

액체 차폐물을 이용한 강도변조방사선치료의 구현

경북대학교 의과대학 방사선종양학교실, *전북대학교 치료방사선과
 †단국대학교 치료방사선과 ‡충남대학교 치료방사선과

오영기, 김진기*, 신교철†, 김기환‡, 윤상모, 김재철, 박인규

3차원적인 타겟 모양을 축소 제작하여 액체 차폐물 속에 넣고 이를 방사선의 경로상에 장착하여 갠트리가 회전하더라도 제작된 타겟의 원래의 방향이 변하지 않도록 중력방향에 따라 회전하게 함으로써 액체 차폐물(수은)의 두께차에 의해 방사선의 강도를 변화시키는 물론 다엽콜리메터를 쓰지 않고도 갠트리 방향의 변화에 따른 방사선조사야의 모양이 자동적으로 이루어지도록 하는 방법을 개발하였다. 갠트리 0°, 45°, 90° 에서 5cm의 깊이에 필름을 두고 강도변화를 측정된 결과 갠트리가 회전함에 따라 실제 타겟의 3차원적 모양에 따른 강도 변화가 이루어지고 있음을 볼 수 있었다. 이는 외부에서 어떤 영향을 가하지 않고 갠트리 방향만 회전함에 따른 결과로 아크릴 삽입체의 방향이나 위치가 항상 일정하게 유지되고 있고, 그에 따라 방사선의 강도변화가 자동적으로 수행되고 있음을 보여주었다. 직경 25cm 아크릴 팬텀 내에 필름을 넣고 0° 에서부터 45° 간격으로 등선량으로 8문 조사를 한 결과 타겟의 isocenter에 선량을 100%로 할 경우 80% 영역이 타겟을 적절히 감싸고 있음을 볼 수 있었다. 차후 최적화된 선량계획 시스템을 이용할 경우 지금의 선량분포 보다 타겟모양에 더욱 정확한 분포를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

중심단어: 강도변조방사선치료, 액체차폐물

서 론

강도변조방사선치료(Intensity-modulated radiation therapy : IMRT)는 타겟에는 고선량, 중요장기에는 저선량의 방사선 조사가 이루어지도록 방사선의 강도를 임의로 조절하는 방법이다. 타겟을 중요장기와 분리하기 어렵거나 타겟이 그 중요장기를 감싸고 있는 경우, 또는 일반적인 방사선의 조사로는 타겟과 중요장기와의 선량분포 차이가 만족스럽지 못한 경우에 IMRT는 보다 적절한 방사선치료 방법일 수 있다.¹⁾ IMRT의 기본개념은 단순히 치료조사야 내에서 강도가 변하는 방사선을 타겟에 조사함으로써 비록 타겟이 불규칙한 모양을 형성하고 있다하더라도 타겟주위에는 저선량, 타겟에는 균등하게 고선량이 되도록 하는 것이다. 따라서, IMRT를 실현하기 위해서는 공간적으로 강도분포가 다른 방사선을 조사할 수 있는 장치와 방사선을 이용하여 치료계획을 수행할 수 있는 방사선치료계획 시스템이 갖추어져야 한다.

초기에는 방사선의 경로에 두께가 다른 차폐물을

삽입함으로써 방사선의 투과량을 변화시키는 방법이 이용되었다. 이론적으로는 차폐물의 두께가 연속적으로 변하므로 인하여 높은 분해능을 갖게 되지만 실제적으로는 여러 조사방향에 따라 각각의 두께가 다른 차폐물을 제작하기가 어려운 단점을 안고 있다. 현재 주로 사용되고 있는 IMRT의 방사선조사 방법은 다엽콜리메터를 이용한 sweeping gap 방법²⁻⁴⁾ 이나 overlap 방법^{5,6)} 또는 arc치료방법⁷⁾ 이다. 이러한 방법들은 타겟 모양에 따른 조사야의 모양을 쉽게 구현할 수 있도록 다엽콜리메터를 장착하고 있다. 그러나, 다엽콜리메터를 장착하는 데에 따른 비용부담이 크고 복잡한 치료계획 및 긴 소요 시간과 인력을 필요로 한다. 따라서, 초기의 차폐물 삽입방법의 저비용 효과와 조사야 모양을 쉽게 이룰 수 있는 다엽콜리메터를 이용하는 방법의 장점을 모으고 단점을 제거한 방법으로 IMRT를 수행할 수 있다면 더욱 폭넓은 임상적 효과를 얻을 수 있을 것이다.

이러한 목적으로 본 연구에서는 3차원적인 타겟 모양을 축소 제작하여 액체 차폐물 속에 넣고 이를 방사선의 경로상에 장착하여 갠트리가 회전하더라도 제작된 타겟의 원래의 방향이 변하지 않도록 중력방향

에 따라 회전하게 함으로써 액체 차폐물의 두께차에 의한 방사선의 강도를 변화시키는 물론 다엽콜리메터를 쓰지 않고도 갠트리 방향의 변화에 따른 방사선조사야의 모양이 자동적으로 이루어지도록 하는 방법을 개발하였고 그 신뢰성을 검토하였다.

재료 및 방법

본 연구에서 실험제작한 아크릴 삽입체의 3차원적 모양은 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 길이와 폭을 4cm로 하고 “C”자 모양으로 만들었으며 한쪽을 3cm, 다른 쪽은 2cm로 하여 방사선 조사시 선량의 차이를 쉽게 구분할 수 있도록 하였고, 내부와 한쪽 모서리 부분을 곡면으로 처리하여 선량분포의 연속성을 볼 수 있게 함으로서 MLC와 구별될 수 있게 하였다. isocenter 위치와 일치하도록 중심을 지나는 회전축을 만들고 그 가장자리에 부력판을 달아 수은속에서 부력을 받아 항상 중력의 반대방향으로 향할 수 있도록 함으로서 갠트리가 회전하더라도 실제 환자의 타겟방향과 같은방향을 유지할 수 하였다. 또한, 두 타겟을 동시에 조사하는 경우를 가정하여 중심에서 2cm 떨어진 위치에 길이 2cm, 직경 1cm의 원통형 타겟을 동시에 부착하였다. 이를 Fig. 2와 같이 8cm x 8cm x 8cm 의 수은으로 된 액체 차폐통 속에 집어넣고 그 아크릴 삽입체의 중심축이 회전될 수 있도록 하고 이 수은 차폐통을 트레이에 강력부착하여 그 중심이 선원으로부터 50cm가 되도록 고안하였다. 따라서, 실제 타겟은 이 아크릴 삽입체의 두배의 크기로 isocenter에 위치하고 있다고 가정한 것이다. 빔이 액체 차폐물을 지나면서 아크릴 삽입체의 3차원적 모양에 따라 수은의 두께가 다름으로 인해 방사선의 투과 정도가 달라지게 되고 방사선의 강도가 실제 표적의 모양에 따라 변조되도록 하였다. 수은은 원자번호가 70으로 납(76)과 큰 차이가 없어 방사선 차폐효과가 크며, 상온에서 액체상을 유지하고 있어 아크릴 삽입체의 임의의 모양에 따라 그 두께가 쉽게 달라질 수 있으므로 액체 차폐체로 사용하기에 적절한 물질로 생각하였다.

방사선의 경로상에 본 연구에서 사용된 두께 8cm 의 수은 차폐물이 놓여 있는 경우, 그 강도는

$$I = I_0 e^{-(\mu_{H_2O}(8-x) + \mu_{A}(x))} \tag{1}$$

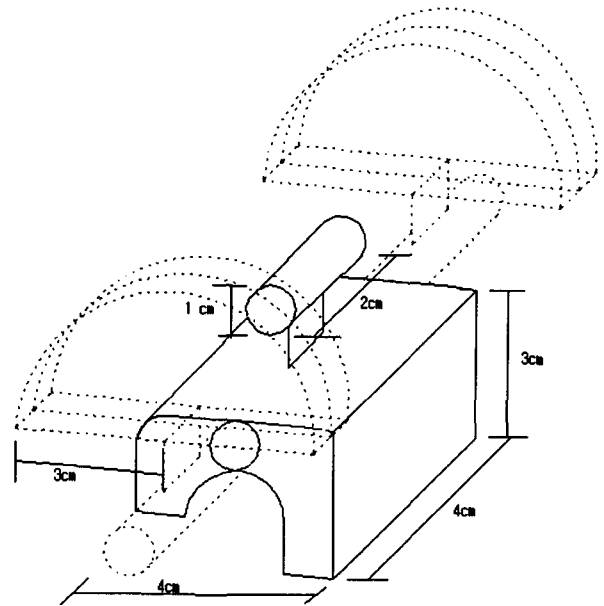


Fig. 1. A model imitated the 3-dimensional target volume. The dot line is shown the plate for buoyancy.

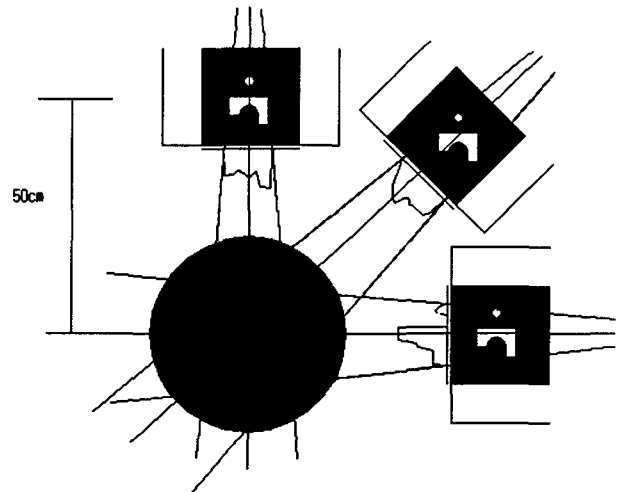
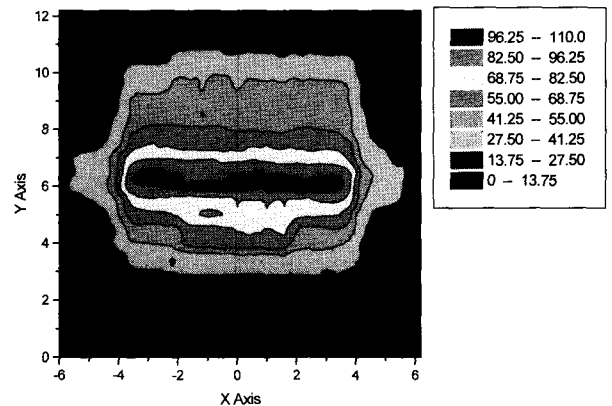


Fig. 2. The new method for IMRT. The green circle is 25cm-diameter cylindrical phantom, red one is target, blue one is the liquid shielding material box attached to the tray.

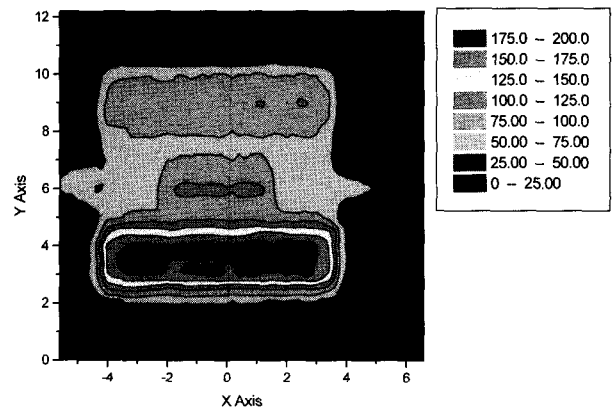
로 간단히 표현할 수 있다. 여기서, I_0 는 차폐물이 없는 경우의 강도, x 는 아크릴 삽입체의 방사선 경로상의 두께, μ_A 와 μ_{Hg} 는 각각 아크릴과 수은의 길이감쇄계수이다. 따라서 갠트리가 회전함에도 불구하고 아크릴 삽입체가 항상 일정한 방향으로 유지되면 방사선 경로상의 아크릴 삽입체의 두께 x 가 변하게 되고 그에 따라 방사선의 강도가 달라지게 된다. 갠트리의 회전에 따라 아크릴 삽입체의 모양에 맞게 실제로 방사선의 강도변화가 이루어지는지를 10MV X-선으로 0° , 45° , 90° 의 경우에 대한 강도분포를 필름을 이용하여 측정하여 확인하였다. 또한 Fig. 2에서와 같은 방법으로 필름을 삽입한 직경 25cm의 원형 아크릴 팬텀을 isocenter 위치에 두고 SAD방법으로 8문조사를 시행하여 그 선량분포를 측정함으로써 실제로 IMRT를 구현할 수 있는지를 확인하였다. 이 때, 본 실험에서는 각 방향의 방사선 조사시 isocenter 위치에 동일한 선량이 되도록 MU를 결정하였다.

결과 및 논의

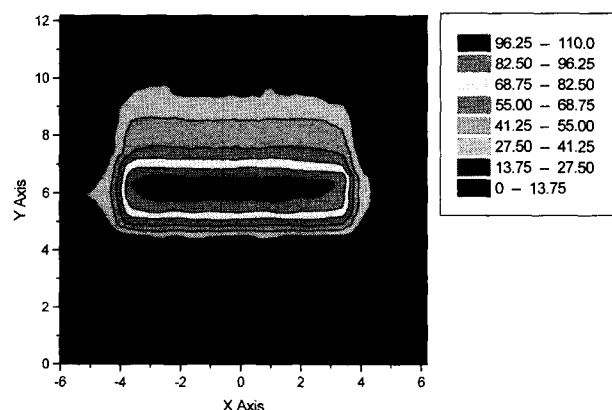
3차원 액체 차폐물을 사용하여 방사선을 조사한 경우, 중심축을 지나 isocenter를 지나는 방사선의 중심선에 기준을 두고 갠트리 0° , 45° , 90° 에서 5cm의 깊이 에 필름을 두고 강도변화를 측정하였다. 갠트리가 회전함에 따라 액체 차폐물인 수은과 아크릴 삽입체의 두께가 달라지기 때문에 식 (1)과 같이 실제 타겟의 3차원적 모양에 따른 강도 변화가 이루어지고 있음을 Fig. 3에서 볼 수 있다. 이는 외부에서 어떤 영향을 가하지 않고 갠트리 방향만 회전함에 따른 결과로 아크릴 삽입체의 방향이나 위치가 항상 일정하게 유지되고 있고, 그에 따라 방사선의 강도변화가 자동적으로 수행됨을 보여주는 것이다. 각 갠트리 방향에 대한 2차원적 선량분포(Fig. 4)를 보면 뚜렷하게 강도변화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 수은의 차폐효과를 보기 위해 방사선 조사야를 12cm x 12cm으로 하였기 때문에 타겟의 양 바깥영역은 8cm 두께의 수은을 통과한 방사선량을 보여주고 있는데, 갠트리 0° 의 경우에는 5cm 두께의 수은을 통과한 최대선량을 100%로 하였을 때 약 15%, 90° 의 경우는 4cm의 수은을 통과한 선량이 최대이므로 상대적으로 적은 선량(약 10%), 45° 의 경우는 더욱 적은 선량(약 8%)이 이루어짐을 알 수 있다. 이는 수은을 방사선 강도변화를 위한 액체차폐물로 사용할 경우 그 차폐효과가 뛰어나 타겟주위의 정상조직의 손상을 막을 수 있음을 보



(a)

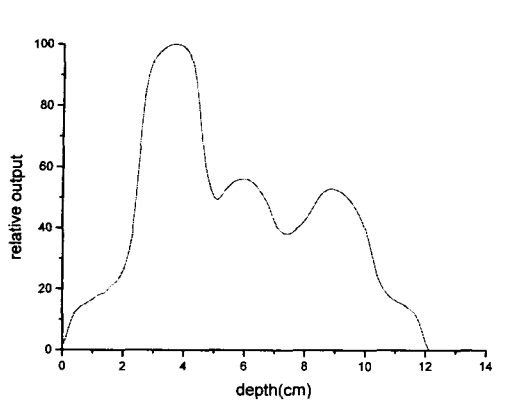


(b)

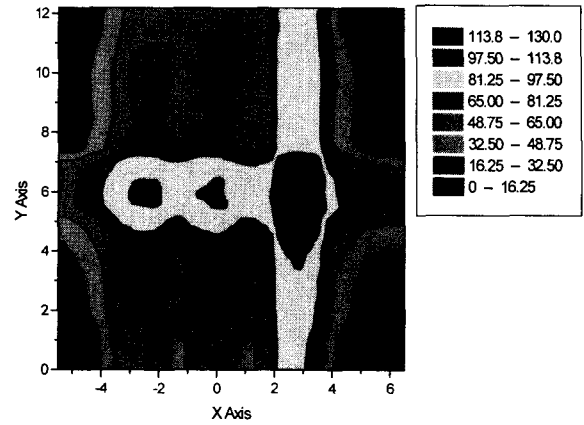


(c)

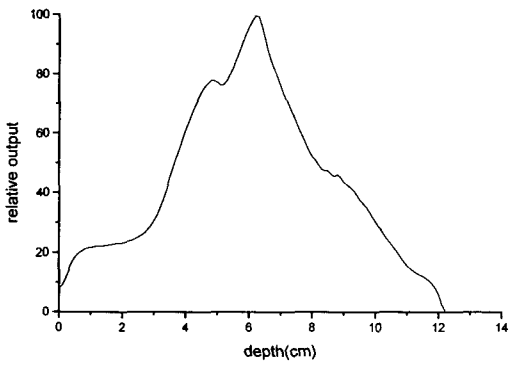
Fig. 3. Dose distribution at the gantry angle (a) 0° , (b) 45° , (c) 90° .



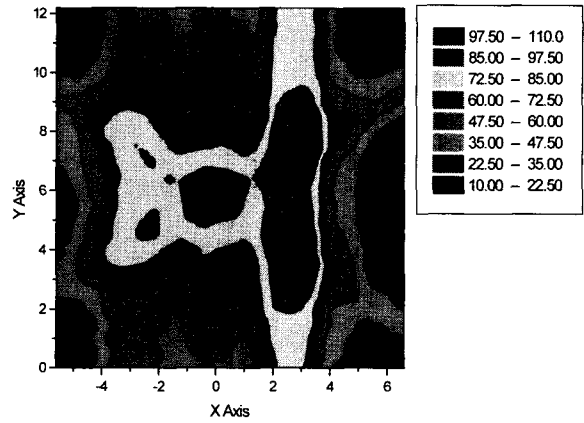
(a)



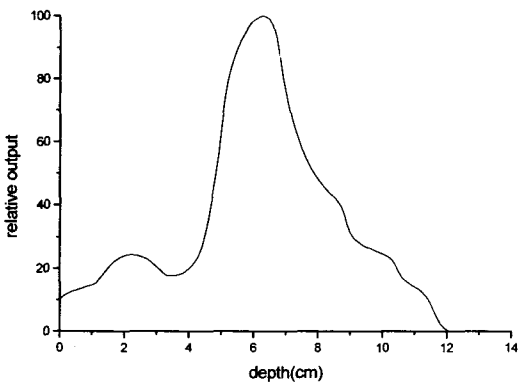
(a)



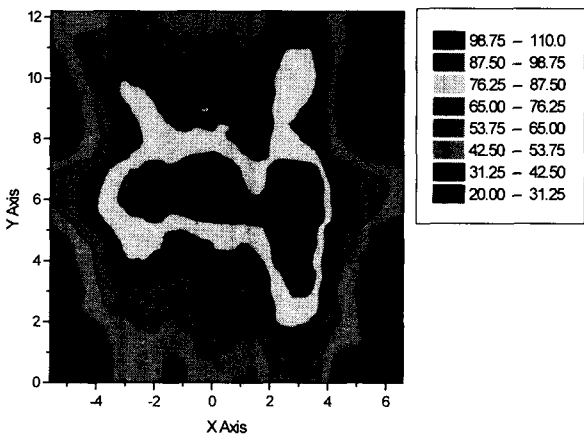
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig. 4. 2-dimensional dose distribution at the gantry angle (a) 0° , (b) 45° , (c) 90° .

Fig. 5. Dose distribution of the (a) 4-field, (b) 6-field, and (c) 8-field irradiation.

여주고 있다. 그러나, 수은의 우수한 차폐효과는 역으로 타겟부위에서는 약간의 두께차에도 선량차가 크게 나타나므로 이를 보완하기 위해서는 치료계획시 최적화를 시켜 고른 선량분포를 나타내도록 해야 할 것이다. Fig. 5에 직경 25cm 아크릴 팬텀 내에 필름을 넣고 0° 에서부터 45° 간격으로 8문 조사를 한 결과를 나타내었다. 타겟의 isocenter에 선량을 100%로 들 경우 80% 영역이 타겟을 적절히 감싸고 있음을 알 수 있다. 이 때, 타겟의 등근 모서리 부분에서 선량곡선 또한 그 모양을 따름을 볼 수 있다. 주 타겟은 어느정도 고른 선량분포와 적절한 타겟모양을 나타내는데 반해 그러나, 내부의 원형모양과 타겟의 좌우 상단에 80%영역이 나타나는데 이는 위쪽의 구형 타겟의 영향으로 인해 수은의 그 방향에 대한 두께가 상대적으로 감소하여 선량증가가 일어난 것으로 여겨지며, 구형의 2차 타겟 영역에서도 80-70% 정도로 선량분포가 좋지 못한 것으로 나타나고 있는데 이러한 분포들은 차후 최적화된 선량계획 시스템을 이용할 경우 지금의 선량분포 보다 타겟모양에 더욱 정확한 분포를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

결 론

본 연구에서는 방사선의 경로 상에서 갠트리의 회전에도 불구하고 일정한 방향을 유지하도록 고안된, 타겟의 3차원적 모양과 동일한 2:1 축소 삼입물을 수은 속에 넣고 그에 따른 수은의 두께변화로 방사선의 강도변화를 유도하였다. 그 결과 적절한 강도의 변화가 자동적으로 이루어지고 있음을 볼 수 있었고, 이를 이용하여 25cm 원형 팬텀으로 IMRT를 수행하여 타겟모양과 유사한 선량분포를 얻었다. 여러 가지 보완할 점이 많으나 현재의 결과로 볼 때, 3차원 액체 차폐물을 이용한 IMRT의 구현이 가능함을 확인하였고 앞으로 이 방법을 이용한 치료계획 시스템이 개발되면 보다 정확한 IMRT 방법이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Khan FM, Potish RA. Treatment Planning in Radiation Oncology. Williams & Wilkins, pp 187-213 (1998)
2. Kallman P. et al. Sharpening of arbitrary dose distributions by dynamic multileaf collimation. Phys Med Biol 33:1291-1300 (1998)
3. Convery DJ, Rosenbloom ME. The generation of intensity-modulated fields for conformal radiotherapy by dynamic collimation. Phys Med Biol 37:1359-1374 (1992)
4. Bortfeld TR, et al. X-ray field compensation with multileaf collimators. Int J Radiat Oncol Biol Phys 28:723-730 (1994)
5. Bortfeld TR, et al. Realization and verification of three-dimensional conformal radiotherapy with modulated fields. Int J Radiat Oncol Biol Phys 30:899-908 (1994)
6. Boyer AL. Use of MLC for intensity modulation. Med Phys 21:1007 (1994)
7. Yu CX. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: an alternative to tomotherapy. Phys Med Biol 40:1435-1449 (1995)

The Realization of Intensity-modulated Radiation Therapy Using the Liquid Shielding Material

Young Kee Oh, Ph.D., Jhin Kee Kim*, Kyo Chul Shin[†], Ki Hwan Kim[†]
Sang Mo Yoon, M.D., Jae Chul Kim, M.D., In Kyu Park, M.D., Ph.D.

Dept. of Radiation Oncology, College of Medicine, Kyungpook Nat. University,

**Chonbuk National University, [†]Dankook University,*

[†]Chungnam National University

We developed a new method that the radiation field shape and intensity could be controlled automatically with a insertion of the liquid shielding material box having a rotatable model imitated the 3-dimensional target volume within. The molded box filled with the mercury was mounted to the tray. A acrylic model imitated the 3-dimensional target volume was fixed into the center of the interior of the box. Although the gantry rotate, the acrylic model can be returned to the original direction of the target due to the action of the gravity. The film measurements at the gantry rotation angle 0° , 45° , and 90° , respectively were shown that the radiation intensities were modulated properly and the field shapes were conformed to the target. We verified the dose distribution for our method with a cylindrical acrylic phantom inserted a film within. In the case of the 8-field irradiation, the 80% isodose line was enclosed the target shape properly. This results show the realization of a new intensity-modulated radiation therapy(IMRT).

Key words : IMRT, liquid shielding material