

GANTRY ANGLE에 따른 정량화 된 BOLUS의 제작 및 평가

연세의료원 암센터 방사선종양학과

안승권, 이원주, 신동봉, 이 석, 전병철, 조정희, 박재일

I. 서론

방사선 치료 시 병변의 정확한 위치 파악과 적절한 치료계획 및 검증과정 등은 양질의 치료를 위해 필수적인 요소이다. 이때 에너지, 종양의 깊이, 종양의 위치, 종양의 모양등에 따라서 방사선 치료 방법이 결정되고 그에 따른 결과가 수반되므로 이들에 대한 충분한 고려가 필요하다.

특히 환자 피부표면의 요철을 없애 평탄한 표면을 만들거나 표재성 병변, 또는 치료 목적상 환자의 피부선량의 증가시키기 위해 bolus(조직등가물질)를 사용하여 최대흡수선량 지점을 피부표면 방향으로 이동시켜 그곳에 위치한 종양 선량을 증가시키는 반면 심부 정상조직에 선량을 감소시키는 역할도 하게 된다.⁽¹⁾

환자의 평평한 체표위에 bolus 사용 시 gantry angle이 사방향으로 위치할 경우이거나 인체구조 또는 병변과 수술에 의한 함몰과 돌출부분의 방사선 치료 시 gantry angle에 관계없이 bolus자체가 angle을 형성하기 때문에 실제 치료 빔이 조직 등가물질 인 bolus를 계획한 것 보다 길게 통과하여 등선량곡선의 변화 및 최대흡수선량 깊이가 변화하여 종양용적(gross target volum, GTV)에 주어지는 선량이 감소하게 된다.

이러한 물리적 현상을 보완하기 위해 gantry angle의 변화에 따른 정량화 된 bolus를 제작하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 논문은 gantry angle에 따른 bolus 두께와 그에 대한 선량분포 변치를 측정하기 위해 의료용 선량가속기(CL/2100C/D, 600C, varian, USA)를 이용하여 테이블 위에 후방 산란선 방지 목적으로 폴리스틸렌 30cm을 놓고 평행평판형 전리함(diameter가 2cm이며 측정 오차가 $\pm 5\%$ 미만)을 장치하여 전리함과 선원간의 거리를 100cm으로 위치시켰으며 전리계(electrometer, capintec, model 192)를 통해 빔 출력인자를 측정하였다(그림 1).

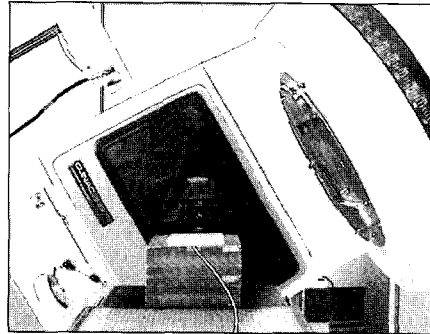


그림 1. 실험 모형도

2. 에너지 및 gantry angle에 따른 선량변화

에너지를 4, 6, 10MV를 사용하여 각 에너지의 최대흡수선량지점을 형성하게 하는 4MV는 10mm, 6MV는 15mm, 10MV는 25mm의 bolus를 공기층 없이 올려놓

아 조사면을 8×8 cm²으로 고정하고 4MV에너지는 250 dose/rate에 100MU(moniter unit), 6, 10MV에너지는 500 dose/rate에 100MU으로 gantry angle(0° 10° 20° 30° 40° 45° 50° 60° 70° 80°)을 변화하여 2, 3회 조사 한 평균값을 계산하여 대표값으로 제시하였다.

3. Gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 제작 및 평가

Gantry angle을 변화시켰을 때 bolus(5mm-20mm)에 실제로 빔이 통과한 거리를 수학적으로 계산하여(그림 2) gantry angle(0° 10° 20° 30° 40° 45° 50° 60° 70° 80°)이 빔 bolus를 통과 한 거리를 수식화 하였다(표 1).

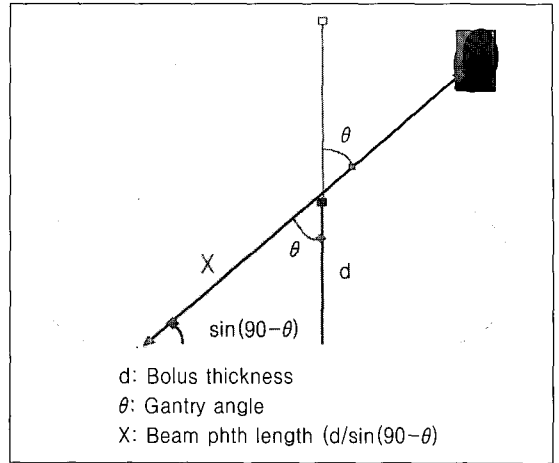


그림2. Gantry angle에 따른 빔의 통과 거리 계산 공식

표 1. Gantry angle에 따른 beam의 통과거리 data base

gantry angle (°)	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80
sin angle (θ)	sin90	sin80	sin70	sin60	sin50	sin45	sin40	sin30	sin20	sin10
bolus두께(mm)/값	1.00	0.985	0.94	0.866	0.766	0.707	0.643	0.5	0.342	0.174
5.0	5.00	5.08	5.32	5.77	6.53	7.07	7.78	10.00	14.62	28.74
6.3	6.30	6.40	6.70	7.27	8.22	8.91	9.80	12.60	18.42	36.21
6.4	6.40	6.50	6.81	7.39	8.36	9.05	9.95	12.80	18.71	36.78
6.5	6.50	6.60	6.91	7.51	8.49	9.19	10.11	13.00	19.01	37.36
6.6	6.60	6.70	7.02	7.62	8.62	9.34	10.26	13.20	19.30	37.93
6.7	6.70	6.80	7.13	7.74	8.75	9.48	10.42	13.40	19.59	38.51
6.8	6.80	6.90	7.23	7.85	8.88	9.62	10.58	13.60	19.88	39.08
6.9	6.90	7.01	7.34	7.97	9.01	9.76	10.73	13.80	20.18	39.66
7.0	7.00	7.11	7.45	8.08	9.14	9.90	10.89	14.00	20.47	40.23
7.1	7.10	7.21	7.55	8.20	9.27	10.04	11.04	14.20	20.76	40.80
19.8	19.80	20.10	21.06	22.86	25.85	28.01	30.79	39.60	57.89	113.79
19.9	19.90	20.20	21.17	22.98	25.98	28.15	30.94	39.80	58.19	114.37
20.0	20.00	20.30	21.28	23.09	26.11	28.29	31.10	40.00	58.48	114.94

그중 상징적인 각도로 30°, 45°, 60°를 선택하여 수학적 계산을 통해 획득한 데이터 중 조사 된 빔이 gantry angle을 고려하여 bolus를 통과 한 거리가 4MV에서 10mm, 6MV에서 15mm, 10MV에서 25mm를 지나는

bolus의 두께를 찾았다. 4MV는 30°일때 8.7mm, 45°는 7.1mm, 60°는 5mm으로 6MV는 30°일 때 13mm, 45°는 10.6mm, 60°는 7.5mm으로 10MV는 30°일 때 21.6mm, 45°는 17.5mm, 60°는 12.5mm의 data를 바탕으로

으로 milling machine(오차범위± 0.01mm)을 통해 가로 30mm, 세로 200mm, 두께는 필요로 하는 bolus의 두께인 3mm, 7mm, 7.5mm, 8mm, 10.5mm으로 자체 제작하여 만들어진 틀에 bolus액을 부어서 본 논문에서 필요

한 gantry angle 따른 정량화 된 bolus를 제작하였으며 5mm와 10mm의 bolus는 본원에서 보유하고 있는 bolus를 사용하였다(그림 3).

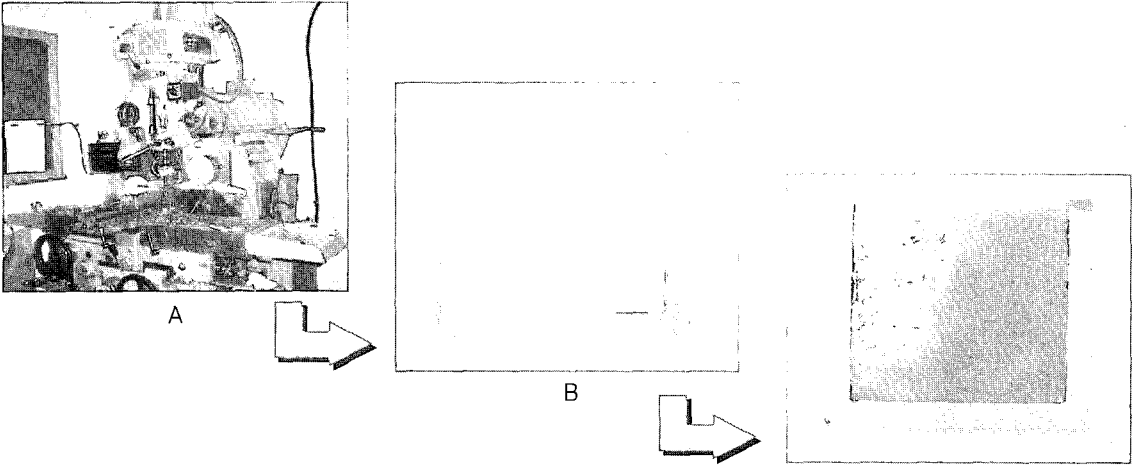


그림 3. 정량화 된 bolus 작 과정(A: milling machine, B: 정량화 된 bolus 거푸집, C: 정량화 된 bolus)

자체 제작한 bolus를 이용하여 gantry angle(30°, 45°, 60°)에 따른 4, 6, 10MV의 에너지로 beam을 2, 3회 조사하여 얻은 측정값과 동일한 gantry 각도에서 4MV는 10mm, 6MV는 15mm, 10MV는 25mm의 bolus를 사용하였을 때의 측정값과 비교하였다.

4. gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 임상 적용

3차원 방사선 치료계획장비를 통해 유방암과 이하선암의 방사선 치료 경우에 10mm의 bolus를 환자 체표면에 위치했을 때와 gantry의 각도에 따라 정량화 된 bolus를 위치했을 경우의 등선량곡선의 변화를 비교 분석하였다.

III. 결과

결과 1 > 에너지와 gantry angle에 따른 선량변화 분석 4, 6, 10MV의 에너지를 이용하여 각 에너지의 최대흡수 선량지점을 형성하게 하는 bolus를 사용하여 Field size 8 × 8 cm² 으로 Gantry angle을 변화하여 빔을 2, 3회 조사하여 획득한 평균값을 대표값으로 제시하였다(그림 4)

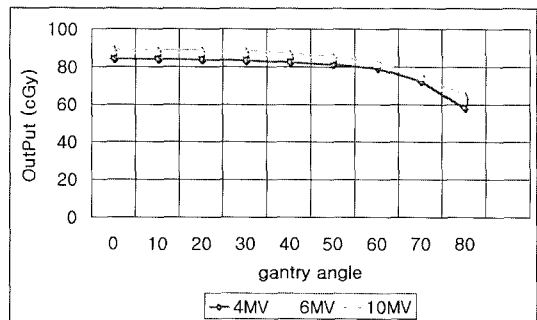


그림 4. 에너지와 gantry angle에 따른 선량변화

에너지에 크게 관계없이 Gantry angle이 10°, 20°일 때 선량의 감소가 없었으며 30이상부터는 angle이 커질수록 작게는 1%부터 크게는 31%까지의 선량이 감소하는 추세를 보였다.

결과 2 > 4MV에서 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 분석

4MV의 에너지에 10mm의 bolus와 gantry angle이 30°일 때 8.7mm, 45°는 7.1mm, 60°는 5mm의 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus를 사용하여 field size 8×8 cm²으로 빔을 2, 3회 조사하여 획득한 평균값을 대표값으로 제시하였다(그림 5).

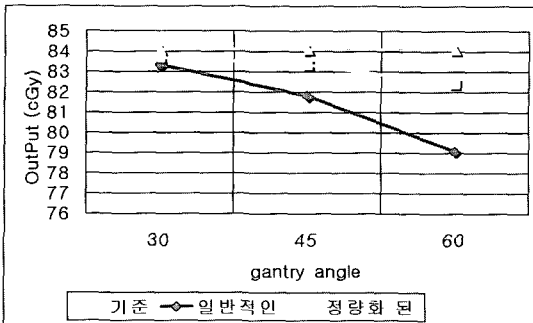


그림 5. 4MV에서 10mm의 bolus와 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 비교

10mm의 bolus를 사용하여 gantry angle이 0°일때의 선량(cGy)을 기준으로 하여 gantry angle이 30°일 때 10mm의 bolus를 사용시 1%의 선량감소를 보였으나 8.7mm의 bolus를 사용했을 때 선량감소가 없었으며 gantry angle이 45°일 때 10mm의 bolus를 사용시 3%의 선량감소를 보였으며 7.1mm의 bolus를 사용했을 때 1%의 선량감소가 있었다.

또한 gantry angle이 60°일 때 10mm의 bolus를 사용시 8%의 선량감소를 보였으나 5mm의 bolus를 사용했을 때 2%의 선량감소를 보였다.

결과 3 > 6MV에서 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 분석

6MV의 에너지에 15mm의 bolus와 gantry angle이 30°일 때 8.7mm, 45°는 7.1mm, 60°는 5mm의 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus를 사용하여 field size 8×8 cm²으로 빔을 2, 3회 조사하여 획득한 평균값을 대표값으로 제시하였다(그림 6).

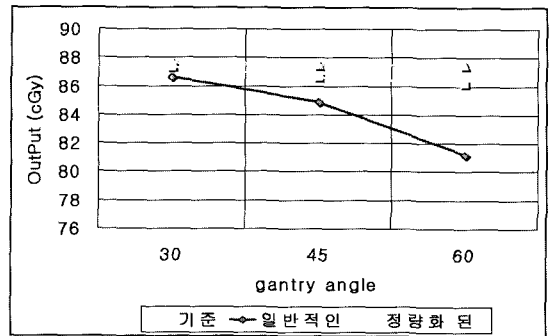


그림 6. 6MV에서 15mm의 bolus와 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 비교

15mm의 bolus를 사용하여 gantry angle이 0°일때의 선량(cGy)을 기준으로 하여 gantry angle이 30°일 때 15mm의 bolus를 사용시 1%의 선량감소를 보였으나 13mm의 bolus를 사용했을 때 선량감소가 없었으며 gantry angle이 45°일 때 15mm의 bolus를 사용시 3%의 선량감소를 보였으며 10.6mm의 bolus를 사용했을 때 1%의 선량감소가 있었다.

또한 gantry angle이 60°일 때 15mm의 bolus를 사용시 7%의 선량감소를 보였으나 5mm의 bolus를 사용했을 때 2%의 선량감소를 보였다.

결과 4 > 10MV에서 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 분석

10MV의 에너지에 25mm의 bolus와 gantry angle이 30°일 때 21.6mm, 45°는 17.5mm, 60°는 12.5mm의 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus를 사용하여 field size 8×8 cm²으로 빔을 2, 3회 조사하여 획득한 평균값을 대표값으로 제시하였다(그림 7).

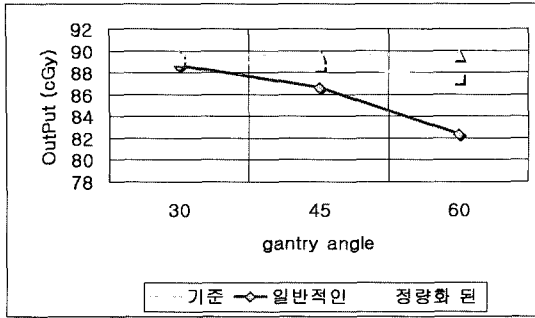


그림 7. 10MV에서 25mm의 bolus와 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 비교

25mm의 bolus를 사용하여 gantry angle이 0°일때의 선량(cGy)을 기준으로 하여 gantry angle이 30°일 때 25mm의 bolus를 사용 시 1%의 선량감소를 보였으나 21.6mm의 bolus를 사용했을 때 선량감소가 없었으며

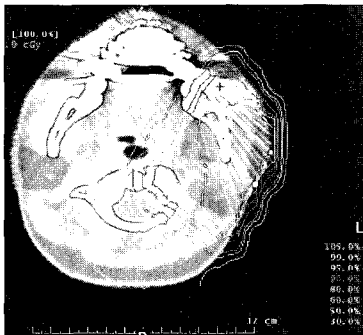


그림 8. 10mm bolus 사용

gantry angle을 고려한 bolus의 두께는 30°일때 8.7mm, 130°은 7.7mm의 bolus를 사용한 치료계획을 보면 10mm의 bolus를 사용한 치료계획의 등선량곡선 보다 조금 더 환자 체표를 커버하는 것을 알 수 있었으며 gantry angle이 큰 경사 각도가 아니어서 급격한 차이는 없었다.

2. 유방암 (breast cancer) 환자로 3차원 방사선치료 계획 장비를 통해 4MV에 15°wedge를 사용해 RAO(right antero oblique) 301.5°, LPO(left postero oblique)

gantry angle이 45°일 때 25mm의 bolus를 사용시 3%의 선량감소를 보였으며 17.5mm의 bolus를 사용했을 때 1%의 선량감소가 있었다.

또한 gantry angle이 60°일 때 25mm의 bolus를 사용 시 6%의 선량감소를 보였으나 12.5mm의 bolus를 사용했을 때 2%의 선량감소를 보였다.

결과 5 > 치료계획을 통한 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus의 분석

1. 이하선암 (parotid gland cancer) 환자로 3차원 방사선 치료 계획장비를 통해 4MV의 에너지에 45°wedge를 사용하여 LAO(left antero oblique) 30°, LPO((left postero oblique) 130°는 2 portal 치료하는 치료계획 이다(그림 8)(그림 9).

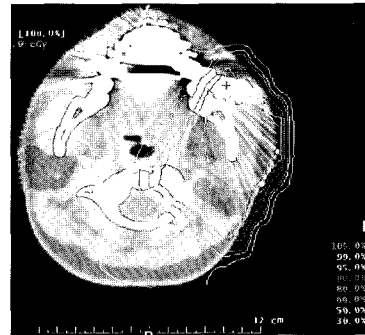


그림 9. 8.2, 7.7mm bolus 사용

127.2°는 2 portal 치료하는 치료계획이다.(그림 10)(그림 11)

gantry angle을 고려한 bolus의 두께는 301.5°는 5.2mm, 127.2°은 8mm의 bolus를 사용한 치료계획을 보면 10mm의 bolus를 사용한 치료계획의 등선량곡선 보다 현저히 환자 체표를 커버하는 것을 알 수 있다.

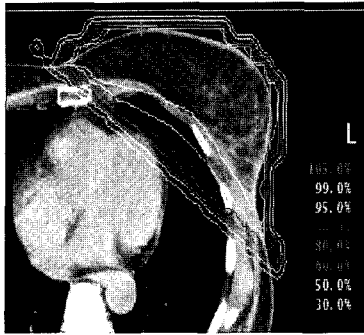


그림 10. 10mm bolus 사용

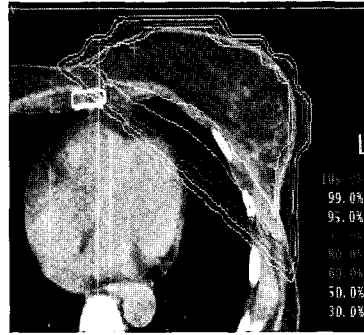


그림 11. 5.2, 8mm bolus 사용

IV. 결론

방사선 치료에 있어서 유방암과 이하선암 등과 같이 gantry angle이 사방향으로 위치하거나 인체의 구조 등에 의해서 bolus 자체가 angle을 갖는 경우는 흔히 볼 수 있어 본 논문에 적용이 되는 임상적인 case는 많으리라 사료가 된다.

에너지에 관계없이 gantry angle이 0° - 20°일 때 선량 감소가 없었으며 30° 이상부터는 angle이 커질수록 선량이 감소하며 45°일 때는 3%, 60°은 6 - 8%의 선량이 감소 하였으나 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus 사용 시 45°일 때는 1%, 60°은 2%로 선량감소를 보여 gantry angle이 45° 이상인 경우는 gantry angle을 고려한 정량화 된 bolus를 사용하는 것이 실제 치료 beam이 bolus를 길게 통과하여 종양용적(gross target volum)에 생기는 선량감소를 보완하는 좋은 방법이라 사료된다.

V. 고찰

본 논문은 치료 beam이 사방향으로 bolus를 통과 할 때 계획 한 것 보다 beam이 bolus를 길게 통과한다 라는 생각부터 시작이 되었으며 이 물리적인 현상을 해결하기 위한 방책으로 bolus 자체의 두께를 줄여 gantry angle에 따른 정량화 된 bolus를 만들자는 생각을 가지게 했다.

그러나 실제 임상에서 이해하기 어려울 정도로 소수점 이하로의 수학적인 계산을 통한 bolus의 두께의 단위를 구분하는 것은 분명히 무리가 있으나 논문을 가능한 정확히 표현하고자 하는 저자의 열정이 담겨져 있다.

논문에 소개된 결과 5 >의 case는 gantry angle이 사방향으로 위치한 경우만을 다루었는데 gantry angle이 0°일 지라도 bolus자체에 생기는 angle에 의해서 치료 beam이 bolus를 길게 통과하는 경우는 table 1 >의 data를 적용하여도 동일한 실험결과가 나오리라 사료된다.

논문에 사용 된 bolus는 실험을 통해서 기존에 병원에서 사용하고 있는 동일 두께의 bolus와 사용하고자 하는 bolus를 2100C/D linac(varian USA)장비에 6, 10MV의 에너지로 평행평판형 진리합을 통한 선량의 비교로서 bolus를 검증 후 오차범위가 ±1%미만으로 나타나서 본 논문에 사용하였으며 매번 측정 때마다 digital micro meter를 통해 bolus의 두께를 확인 했는데 얇은 bolus는 자체가 가지고 있는 유연성이 강해서 ±0.5mm 정도의 오차는 있었다. 10MV의 gantry angle이 60°경우에 12.5mm의 정량화 된 bolus를 만들기 위해 5mm + 5mm + 3mm의 bolus에 오차범위 ±0.5mm를 적용하여 모든 gantry angle에 대한 정량화 된 bolus를 만들지 않고도 모든 실험을 할 수 있었다. 현재 사용하고 있는 10mm와 5mm의 bolus 역시 회사에 따라 두께가 다르며 또한 bolus의 두께가 두꺼울수록 오차의 범위는 크며 동일 회사의 제품 일지라도 색깔에 따라 ±0.5mm의 오차가 있음을 측정을 통해 알 수 있었으며 이러한 몇 mm

의 오차에 의해서 밝혀지는 진보적인 사실이 논문의 가치를 높인다고 사료된다.

참고문헌

- (1) Khan FM : the physics of radiation therapy, 2nd, 1994 ; 299-300.
- (2) Martin J. Butson, Tsang Cheung, Peter Yu, Peter Metcalfe. : Effects on skin dose from unwanted air gaps under bolus in photon beam radiotherapy. Radiation Measurement. 2000 ; 32, 201-204.
- (3) Sharma S. C, Johnson M. W. : Surface dose perturbation due to air gap between patient and bolus for electron beams. Medical physics. 1993 ; 20, 377-378.
- (4) Kevin S. Jones : The conversion of air splints to provide buildup bolus in the treatment of extremities with skin involvement. Medical Dosimetry. 2000 ; 25, 197-200.
- (5) 김영일 : 방사선 치료, 신광출판사, 1997 ; 396.