

금속썰기와 기능강화동적썰기의 조사야 주변부 선량 비교

*서울대학교 대학원 방사선응용생명과학 협동과정, †서울대학교병원 방사선종양학과,
‡서울대학교 의과대학 방사선종양학교실, §서울대학교 의과대학 방사선의학연구소

박종민* · 김희정* · 민제순[†] · 이제희[†] · 박찬일^{†‡} · 예성준^{†§}

방사선 방호의 측면에서 기능강화동적썰기가 금속썰기에 비하여 가지는 이점을 평가하기 위하여 각각의 썰기에서 산란되는 조사야 주변부 선량을 측정하였다. 측정 장비는 2D Array를 사용하였고 장비의 신뢰성을 검증하기 위하여 측정값과 치료계획장치에서 계산된 결과를 비교하였다. 15°, 30°, 45°, 60°의 금속썰기와 기능강화동적썰기를 사용하였을 때에 선원표면간거리를 80 cm에서 90 cm로 변화시키며 조사야 주변부의 선량백분율을 측정하였다. 광자선의 에너지는 6 MV와 15 MV를 사용하였다. 측정은 0.5 cm 깊이에서 조사야 경계로부터 1 cm부터 5 cm까지 1 cm 간격으로 이루어졌다. 열형광선량계를 사용하여 절대 선량을 측정하였다. 2D Array를 사용하여 측정하였을 경우, 기능강화동적썰기를 사용하였을 때의 조사야 주변부 선량백분율(1.4%~11.9%)이 금속썰기를 사용하였을 때(2.5%~12.4%)에 비하여 낮았다. 15 MV의 에너지를 사용했을 경우에 6 MV의 에너지를 사용했을 경우보다 조사야 주변부 평균 선량백분율이 2.9% 높았다. 선원표면간거리가 80 cm일 경우에 90 cm일 경우보다 선량백분율의 차이를 분명히 확인할 수 있었다. 썰기의 Heel 방향의 선량백분율이 Toe방향의 선량백분율보다 평균적으로 0.9% 낮았다. 열형광선량계를 이용한 절대 선량 측정에서도 2D Array를 사용하여 측정한 경우와 합치하는 결과가 나왔다. 기능강화동적썰기는 임상에서 조사야 주변부의 정상조직에 불필요하게 산란되어 전달되는 선량을 감소시켜준다. 이러한 이점은 썰기의 각도가 증가하고 선원표면간거리가 감소할수록 더욱 부각된다.

중심단어: 기능강화동적썰기, 금속썰기, 조사야 주변부 선량, 이온전리함, 열형광선량계

서 론

방사선 치료 시, 입사하는 광자와 경사를 이루는 환자 피부의 굴곡 또는 종양의 모양이 불규칙함으로 인하여 썰기 모양의 등선량곡선을 필요로 하는 경우가 발생한다. 이러한 필요를 충족시키기 위하여 금속썰기나 기능강화동적썰기 등이 임상에서 사용되고 있다.¹⁾ 금속썰기와 기능강화동적썰기는 구조적인 차이로 여러 가지 면에서 차이를 보인다. 금속썰기의 경우에, 썰기인자는 실제 측정을 통하여 결정되고 조사야 크기에 따라 변화한다. 또한 금속썰기의 물리적인 특성으로 인하여 빔경화효과가 발생하고 썰기각은

깊이에 따라 변화 한다.²⁾ 일반적으로 금속썰기를 사용할 경우, 썰기를 사용하지 않을 경우에 비하여 조사야 내 표면 선량은 낮고 조사야 주변부 선량은 높다고 알려져 있다.³⁾ 금속썰기를 이용하여 만들 수 있는 각도는 15°, 30°, 45°, 60°로 제한되어 있다.²⁾ 금속썰기를 사용할 경우 빔의 출력이 일정하기 때문에 환자 치료 시, EPID (electronic portal imaging device)를 이용하여 포탈 이미지를 얻을 수 있다.¹⁾

이에 반하여, 기능강화동적썰기는 선량률과 콜리메이터의 움직임을 통하여 썰기 모양의 등선량곡선을 생성한다. 썰기인자는 STT (segmented treatment table)에 의하여 결정되고 빔경화효과가 없어 빔의 특성을 변화시키지 않는다. 깊이가 깊어지더라도 썰기각은 항상 일정한 각도를 유지할 수 있고 일반적으로 조사야 주변부 선량이 작다고 한다. 또한 15°, 30°, 45°, 60°에 제한되지 않은 다양한 각도를 만들어 낼 수 있다.²⁾ 금속썰기를 사용할 때와는 다르게 썰기를 장착한 갠트리가 치료 중에 환자와 충돌할 우려가 없고 필터를 사용하지 않기 때문에 썰기 자체에 의한 감쇄가 없어 출력이 감소하지 않는다. 또한 금속 썰기를 사용하는 것에

본 연구는 서울대학교 의과대학 의학 발전기금 연구비 지원으로 이루어졌음.

이 논문은 2007년 7월 11일 접수하여 2007년 9월 12일 채택되었음.

책임저자 : 예성준, (110-744) 서울시 종로구 연건동 28번지

서울대학교병원 방사선종양학과

Tel: 02)2072-2819, Fax: 02)765-3317

E-mail: sye@snu.ac.kr

비하여 방사선사의 업무 부담을 줄여준다.⁴⁾ 그리고 기능강화동적썰기는 비대칭 조사야에서도 사용이 가능하다는 중요한 장점을 가진다. 그러나 빔의 출력이 일정하지 않기 때문에 환자 치료 시, EPID를 이용하여 포탈 이미지를 얻을 수 없다. 이와 같이 금속썰기와 기능강화동적썰기는 일정한 각도를 가지는 등선량곡선을 얻기 위한 동일한 목적으로 사용되지만 선량 분포를 만드는 방법이나 선량 특성적인 면에서 차이를 보인다. 실제 임상에서 썰기를 사용할 시, 이러한 차이를 염두에 두고 썰기를 선택해야 한다.

썰기를 사용하여 방사선 치료를 수행할 때에 조사야 주변부에 안구와 같은 방사선에 치명적인 기관이 위치하는 경우가 있을 수 있다. 이러한 경우에 조사야 주변부로 산란되는 선량을 최소화 하여 방사선에 치명적인 기관을 보호하는 것이 중요하다. 조사야 주변부로 산란된 선량과 암 발생간의 상관관계는 EBCTCG (early breast cancer trialists' collaborative group)에서 15년 동안 유방암 환자를 대상으로 추적 조사한 결과에서 확인할 수 있다. 결과에 따르면, 암이 발생하여 치료를 받은 유방 반대쪽의 정상 유방에 다시 암이 발생할 확률은 치료를 받은 후 15년이 지났을 때에 방사선치료를 받은 환자 그룹이 방사선치료를 받지 않은

환자 그룹보다 1.8% 높았다(Fig. 1).⁵⁾ 환자 치료 시, 조사야 주변부의 선량을 최소화하여 불필요한 피폭을 줄이는 것은 치료의 질 향상을 위하여 중요하다.

일반적으로 금속썰기를 사용하는 경우 기능강화동적썰기를 사용하는 경우보다 조사야 주변부의 선량이 높다고 하지만 금속썰기는 조사야 주변부의 선량을 감소시키는 작용과 증가시키는 작용을 동시에 한다. 전자는 선형가속기의 갯트리에서 발생하는 산란선을 감쇄시키고 발생하는 전자선을 흡수하는 작용에서 기인하고, 후자는 썰기 자체에서 발생하는 낮은 에너지 산란에서 기인한다. 어느 효과가 우세하느냐에 따라 금속썰기의 조사야 주변부 선량이 결정된다. 일반적으로 이러한 효과들을 종합적으로 고려하였을 때에 금속썰기를 사용하는 경우가 기능강화동적썰기를 사용하는 경우보다 조사야 주변부의 선량이 높다고 알려져 있다.³⁾

본 연구에서는 금속썰기와 기능강화동적썰기를 사용하였을 때에, 여러 가지 조건을 변화시키며 조사야 주변부 표면 선량을 측정하여 그 결과를 평가해 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 측정 장비

조사야 주변부의 선량을 측정하기 위하여 측정 장비로는 PTW사의 2D-Array with 729 ion chambers를 사용하였다(Fig. 2). 이 장비에는 5 mm×5 mm×5 mm 크기의 729개의 이온전리함이 들어있어 공간 분해능이 1 cm이고 선량율은 50 cGy/min에서 8 Gy/min까지 조절할 수 있다. 측정 기준점이

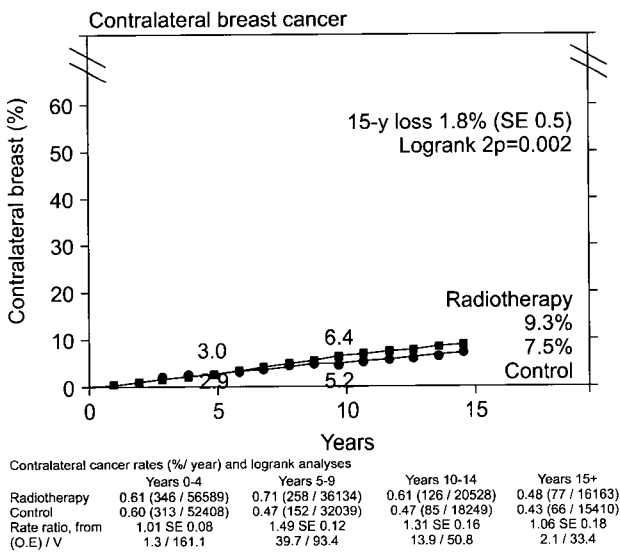


Fig. 1. The graph shows the effect of radiotherapy on contralateral breast cancer incidence. The probability of contralateral breast cancer incidence in radiotherapy is 1.8% higher than that of control 15 years after the treatment. This graph is cited from 'Effects of chemotherapy and hormonal therapy for early breast cancer on recurrence and 15-year survival: an overview of the randomized trials' by Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG).

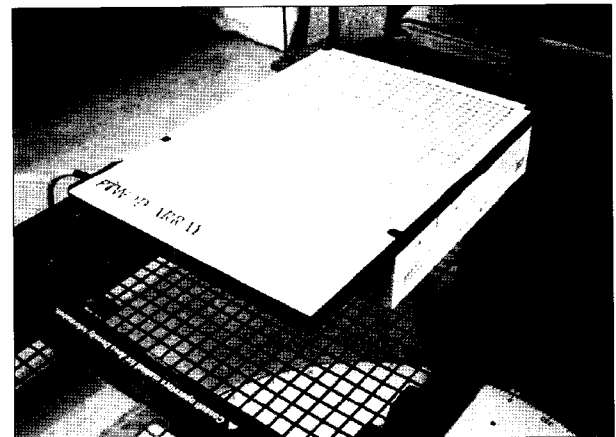


Fig. 2. The peripheral dose was measured by using a 2D array with 729 ion chambers. A size of the chamber is 5 mm×5 mm×5 mm and the spatial resolution is 1 cm.

표면으로부터 5 mm 깊이에 있기 때문에 5 mm 보다 깊은 영역부터 측정이 가능하다. 측정 가능한 선량은 20 cGy부터 1,000 Gy까지이고 선량 분해능은 0.1 cGy이다. 측정 결과의 분석은 PTW사에서 제공하는 PTW-verisoft를 사용하였다.

2D-Array의 신뢰성을 평가하기 위하여 최대선량깊이와 5 cm 깊이에서, 장비를 사용하여 측정한 값과 본원의 치료계획장치에서 계산한 값을 비교하였다. 장비를 사용하여 측정을 할 때에 Varian 21EX 선형가속기의 6 MV와 15 MV의 에너지에서 측정하였다. 조사야의 크기는 10 cm×10 cm이었고 선원표면간거리는 100 cm이었다. 조사야의 경계부터 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm 떨어진 곳에서 선량을 측정하였다.

열형광선량계를 사용하여 조사야 주변부의 선량을 측정하여 2D-Array를 사용하여 얻은 결과와 경향을 비교하였다. TLD reader는 Harshaw 3500을 사용하였다.

2. 측정 방법

금속썰기와 기능강화동적썰기의 에너지 변화에 따른 조사야 주변부의 선량 변화를 평가하기 위하여 6 MV와 15 MV의 두 가지 에너지에서 선량을 측정하였다. 두 가지 에너지 하에서 선원표면간거리의 영향을 평가하기 위하여 실제 환자 치료 시 많이 사용되는 80 cm과 90 cm 의 선원표면간거리에서 측정을 수행하였다. 같은 측정 조건에서 금속썰기를 사용하는 경우와 기능강화동적썰기를 사용하는 경우 모두 측정하였다. 측정 시, 조사야의 크기는 10 cm×10 cm이었고 조사야 주변부의 1 cm 지점부터 5 cm 지점까지 1 cm 간격으로 0.5 cm 깊이에서 선량을 측정하였다. 썰기의 heel방향과 toe방향이 조사야 주변부의 선량에 주는 영향을 평가하기 위하여 각각의 방향에서 선량을 측정하였다. 15°, 30°, 45°, 60°의 금속썰기와 기능강화동적썰기를 사용하여 측정을 수행하였다. 조사야 주변부에서 측

정된 선량은 조사야 내 최대선량깊이에서의 선량으로 나누어 선량백분율로 표현하였다. 측정 시, 금속썰기를 사용할 경우나 기능강화동적썰기를 사용할 경우 모두 최대선량깊이에 같은 선량을 전달하도록 설정하였다.

열형광선량계를 사용하여 선량을 측정할 때에 6 MV에너지를 사용하였고 45° 각도의 금속썰기와 기능강화동적썰기를 사용하였다. 측정 시, 선원표면간거리는 80 cm과 90 cm이었고 최대선량깊이에 500 cGy의 선량을 주었을 때 깊이 0.3 cm에서 측정하였다. 조사야 주변부에서 heel방향과 toe방향으로 각각 1 cm, 5 cm, 10 cm 되는 지점에서 측정하였다.

결 과

1. 2D Array의 신뢰성 평가

2D Array의 신뢰성을 평가하기 위하여, 2D Array를 이용하여 측정한 선량백분율과 본원의 치료계획장치에서 계산한 선량백분율을 비교하였다. 6 MV의 에너지를 사용하여 최대선량깊이와 5 cm 깊이에서 선량백분율을 측정하였고 (Table 1), 15 MV의 에너지를 사용하여 동일한 조건에서 선량백분율을 측정하였다(Table 2). 측정 결과, 측정한 값과 치료계획장치에서 계산한 값의 최대 차이가 0.8%로, 1% 미만의 값으로 나타났다. 측정값 차이의 평균은 0.5%이었다.

2. 15° 썰기에서의 금속썰기와 기능강화동적썰기의 비교

6 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 3과 같은 양상을 보인다. 금속썰기의 선량백분율은 조사야 중앙에서 최대선량깊이의 선량을 100%로 보았을 때에 2.5%에서 6.8%의 범위에 있고 기능강화동적썰기의 선량백분율은 1.9%에서 6.5%의 범위에 있다. 금속썰기와 기능강화동적썰기에서의 선량백분율 차이의 최대값은 선

Table 1. The accuracy evaluation of 2D array using 6 MV photon beam.

Percent peripheral dose relative to the dose at the D _{max} depth (%) using 6 MV photon beam						
Distance from field edge (cm)	1.5 cm (D _{max}) depth			5 cm depth		
	Calculated data	Measured data	Difference	Calculated data	Measured data	Difference
1	5.8	6.1	0.3	9.1	9.2	0.1
2	3.7	4.3	0.6	5.2	6.0	0.8
3	2.6	3.3	0.7	3.7	4.5	0.8
4	2.0	2.5	0.5	2.6	3.3	0.7

Table 2. The accuracy evaluation of 2D array using 15 MV photon beam.

Percent peripheral dose relative to the dose at the D_{max} depth (%) using 15 MV photon beam						
Distance from field edge (cm)	3 cm (D_{max}) depth			5 cm depth		
	Calculated data	Measured data	Difference	Calculated data	Measured data	Difference
1	8.0	8.1	0.1	9.9	9.5	-0.4
2	3.9	4.5	0.6	4.0	4.6	0.6
3	2.7	3.2	0.5	2.5	3.1	0.6
4	2.0	2.5	0.5	1.8	2.3	0.5

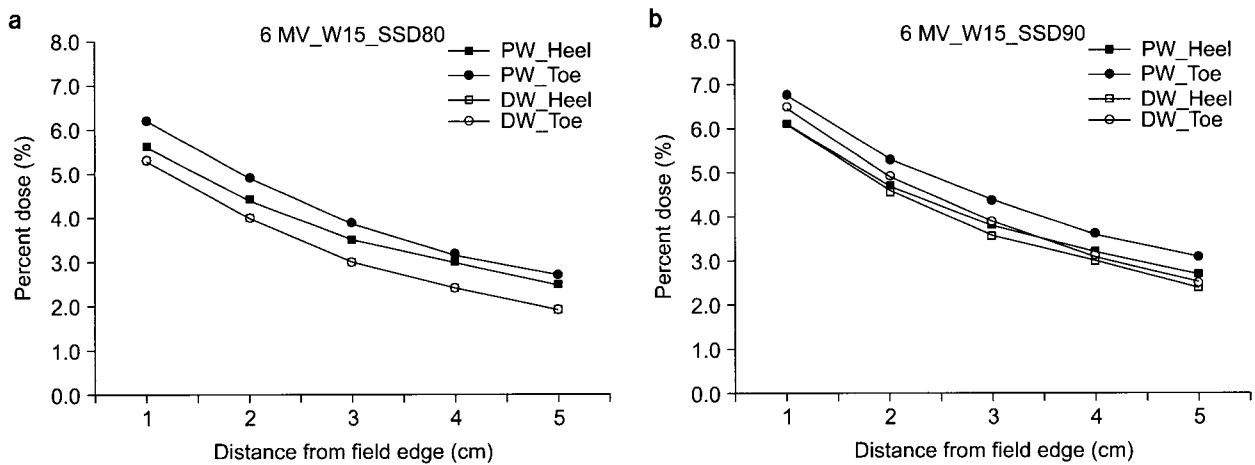


Fig. 3. The percent peripheral dose (%) was measured using a 15° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 6 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. And the heel direction peripheral dose was below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD.

원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 0.9%로 나타났다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로 0.48%, toe 방향으로 0.86%이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방향으로 0.16%, toe 방향으로 0.46%이었다.

15 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 4와 같은 양상을 보인다. 금속췌기의 선량백분율은 5.3%에서 11.0%의 범위에 있고 기능강화 동적췌기의 선량백분율은 4.1%의 범위에서 11.3%의 범위에 있다. 각각의 췌기를 사용하였을 경우 측정된 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 1.6%로 나타났다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로

로 0.86%, toe방향으로 1.22%이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방향으로 0.38%, toe방향으로 0.42%이었다.

3. 30° 췌기에서의 금속췌기와 기능강화동적췌기의 비교

6 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 5와 같은 양상을 보인다. 금속췌기의 선량백분율은 조사야 중앙에서 최대선량깊이의 선량을 100%로 보았을 때에 3.0%에서 7.6%의 범위에 있고 기능강화동적췌기의 선량백분율은 1.7%에서 6.6%의 범위에 있다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서의 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 2%로 나타났다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로

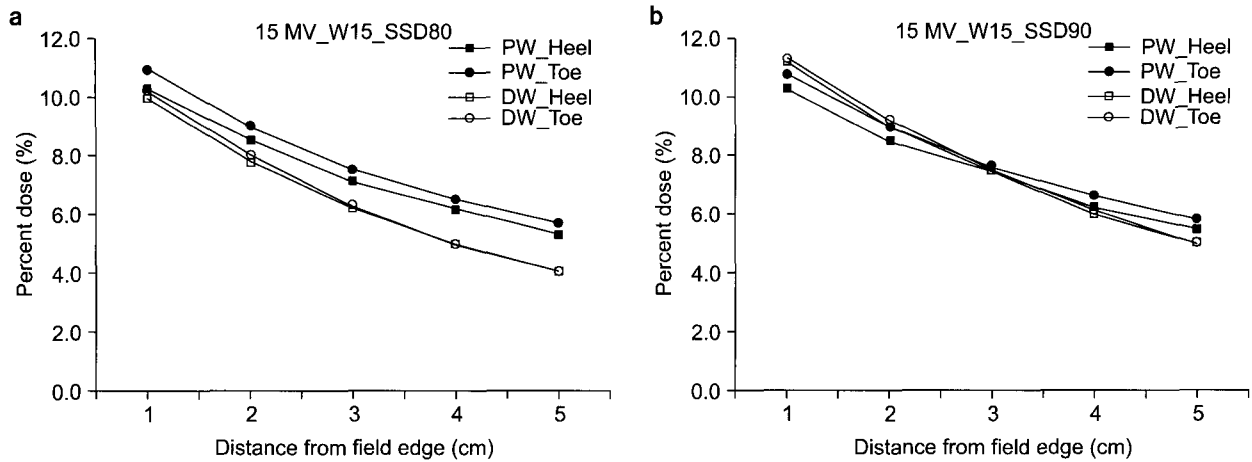


Fig. 4. The percent peripheral dose (%) was measured using a 15° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 15 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The heel direction peripheral dose was below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was higher than that of the physical wedge at the point of 1 cm and 2 cm. But at the point over 2 cm, the dose of enhanced dynamic wedge was lower than that of the physical wedge.

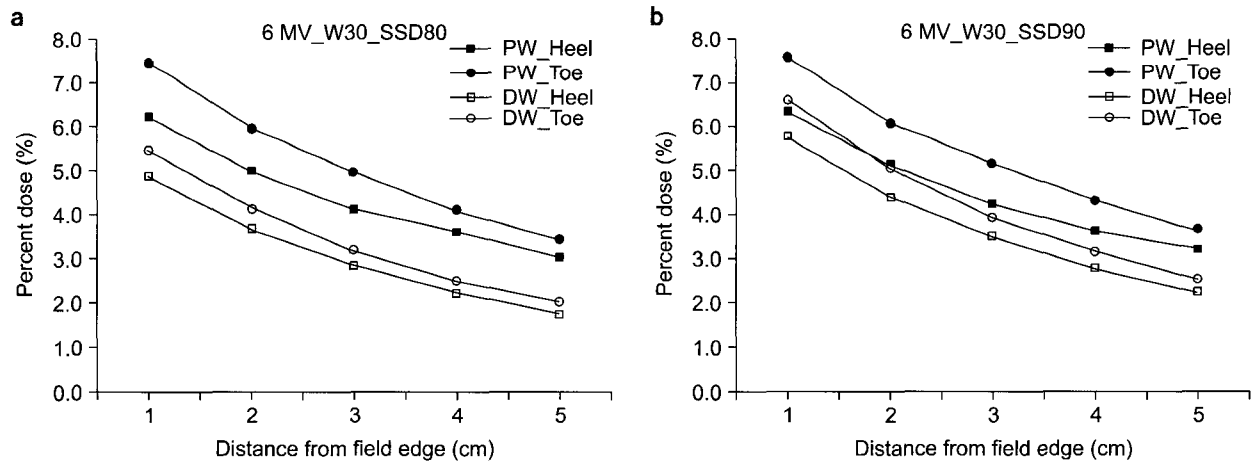


Fig. 5. The percent peripheral dose (%) was measured using a 30° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 6 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. And the heel direction peripheral dose was below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD.

1.31%, toe 방향으로 1.74%이었고 선원표면간거리가 90 cm 일 때에 heel방향으로 0.78%, toe 방향으로 1.09%이었다.

15 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 6과 같은 양상을 보인다. 금속썰기의 선량백분율은 4.7%에서 10.0%의 범위에 있고 기능강화 동적썰기의 선량

백분율은 3.1%의 범위에서 9.6%의 범위에 있다. 각각의 썰기를 사용하였을 경우 측정된 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 1.78%로 나타났다. 금속썰기와 기능강화동적썰기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로

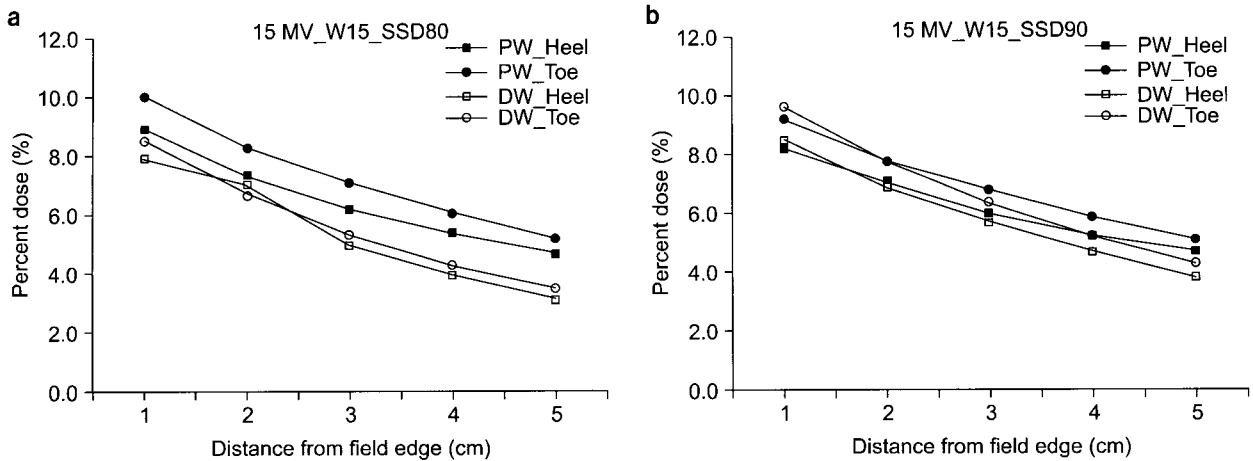


Fig. 6. The percent peripheral dose (%) was measured using a 30° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 15 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The heel direction peripheral dose was always below the toe direction peripheral dose except 2 cm point of figure A. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was higher than that of the physical wedge at the point of 1 cm. But at the other point, the dose of enhanced dynamic wedge was lower than that of the physical wedge.

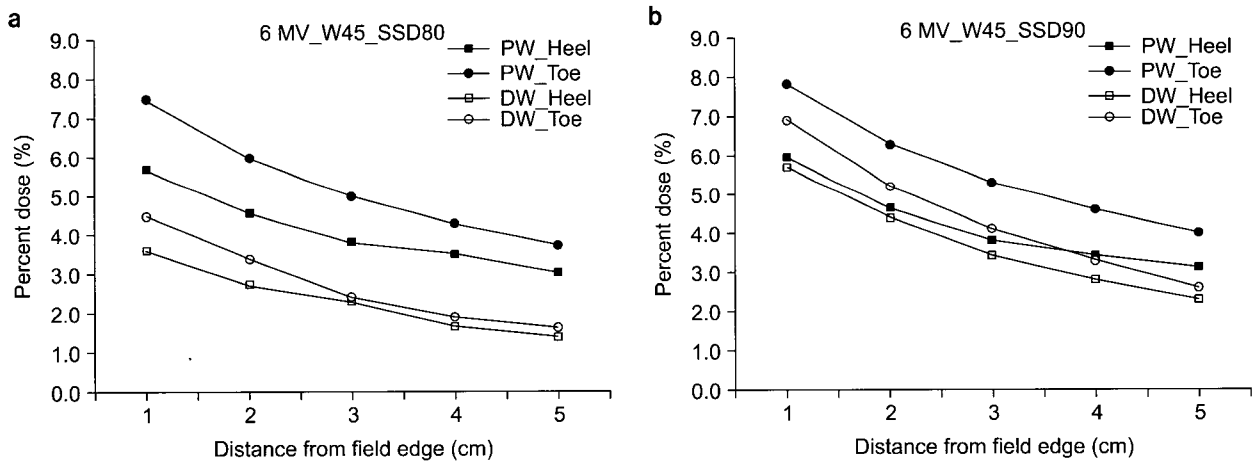


Fig. 7. The percent peripheral dose (%) was measured using a 45° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 6 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. And the heel direction peripheral dose was below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD.

1.14%, toe방향으로 1.66%이었고 선원표면간거리가 90 cm 일 때에 heel방향으로 0.33%, toe방향으로 0.3%이었다.

4. 45° 췌기에서의 금속췌기와 기능강화동적췌기의 비교

6 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율

은 Fig. 7에 나타내었다. 금속췌기의 선량백분율은 3.0%에서 7.8%의 범위에 있고 기능강화동적췌기의 선량백분율은 1.4%에서 6.9%의 범위에 있다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서의 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 3%로 나타났다. 금속췌기와 기

능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로 1.78%, toe방향으로 2.54%이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방향으로 0.44%, toe방향으로 1.18%이었다.

15 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 8에 나타내었다. 금속췌기의 선량백분율은 5.9%에

서 12.4%의 범위에 있고 능강화동적췌기의 선량백분율은 3.9%에서 11.9%의 범위에 있다. 각각의 췌기를 사용하였을 경우 측정된 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 2.9%로 나타났다. 금속췌기와 능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로 1.52%

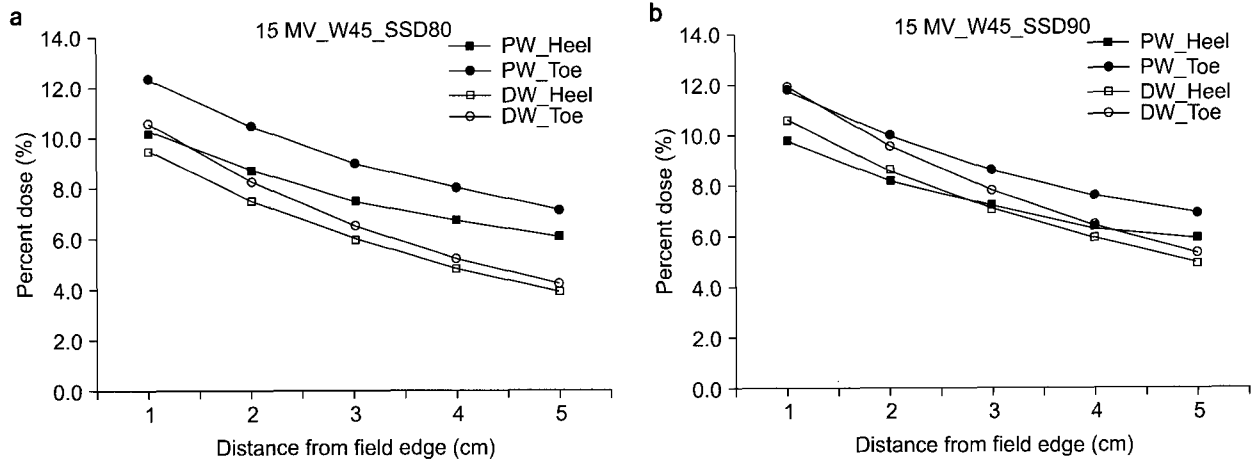


Fig. 8. The percent peripheral dose (%) was measured using a 45° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 15 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The heel direction peripheral dose was always below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was higher than that of the physical wedge at the point of 1 cm and 2 cm. But at the other point, the dose of enhanced dynamic wedge was lower than that of the physical wedge.

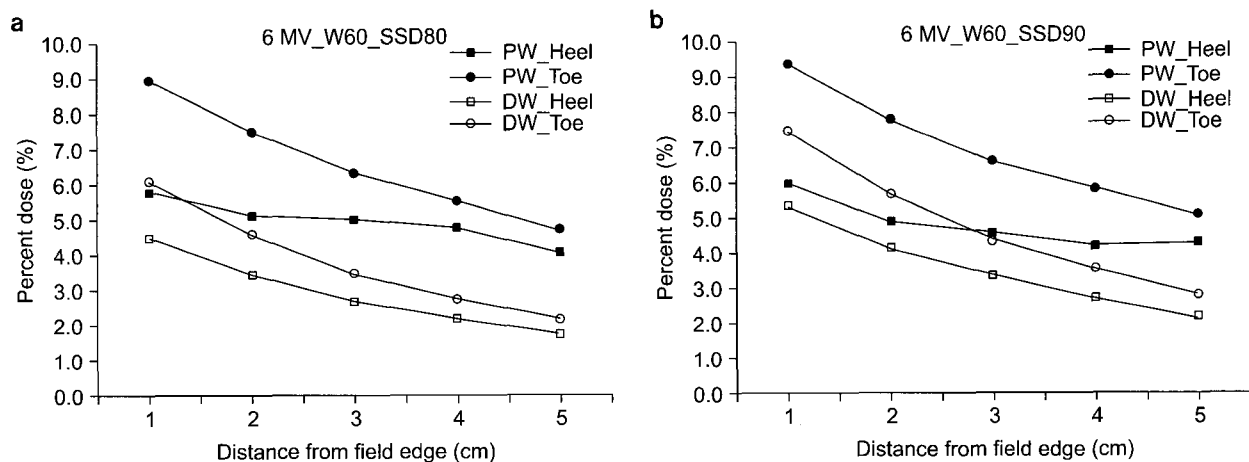


Fig. 9. The percent peripheral dose (%) was measured using a 60° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 6 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. And the heel direction peripheral dose was below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD.

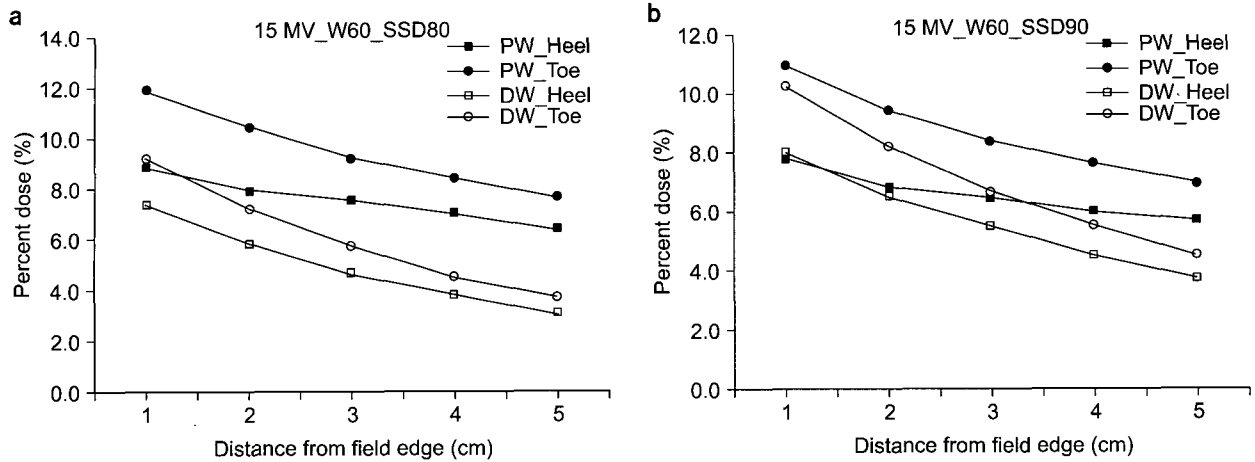


Fig. 10. The percent peripheral dose (%) was measured using a 60° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 15 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The heel direction peripheral dose was always below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was higher than that of the physical wedge at the point of 1 cm. But at the other point, the dose of enhanced dynamic wedge was lower than that of the physical wedge.

toe방향으로 2.44%이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방향으로 0.54%, toe방향으로 0.82%이었다.

5. 60° 췌기에서의 금속췌기와 기능강화동적췌기의 비교

6 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 9에 나타내었다. 금속췌기의 선량백분율은 4.0%에서 9.3%의 범위에 있고 기능강화동적췌기의 선량백분율은 1.7%에서 7.4%의 범위에 있다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서의 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 2.91% 로 나타났다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로 2.07%, toe방향으로 2.8%이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방향으로 1.24%, toe방향으로 2.16%이었다.

15 MV의 광자선을 사용했을 경우에 측정된 선량백분율은 Fig. 10에 나타내었다. 금속췌기의 선량백분율은 5.7%에서 12%의 범위에 있고 기능강화동적췌기의 선량백분율은 3.1%에서 10.2%의 범위에 있다. 각각의 췌기를 사용하였을 경우 측정된 선량백분율 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 3.95%로 나타났다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서 선량백분율 차이의 평균값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로 2.60%, toe방향으로 3.47%이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방

Table 3. The range and average of percent doses in peripheral region at various conditions.

		Percent doses at various conditions		
		Minimum percent dose (%)	Maximum percent dose (%)	Average percent dose (%)
Wedge type	Physical wedge	2.5	12.4	6.33
	Enhanced dynamic wedge	1.4	11.9	5.08
	Difference	1.1	0.5	1.25
Energy	6 MV	1.4	9.34	4.25
	15 MV	3.05	12.4	7.16
	Difference	1.65	3.06	2.91
Direction	Heel	1.4	11.2	5.27
	Toe	1.6	12.4	6.15
	Difference	0.2	1.2	0.88
SSD	80 cm	1.4	12.4	5.5
	90 cm	2.14	11.9	5.92
	Difference	0.74	0.5	0.42
Wedge angle	15°	1.9	7.96	5.71
	30°	1.73	10.03	5.28
	45°	1.4	9.4	5.94
	60°	1.71	11.99	5.89

향으로 0.91%, toe방향으로 1.64%이었다.

6. 측정 조건별 측정값 비교

측정된 선량백분율을 췌기의 종류, 사용된 에너지, 조사야 주변부 측정 방향, 선원표면간거리, 췌기의 각도별로 평

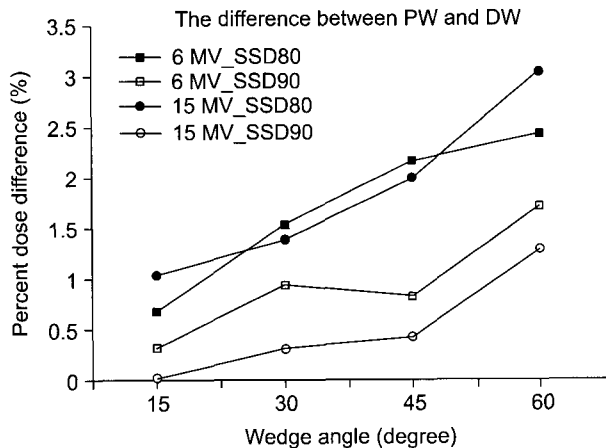


Fig. 11. The difference between percent peripheral dose of the physical wedge and percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge increases while wedge angle increases. The SSD is critical factor that effects on the percent peripheral dose. The percent peripheral dose of shorter SSD is higher than the percent peripheral dose of longer SSD.

균 선량백분율과 최소 선량백분율, 최대 선량백분율을 구하였다(Table 3). 동적기능강화췌기를 사용할 경우 금속췌기를 사용할 경우보다 최소 선량백분율, 최대 선량백분율, 평균 선량백분율이 항상 작았고, 6 MV의 에너지를 사용할 때에 측정된 최소, 최대, 평균 선량백분율이 15 MV의 에너지를 사용할 때에 측정된 값들보다 항상 작았다. 또한, heel 방향에서 측정된 최소, 최대, 평균 선량백분율이 toe방향에서 측정된 값들보다 항상 작았다. 선원표면간거리가 80 cm 인 경우에는 평균 선량백분율과 최소 선량백분율이 90 cm 에서 측정된 경우보다 작았지만 최대선량백분율은 컸다. 금속췌기와 동적기능강화췌기의 선량백분율의 차이는 췌기의 각도가 증가할수록 증가하였다(Fig. 11).

7. 열형광선량계를 이용한 금속췌기와 기능강화동적췌기의 비교

6 MV의 에너지에서 45°의 췌기를 사용하여 열형광선량계로 측정된 선량은 Fig. 12와 같은 양상을 보였다. 금속췌기에서의 조사야 주변부 선량은 11.6 cGy에서 52.3 cGy의 범위로 나타났고 기능강화동적췌기에서의 선량은 7.1 cGy에서 46.1 cGy의 범위로 나타났다(Table 4). 금속췌기와 기능강화동적췌기에서의 선량 차이의 최대값은 선원표면간거리가 80 cm일 때에 toe방향에서 6.9 cGy로 나타났다. 금속췌기와 기능강화동적췌기에서 선량 차이의 평균값은 선

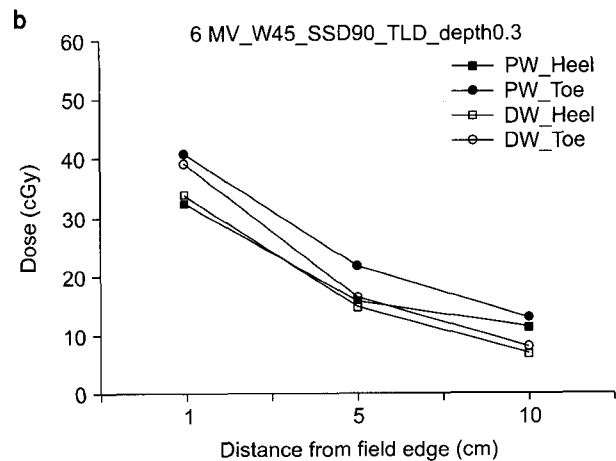
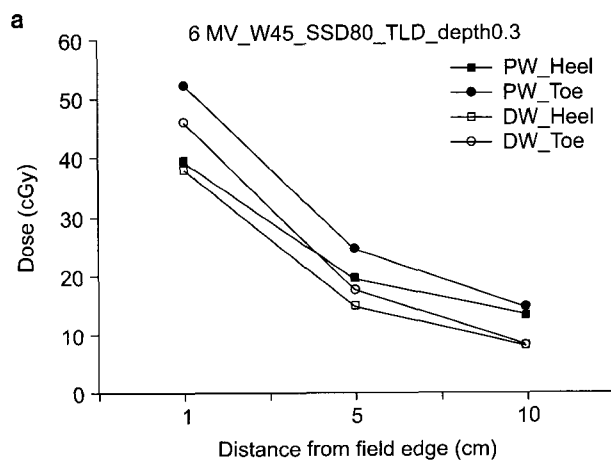


Fig. 12. The absolute peripheral dose (%) was measured by TLD using a 45° physical wedge and an enhanced dynamic wedge. The 6 MV energy was used and the field size was 10 cm×10 cm. Both heel and toe direction measurement were performed and compared. The heel direction peripheral dose was below the toe direction peripheral dose. (a) The measurement was performed under the 80 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was always lower than that of the physical wedge. (b) The measurement was performed under the 90 cm SSD. The percent peripheral dose of the enhanced dynamic wedge was higher than that of the physical wedge at the point of 1 cm. But at the other point, the dose of enhanced dynamic wedge was lower than that of the physical wedge.

Table 4. The range and average of doses in peripheral region at various conditions using TLD.

		Doses at various conditions		
		Minimum dose (cGy)	Maximum dose (cGy)	Average dose (cGy)
Wedge type	Physical wedge	11.6	52.3	24.91
	Enhanced dynamic wedge	7.1	46.1	21.13
	Difference	4.5	6.2	3.78
Direction	Heel	7.1	39.4	20.8
	Toe	8.0	52.3	25.23
	Difference	0.9	12.9	4.43
SSD	80 cm	8.3	52.3	24.78
	90 cm	7.1	40.5	21.25
	Difference	1.2	11.8	3.53

원표면간거리가 80 cm일 때에 heel방향으로 3.6 cGy, toe방향으로 6.4 cGy이었고 선원표면간거리가 90 cm일 때에 heel방향으로 1.4 cGy, toe방향으로 3.73 cGy이었다.

고찰 및 결론

2D Array의 신뢰성을 평가해 본 결과, 계산값과 측정값의 차이가 0.8% 이하로 그 성능을 신뢰할 수 있다고 판단된다.

결과를 살펴보면 15 MV의 에너지를 사용하고 선원표면간거리가 90 cm일 때, 측정지점이 조사야에 근접한 경우를 제외하고는 기능강화동적췌기를 사용했을 경우가 금속췌기를 사용했을 경우보다 항상 조사야 주변부 선량백분율이 낮았다. 이 결과는 기존의 연구와도 합치되는 결과였다.³⁾ 그러나 15 MV의 에너지를 사용하고 선원표면간거리가 90 cm인 경우, 조사야 주변부로 1 cm와 2 cm의 거리인 경우에 기능강화동적췌기의 선량백분율이 금속췌기의 선량백분율보다 최대 0.9%까지 높았다. 이는 측정 지점이 조사야에 인접한 불확정성이 큰 위치이고 그 차이가 1% 미만으로 미미하여 큰 의미를 두지 않아도 될 것으로 생각된다.

측정 결과, 대부분의 경우, toe쪽의 조사야 주변부 선량백분율이 heel쪽의 선량백분율보다 높게 나타났다. 15 MV의 에너지일 때에 30° 각도의 동적기능강화췌기를 사용하여 측정을 하였을 경우 2 cm되는 지점에서 유일하게 heel쪽의 선량백분율이 높게 측정되었는데 그 차이는 0.23%로 미미하다. 금속췌기의 경우 산란되는 선량이 heel쪽의 두꺼

운 부분에서 충분히 흡수되어 heel방향의 조사야 주변부 선량을 감소시킨다. 그리고 췌기의 특성상 실제 환자 혹은 팬텀에 전달되는 선량이 heel쪽 보다 toe쪽이 높아서 toe쪽의 선량기울기가 heel쪽보다 크기 때문에 조사야 주변부 heel쪽에서의 선량이 더욱 작은 결과를 낳았다고 생각된다. 기능강화동적췌기의 경우에서도 toe쪽의 조사야 주변부 선량의 기울기가 heel쪽보다 크기 때문에 heel쪽의 조사야 주변부 선량이 상대적으로 낮게 나왔다고 생각된다. 게다가 콜리메이터가 heel방향에서 toe방향으로 움직이며 닫히기 때문에 조사야 주변부로 toe방향의 산란되는 선량이 heel쪽보다 높아 heel방향의 조사야 주변부 선량이 상대적으로 낮다. toe쪽의 선량과 heel쪽 선량의 차이는 금속췌기를 사용하였을 경우가 기능강화동적췌기를 사용하였을 경우보다 항상 컸다. 이는 기능강화동적췌기를 사용할 경우에 금속췌기에 비하여 상대적으로 대칭적인 조사야 주변부 선량분포를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. toe쪽의 선량백분율과 heel쪽의 선량백분율의 차이는 췌기의 각도가 커질수록 증가하였다.

선원표면간거리가 커지면 heel쪽의 선량백분율과 toe쪽의 선량백분율의 차이가 대체적으로 증가하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 15 MV의 에너지를 사용했을 경우보다 6 MV의 에너지를 사용했을 경우에 더욱 두드러진다. 하지만 그 차이는 0.3% 미만으로 미미하다. 선원표면간거리가 감소할수록 금속췌기와 기능강화동적췌기의 선량백분율의 차이가 커졌다. 이는 기존의 연구와도 합치하는 결과이다.²⁾ 기능강화동적췌기의 경우, 선원표면간거리가 증가할수록 췌기의 각도와는 상관없이 조사야 주변부의 선량백분율이 증가했다. 금속췌기의 경우에도 역시 선원표면간거리가 증가할수록 조사야 주변부의 선량백분율이 미미하게 증가하는 경향을 보인다. 하지만 45° 각도의 췌기를 사용하고 15 MV의 에너지를 사용했을 때에 선원표면간거리가 증가하면 조사야 주변부의 선량백분율이 감소하는 양상을 보인다. 그러나 그 증감의 차이는 최대 0.6%로 미미하다.

에너지에 따른 차이를 살펴보면, 6 MV의 에너지를 사용했을 경우에 비하여 15 MV의 에너지를 사용했을 경우에 선량백분율이 증가하지만 전체적인 양상에는 차이가 없다. 2D Array와 더불어 열형광선량계를 이용하여 조사야 주변부의 선량을 측정하여 보았다. 결과에서도 확인할 수 있듯이 기능강화동적췌기를 사용하는 경우가 금속췌기를 사용하는 경우에 비하여 더욱 낮은 조사야 주변부의 선량이 측정되었다. 열형광선량계를 사용했을 때에 얻은 결과는 실제 선량으로 2D Array를 사용하여 얻은 선량백분율과 다르

다. 기능강화동적썰기의 경우, 최대선량깊이에 500 cGy의 선량을 주었을 때에 조사야 주변부로 1 cm 떨어진 위치에서는 평균적으로 39.4 cGy, 5cm 떨어진 위치에서는 약 16.1 cGy, 10 cm 떨어진 위치에서는 약 7.9 cGy 정도의 선량이 전달됨을 확인할 수 있다. 이에 비하여 금속썰기의 경우, 최대선량깊이에 500 cGy의 선량을 주었을 때에 조사야 주변부로 1 cm 떨어진 위치에서는 평균적으로 41.2 cGy, 5 cm 떨어진 위치에서는 약 20.5 cGy, 10 cm 떨어진 위치에서는 약 13.1 cGy 정도의 선량이 전달됨을 확인할 수 있다. 열형광선량계를 사용하여 얻은 결과는 2D Array를 사용하여 얻은 결과와 합치하였다.

2D Array와 열형광선량계를 사용하여 조사야 주변부의 선량을 측정하여 본 결과, 조사야 주변부 선량은 기능강화동적썰기가 금속썰기보다 낮았고 toe방향보다 heel방향이 낮았다. 썰기를 사용하여 환자를 치료할 경우, 조사야 주변부로의 불필요한 피폭을 유발하는 산란되는 선량을 줄이기 위하여 기능강화동적썰기를 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 특히, 조사야 경계 주변부 인접한 거리에 안구와 같이 방사선에 치명적인 기관이 위치하는 경우, 이러

한 기능강화동적썰기의 이점이 강조된다. 그리고 실제 임상에서 환자를 치료할 경우, 썰기의 toe방향 선량이 heel방향 선량보다 높다는 것을 염두에 두고 치료를 수행해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Klein EE, Low DA, Meigooni AS, Purdy JA: Dosimetry and clinical implementation of dynamic wedge. *Int J Radiation Oncol Biol Phys* 31:583-592 (1995)
2. Li ZD, Klein EE: Surface and peripheral doses of dynamic and physical wedges. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 37:921-925 (1997)
3. Shinh R, Li AX, Chu CJ: Dynamic wedge versus physical wedge: a Monte carlo study. *Med Phys* 28:612-619 (2001)
4. Lee J, Hong S, Choi K et al: Comparison of enhanced dynamic wedge with physical metal wedge based on the basic dosimetric parameters. *Korean Journal of Medical Physics* 16:70-76 (2005)
5. Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG): Effects of radiotherapy and of differences in the extent of surgery for early breast cancer on local recurrence and 15-year survival: an overview of the randomised trials. *Lancet* 366:1687-1717 (2005)

A Comparison of Peripheral Doses Scattered from a Physical Wedge and an Enhanced Dynamic Wedge

Jong Min Park*, Hee Jung Kim*, Je Soon Min[†], Je Hee Lee[†], Charn Il Park^{††}, Sung-Joon Ye^{†§}

*Department of Radiation Applying Life Science, Seoul National University Graduate School,

[†]Department of Radiation Oncology, Seoul National University Hospital,

^{††}Department of Radiation Oncology, Seoul National University College of Medicine

[§]Institute of Radiation Medicine, Medical Research Center, Seoul National University College of Medicine

In order to evaluate the radio-protective advantage of an enhanced dynamic wedge (EDW) over a physical wedge (PW), we measured peripheral doses scattered from both types of wedges using a 2D array of ion-chambers.

A 2D array of ion-chambers was used for this purpose. In order to confirm the accuracy of the device, we first compared measured profiles of open fields with the profiles calculated by our commissioned treatment planning system. Then, we measured peripheral doses for the wedge angles of 15°, 30°, 45°, and 60° at source to surface distances (SSD) of 80 cm and 90 cm. The measured points were located at 0.5 cm depth from 1 cm to 5 cm outside of the field edge. In addition, the measurements were repeated by using thermoluminescence dosimeters (TLD). The peripheral doses of EDW were (1.4% to 11.9%) lower than those of PW (2.5% to 12.4%). At 15 MV energy, the average peripheral doses of both wedges were 2.9% higher than those at 6MV energy. At a small SSD (80 cm vs. 90 cm), peripheral dose differences were more recognizable. The average peripheral doses to the heel direction were 0.9% lower than those to the toe direction. The results from the TLD measurements confirmed these findings with similar tendency. Dynamic wedges can reduce unnecessary scattered doses to normal tissues outside of the field edge in many clinical situations. Such an advantage is more profound in the treatment of steeper wedge angles, and shorter SSD.

Key Words: Enhanced dynamic wedge, Physical wedge, Peripheral dose, Ion-chambers, TLD