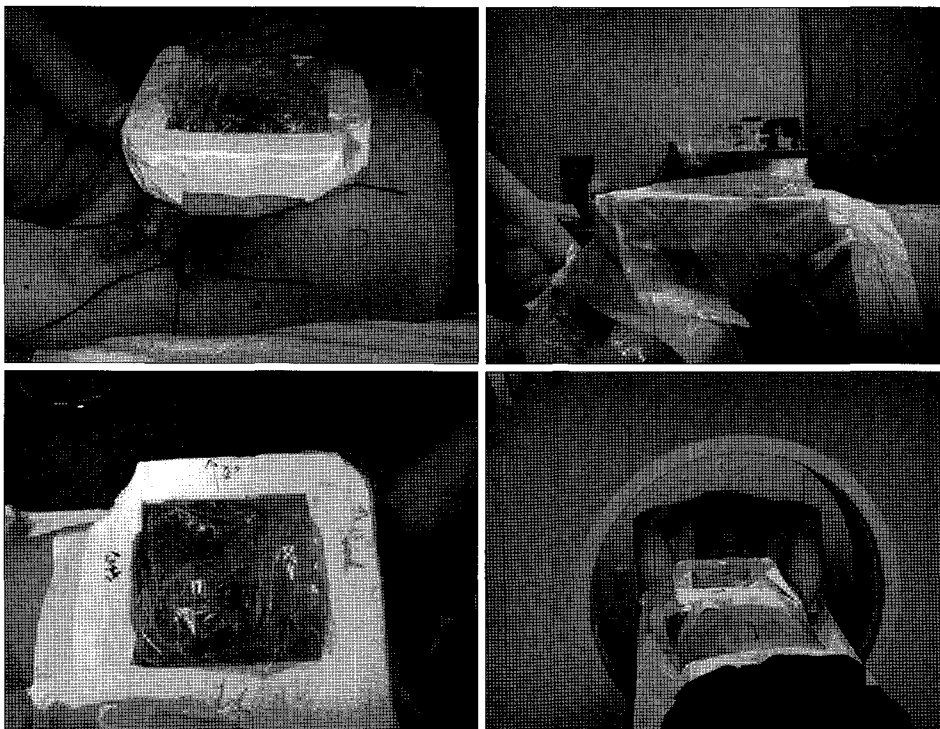


Fig. 2. Photographs of patient setup. A YUMC ARM-HORDER system is used to immobilize the patient's arm. The water bolus was applied on the surface defect site.

대상 및 방법

1. 대상 환자

유방암을 주소로 내원한 환자 중 절제 수술 후 방사선 치료(유방 부위에 59.4 Gy 조사)를 받았으나 급격한 종양크기의 증가로 재발되어 다시 치료 의뢰된 환자를 대상으로 하였다. 환자는 종양 절제 후 조직 결손이 심하고, 재발된 종양으로 인해 체표윤곽이 불균등하였다. 체표 윤곽의 두께는 뒤쪽 흉곽을 기준으로 1.2~8 cm까지 차이를 나타내었고 종양의 뒤로 폐와 간, 심장의 일부와 인접하고 있었다(Fig. 1).

2. 조직 보상체 제작 및 치료계획용 컴퓨터 단층촬영

환자의 정면에서 치료부위를 설정하고 치료 부위에서의 체표 윤곽을 고정용 스티로폼(Mev-green)을 이용하여 요철을 형성 할 수 있도록 틀을 만들었다. 만들어진 틀의 상부는 체표 윤곽 중 가장 두꺼운 부위를 기준으로 평평하게 깎아서 일정한 SSD (source to surface distant)를 유지 하도록 하였고 하부는 환자의 체표 윤곽과 반대로 동일하도록 하여 밀착이 잘 되도록 제작하였다.

틀의 안쪽을 전자선 조사통(cone)의 크기와 조사 면적을 고려하여 잘라 낸 후 안쪽 면에 조직 결손만큼 물을 채울 수 있도록 폴리에틸렌 비닐(polyethylene vinyl)에 물을 채워 잘

라낸 틀의 안쪽으로 집어넣고 물의 상부 수평면이 틀의 상부와 일치 하도록 하였다. Mev-green 틀을 사용한 조직 보상체의 제작시간은 약 25분가량 소요되었다. 물을 이용한 조직 보상체를 제작한 후 밴드로 틀이 움직이지 않도록 환자 몸에 고정된 후 동일한 자세로 치료계획용 컴퓨터단층촬영을 시행하였다. 컴퓨터 단층 촬영은 PQ 5000 (Philips, Netherlands)을 이용하여 치료범위의 기준점과 위, 아래, 양 옆 네 방향의 기준선을 환자 몸에 표시한 후 5 mm 영상을 획득하였고, 치료 계획은 Pinnacle 6.2b (ADAC, USA) 를 이용하여 16 MeV 전자선 1분 조사(SSD 100 cm)로 치료 계획하였다 (Fig. 2). 아울러 Mev-green을 이용한 물 볼루스틀의 제작상 불편함을 개선하기위해 변형된 물 볼루스 장치를 제작하여 그 효용성을 비교하였다.

3. 분석방법

환자에게서 얻어진 전산화단층촬영 영상은 치료계획 장비를 이용해 치료계획을 수립하였고, 물 볼루스 사용 유, 무에 따른 선량 분포를 비교 분석하였다. 두 경우 모두 병소 부위에 목적 선량의 90% 이상이 조사되도록 치료 계획한 후, 각각의 경우에서 등선량 곡선의 분포를 비교하였고, 선량 체적 히스토그램 DVH (Dose-volume histogram, DVH)과 병소 부위에서의 선량 균질성을 HI (homogeneity index)와 DHI

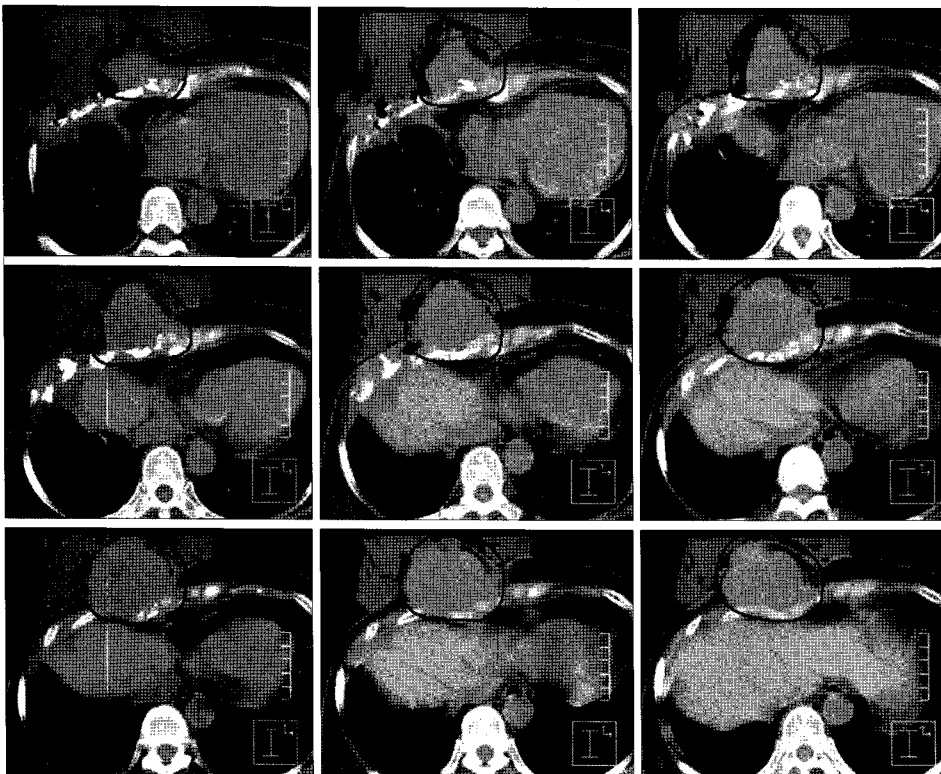


Fig. 3. The water bolus fit in the irregular contour.



Fig. 4. Isodose distributions of missing tissue option for a recurrent breast cancer patient with surface defect (A), isodose distributions without the water bolus (B), isodose distributions with the water bolus (C)

(dose homogeneity index)를 이용하여 비교하였다. 또한, 병소 부위와 인접한 간(liver)과 폐(lung)에 조사되는 선량을 DVH를 이용하여 최대 선량값과 V50% (치방선량 50% 이상의 선량이 조사되는 체적), V20%을 비교하였다(식 1, 2).

$$HI \text{ (homogeneity index)} = D_{\max} / D_{\text{prescription}} \text{ -----식 1}$$

$$DHI \text{ (dose homogeneity index)} = \text{minimum dose of 'hottest' 10\% volume / dose received by 90\% volume -----식 2}$$

결 과

1. 물 볼루스 사용 유무에 따른 등선량 곡선 분포 비교

전산화 단층 촬영에서 얻어진 영상에서 물 볼루스는 환자의 불균등한 체표 윤곽을 따라 적절히 밀착되어 있는 영상을 확인할 수 있었고 물 볼루스의 상부는 동일한 초점-피부간 거리(SSD)를 유지하였다(Fig. 3). 물 볼루스를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 각각에 대해서 환자의 횡단면과 시상면을 이동하면서 등선량 곡선의 분포 형태를 관찰하였다. 물 볼루스를 사용한 경우 병소의 표적체적에는 적절한 방사선 선량분포를 얻으면서 동시에 폐나 간과 같은 정상 장기에는 방사선조사를 최소화 시키는 이상적인 분포를 관찰할 수 있었고 처방선량의 90% 등선량 곡선이 병소 표적의 바깥쪽 경계(PTV)를 따라 일치하여 만족할 만한 등선량 곡선 분포를 보였으나, 물 볼루스를 사용하지 않은 경우 90% 이상의 등선량 곡선이 전방 흉막 부위를 지나 폐와 간의 실질 부위에 깊이 걸쳐있었고, 조직 결손으로 인해 조사된 최대 선량 점도 정상 장기에 위치하고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 4).

2. 선량체적히스토그램 및 선량통계

물 볼루스의 사용 유, 무에 따른 병소 표적내의 선량 분포는 물 볼루스를 사용한 경우 최대 선량은 목적선량의 110.4%

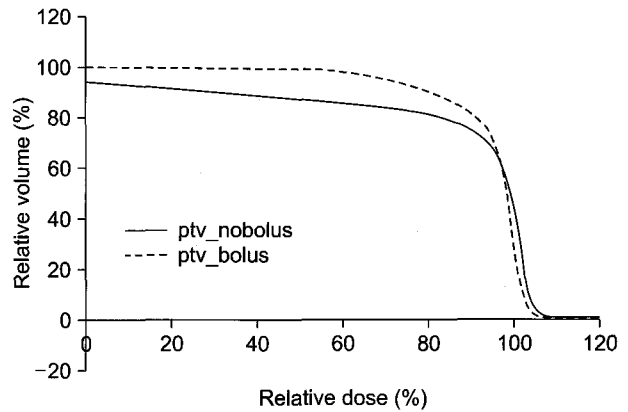


Fig. 5. The comparison of DVH (dose volume histogram) between with and without water bolus.

Table 1. Dose statistics of the PTV

	D _{max} (%)	V ₉₀ (%)	HI	DHI
No bolus	132	74.6	1.32	3.6
Bolus	110	81.7	1.1	1.27

Prescribed dose: 500 cGy

로 나타남으로써 사용하지 않은 경우의 132%보다 약 20%가 감소하였다. 또한 목적선량이 포함하는 체적인 V₉₀ (%)은 물 볼루스를 사용하지 않은 경우 74.6%, 사용한 경우 81.7%로 물 볼루스를 사용한 경우가 7.1%의 증가를 보였고, 선량 균일도를 나타내는 DHI 또한 물 볼루스를 사용하지 않은 경우 3.6에서 사용한 경우 1.27로 향상되어 물 볼루스를 사용하는 것이 병소 표적내의 선량분포는 보다 균일하게 형성 되는 것을 알 수 있었다(Fig. 5)(Table 1).

근접한 정상 조직에 대한 선량 체적 히스토그램을 비교한 결과 물 볼루스를 사용한 경우 간에서의 선량은 V_{50%}는 4.6%

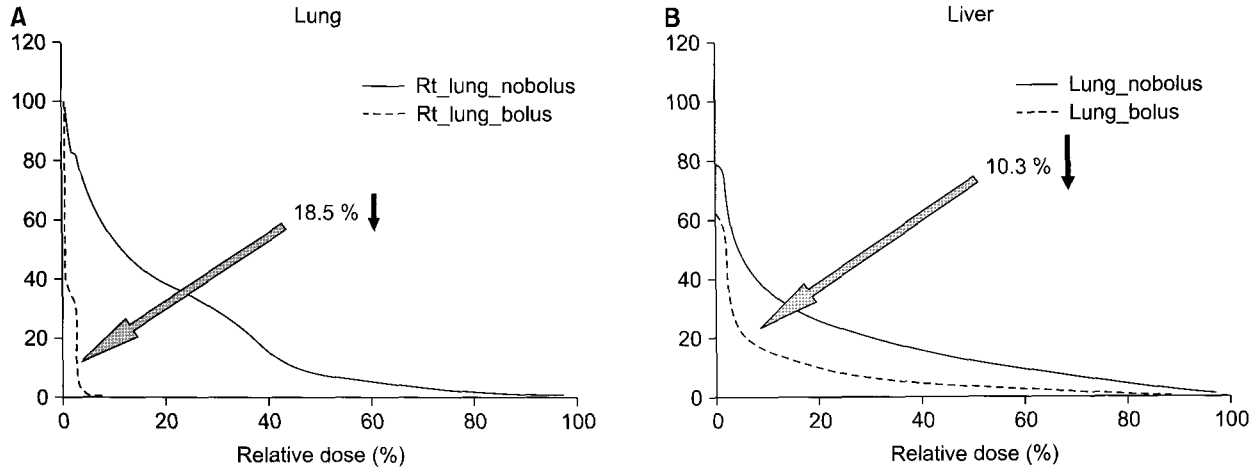


Fig. 6. The DVH (dose volume histogram) for normal organ.

Table 2. Dose Statistics of the lung and liver

	Lung (%)	Liver (%)
No bolus	19.5	17.1
Bolus	1	6.8

Prescribed dose: 500 cGy

에서 2.3%, $V_{20\%}$ 는 30.8%에서 6.4%로 감소하였고, 폐의 경우 $V_{50\%}$ 는 11.2%에서 0.0023%, $V_{20\%}$ 는 37%에서 2.5%로 감소하여 물 볼루스를 사용한 경우 정상 조직에 조사되는 선량을 크게 감소 시켰다(Fig. 6)(Table 2).

3. 변형된 물 볼루스 장치의 적용

체표 윤곽이 각기 다른 환자에게 매번 고정용 스티로폼 (Mev-green)을 이용하여 틀을 만드는 것은 번거로운 업무를 연장시키기 때문에 새로운 물 볼루스 장치를 제작하였다. Mev-green으로 틀을 만들 경우 위쪽을 평평하게 깎아내고, 안쪽을 잘라내는 번거로움이 있었으나, 새로운 장치는 여러 개의 편 조작으로 나누어 상하로 움직일 수 있도록 제작하여 환자의 조사 부위를 포함하도록 하고 가볍게 눌러 줌으로써 환자의 체표 윤곽과 동일한 형태를 만드는데 용이하도록 하였다(Fig. 7). 새로운 물 볼루스 장치는 불균일한 환자 체표에 놓고 가볍게 눌러주어 장치를 고정하고, 장치의 안쪽으로 물이 담긴 비닐을 넣어 주기만 하면 되므로 Mev-green으로 틀을 제작하는 시간이 약 25분 정도인 것에 반해 변형된 장치를 사용 시 약 3분정도 소요 되어 업무시간의 단축뿐만 아니라 업무효율성도 극대화 시킬 수 있었다.

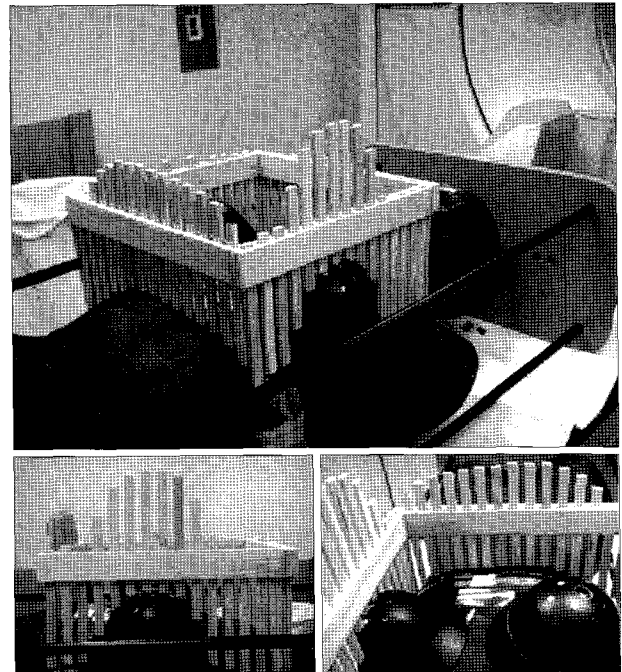


Fig. 7. The new device for water bolus.

고찰 및 결론

물은 밀도가 신체 조직과 거의 동일한 조직 등가 물질로 조직 보상체로서 가장 적합한 물질이다. 그러나 조직 보상체로 제작 시 형태를 유지하기 어려워 재현성에 문제가 있는 반면 통상적으로 사용되는 고형의 조직 보상체 등은 형태를 만들기 쉽고 재현이 용이한 장점은 있으나, 환자의 체표 윤곽이 불균일한 경우 상당히 많은 이격(air gap)을 동반하는

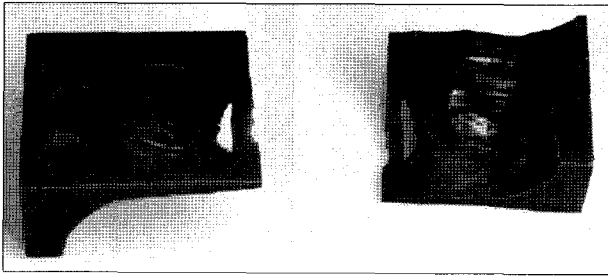


Fig. 8. The custom 3D electron bolus.

경우가 많으며 본 연구의 대상 환자와 같이 조직 결손이 심하여 조직 보상체의 두께가 두꺼워질 경우 신체조직과의 적은 밀도의 차이로 인해 유의한 선량 오차를 나타낼 수 있다. William H. 등은 내이도(ear canal) 내의 불균직한 체표에서 물을 사용하여 조직 보상체 역할을 하게 함으로써 내이도 내에서 균일한 선량분포를 구할 수 있었다고 보고한 바와 같이¹⁰⁾ 본 연구 또한 조직 보상체로서 가장 좋은 물질인 물을 사용하여 고품의 조직 보상체가 갖는 단점인 선량적 오차를 줄이고, 재현이 용이한 장점을 유지함으로써 보다 치료 목적에 적합한 결과를 얻고자 하였다. 비록 본 연구에서는 대상 환자수가 제한적이었으나, 3차원 치료 계획 장치에서 구현되는 결손조직 보상 기능을 사용했을 경우와 거의 유사한 선량 분포를 보여 줌으로써 다른 환자에게 적용 시 큰 차이를 나타내지 않을 것으로 사료되며 다만 조직 보상체로서 물을 사용할 때, 조직 보상체의 상부가 평평한 상태임을 감안하여 피부 내부로 불균일한 표적에 대해선 적용이 어려울 것으로 사료된다. 또한 물 볼루스를 사용한 경우 결손조직 보상을 치료 계획과 달리 물이 담긴 비닐과 조직 간의 이격(air gap)이 다소 보임으로써 병소 표적 내에 처방 선량보다 높은 영역에서 불균등한 선량 분포가 생기는 것을 확인할 수 있었으나 이는 물을 담은 비닐이 접히면서 그 사이에 생기는 것으로 생각되는데, 이러한 이격(air gap)을 없애기 위해서는 좀 더 부드러운 재질의 비닐을 사용하거나, 분가루 등을 발라서 체표와 비닐의 밀착력을 높이는 것도 방법이 될 수 있을 것이다.

조직결손부분을 보상하기 위해 자동으로 체표 윤곽에 맞게 볼루스를 제작할 수 있는 상품화 된 시스템^{1,11-13} 또한 소개 되어진 바는 있으나 이는 고가의 가격일 뿐만 아니라 볼루스 하나를 만들어 내는데 수 시간 이상이 걸린다. 따라서 적은 선량에도 민감하게 반응하는 병소를 가진 환자에게 임상적으로 적용하기엔 효율이 떨어지며 반면 물 볼루스를 이용할 경우 매 치료 시마다 동일한 치료 두께를 유지할 수 있

으므로 정상 조직을 보호하는 데 더욱 효과적이라 사료 된다 (Fig. 8).

주위 체표 윤곽이 불균등하고, 조직결손이 큰 병변이 있는 환자에 있어 전자선을 이용한 방사선 치료 시 두께의 차이를 보상하는 조직보상체인 물 볼루스의 유용성을 확인하고자 한 본 연구에서 물 볼루스를 사용하지 않은 경우에 비해 물 볼루스를 사용한 경우 병변 표적은 균일한 목적 선량을 조사할 수 있을 뿐만 아니라 주변 정상 조직의 조사되는 체적을 감소시키는 데 효과적이었다. 또한 자체 제작한 물 볼루스 장치는 개개의 환자마다 조직 보상체를 제작 하는 시간이 짧고, 손쉽게 다룰 수 있으며, 우수한 재현성을 유지함으로써 효율적인 도구이다.

따라서 방사선 치료 전 수술로 인한 불균등한 체표 윤곽을 동반한 환자나 단기적인 조사만으로도 급격한 종양 크기의 감소를 보이는 환자에게 전자선 치료 시 물 볼루스의 사용은 유효하리라 사료된다.

참고문헌

1. Kudchadker RJ, Antolak JA, Morrison WH, et al.: Utilization of custom electron bolus in head and neck radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys* 2003;4:321-333
2. Hogstrom KR: Dosimetry of electron heterogeneities. In: Wright A, Boyer A, eds. *Advances in Radiation Therapy Treatment Planning*, AAPM Monograph No.9. 1st ed. New York: American Institute of Physics, 1983:223-243
3. Hogstrom KR: Treatment planning in electron beam therapy. In: Vaeth JM, Meyer JL, eds. *Frontiers of Radiation Therapy and Oncology*. 1st ed. New York: Karger Publishers, 1991: 30-52
4. Moyer RF, McElroy WR, O'Brien JE, et al.: A surface bolus material for high-energy photon and electron therapy. *Radiology* 1983;146:531-532
5. Robinson DM, Scrimger JW: An analytic approach to optimized retracted missing tissue compensators. *Med Dosim* 1990; 15:51-59
6. Prasad SC, Bedwinek JM, Gerber RL: Lung dose in electron beam therapy of chest wall. *Acta Radiol Oncol* 1983; 22: 91-95
7. Dubois D, Bice W, Bradford B, et al.: Moldable tissue equivalent bolus for high-energy photon and electron therapy. *Med Phys* 1996;23:1547-1549
8. Moyer RF, McElroy WR, O'Brien JE, et al.: A surface bolus material for high-energy photon and electron therapy. *Radiology* 1983;146:531-532.
9. White DR.: Tissue substitutes in experimental radiation physics. *Med Phys* 1985;5:467-479.
10. Morrison WH, Wong PF, Starkschall G, et al.: Water bolus for electron irradiation of the ear canal. *Int J Radiat Oncol Biol*

- Phys 1995;33:479-483
11. Kudchadker RJ, Hogstrom KR, Garden AS, et al.: Electron conformal radiotherapy using bolus and intensity modulation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2002;53:1023-1037
 12. George H. Perkins, Marsha D. McNeese, et al.: A custom three-dimensional electron bolus technique for optimization of postmastectomy irradiation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2001;51:1142-1151
 13. Podgorsak EB: Clinical treatment planning in external photon beam radiotherapy, In: Podgorsak, eds. *Radiation Oncology Physics*. 1st ed. Vienna: IAEA Publication, 2005;248-249

Abstract

Implementation of Water Bolus in Patient with Large Tissue Defect

Hyo Kuk Park, Joo Ho Kim, Sang Kyu Lee, Jong Won Yoon, Jeong Hee Cho, Dong Wook Kim

Department of Radiation Oncology, Yonsei University College of Medicine, Yonsei Cancer Center, Seoul, Korea

Purpose: To demonstrate that water bolus in the patient surface can decrease the dose inhomogeneity by patient surface large tissue defect when the surface is in an electron-beam field. And We tried to find a easy way to water control.

Methods and Materials: To demonstrate the use of water bolus in the irregular surface clinically, the case of a patient with myxofibrosarcoma of the chest wall who was treated with electrons. We obtained dose distribution using missing tissue option of PINACLE 6.2b (ADAC, USA). We fabricate a Mev-green for water bolus in patient with defect of tissue. Then put the water bolus which is vinyl packed water into the designed Mev-green. We performed CT scan with CT-simulator. Three-dimensional (3D) dose distributions with and without water bolus in the large irregular chest wall were calculated for a representative patient. Resulting dose distributions and dose-volume histograms of water bolus were compared with missing tissue option and non bolus plans. We fabricate a new water control device .

Results: Controlled Water bolus markedly decrease the dose heterogeneity, and minimizes normal tissue exposure caused by the surface irregularities of the chest wall mass. In the test case, The non bolus plan has a maximum target dose of 132%. After applying water bolus, the maximum target dose has been reduced substantially to 110.4%.The maximum target dose was reduced by 21.6% using this technique.

Conclusion: The results showed that controlled water bolus could significantly improve the dose homogeneity in the PTV for patients treated with electron therapy using water control device. This technique may reduce the incidence of normal organ complications that occur after electron-beam therapy in irregular surface. And our new device shows handiness of water control.

Key words: water bolus device, electron therapy