

Dynamic Wedge의 조직내 방사선량 분포의 특성

연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실

오영택 · 금기창 · 추성실 · 김귀언

= Abstract =

Dosimetric Characteristics of Dynamic Wedge Technique

Young Taek Oh, M.D., Ki Chang Keum, M.D., Seong Sil Chu, Ph.D.
and Gwi Eon Kim, M.D.

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

Purpose : The wedge filter is the most commonly used beam modifying device during radiation therapy. Recently dynamic wedge technique is available through the computer controlled asymmetric collimator, independent jaw. But dosimetric characteristics of dynamic wedge technique is not well known. Therefore we evaluate dosimetric characteristics of dynamic wedge compared to conventional fixed wedge.

Materials and Methods : We evaluated dosimetric characteristics of dynamic wedge and fixed wedge by ion chamber, film dosimetry and TLD in phantoms such as water, polystyrene and average breast phantom. Six MV x-ray was used in 15×15cm field with 15,30 and 45 degree wedge of dynamic/fixed wedge system. Dosimetric characteristics are interpreted by Wellhofer Dosimetry system WP700/WP700i and contralateral breast dose (CBD) with tangential technique was confirmed by TLD.

Results : 1) Percent depth dose through the dynamic wedge technique in tissue equivalent phantom was similar to open field irradiation and there was no beam hardening effect compared to fixed wedge technique.

2) Isodose line composing wedge angle of dynamic wedge is more straight than hard wedge. And dynamic wedge technique was able to make any wedge angle on any depth and field size.

3) The contralateral breast dose in primary breast irradiation was reduced by dynamic wedge technique compared to fixed wedge. When the dynamic wedge technique was applied, the scatter dose was similar to that of open field irradiation.

Conclusion : The dynamic wedge technique was superior to fixed wedge technique in dosimetric characteristics and may be more useful in the future.

Key Words : Dynamic wedge, Contralateral breast dose

서 론

방사선 치료에 있어서 방사선의 조사 경로에 방사선을 흡수하는 특수한 차폐물을 위치시킴으로써 그 등선량 분포에 변화를 주고 있는데 그 중에서 가장 흔하게 사용되고 있는 차폐물이 췌기 모양의 췌기 차폐물이다. 이 췌기 차폐물은 보통 납과 같은 밀도가 높은 물질을 사용하여 췌기와 같은 모양으로 만들며, 췌기 차폐물의 두꺼운 쪽과 얇은 쪽과의 방사선량의 감쇠의 차이로 인해 조직내 방사선 등량분포 곡선을 얇은 쪽으로 기울여서 췌기 모양의 등선량 분포곡선을 얻을 수 있다. 특정 깊이에서 방사선의 중앙선에 대한 등선량 분포곡선의 기울기를 췌기 각도라고 칭하며 그 기준이 되는 등선량 분포곡선에 대해서는 아직 합치된 의견은 없으나 보통 10cm 깊이에서의 방사선 등선량 분포곡선의 기울기로 지칭하거나 50% 등선량 분포곡선의 기울기로 표시하기도 한다. 또한 이러한 췌기 각도에 따라 15도 췌기, 30도 췌기 등으로 췌기 차폐물을 분류하여 사용하고 있다¹⁾.

실제적으로 방사선 치료에 있어서는 등선량 분포곡선의 기울기를 기준으로 상용적으로 제작된 15도, 30도, 45도, 그리고 60도 췌기가 사용되고 있으며 그 기준 등선량 분포곡선은 제작사에 따라 약간의 차이는 있으나 보통 ICRU (International commission on radiation units and measurement) 보고 24번에서 제시하는 대로 10cm×10cm의 조사면에서 10cm의 깊이에서의 등선량 분포곡선의 방사선의 중앙선에 대한 기울기의 각도로 정의하여 제작하고 있다.

이러한 췌기 차폐물은 그 적용하는 방법에 따라 조사면의 경계에 췌기의 얇은 쪽 경계를 일치시키는 개별형의 췌기와 방사선 조사선의 중앙선에 췌기의 중앙을 일치시키는 보편형의 췌기가 있다. 보편형의 췌기는 개별형의 췌기에 비해 방사선의 전반적인 감쇠현상이 크나 조사면의 변화에 관계없이 사용할 수 있다는 잇점때문에 대부분의 상용적으로 제작되는 췌기 차폐물은 주로 보편형이다²⁾.

이러한 상용적인 보편형의 췌기를 이용하여 방사선 조사중 췌기를 사용하지 않는 경우를 병용하여 췌기를 사용하는 조사시간과 사용하지 않는 개방 조사 시간을 조절함으로써 사용한 췌기의 췌기각도 이내에서 원하는 췌기 각도를 얻을 수 있는 소위 보편형 췌기 기법도 소개되고 있다. 더 나아가 방사선 치료 기계내에 원격조정으로 움직이는 60도 췌기를 탑재하여 컴퓨터에 의해 시간을 계산하여 제어함으로써 이러한 보편형

췌기 기법을 더욱 용이하게 사용할 수 있는 치료 기계도 선 보이고 있다^{3, 4)}.

또한 최근 들어서는 컴퓨터에 의해 제어되는 콜리메이터의 움직임을 통해 상기한 고정 췌기에서와 같은 등선량 분포곡선을 얻을 수 있는 동적 췌기 기법이 소개되었고 Varian사에서 제작한 Varian 2100C 선형 가속기에 컴퓨터에 의한 원격제어 능력을 갖춘 Independent jaw가 장착됨으로써 비대칭적인 콜리메이터의 움직임을 통한 동적 췌기 기법이 가능하게 되었다. 실제로 이러한 동적 췌기 기법은 70년대 말부터 컴퓨터 제어에 의해 좀 더 정교한 방사선 치료 기술을 개발하려는 노력의 일환으로 그 이론적 가능성이 제시되었으며 실험적으로 원하는 깊이에서 원하는 췌기 각도의 등선량 분포를 얻을 수 있음이 보고되었었다^{5, 6)}.

이러한 동적 췌기 기법은 컴퓨터에 의해 제어되는 비대칭적인 콜리메이터인 Independent Jaw의 움직임에 의해 췌기 모양의 등선량 분포곡선을 얻을 수 있는 기법으로 한쪽 콜리메이터는 고정된 상태에서 반대쪽 콜리메이터가 움직이게 되는데 개방 조사면으로 정해진 모니터 단위의 방사선을 조사한 후 움직이는 콜리메이터가 한 구간 좁아진 후 다시 정해진 구간별 치료계획표에 따라 방사선이 조사되고 다시 콜리메이터가 한 구간 좁아지고 방사선이 조사되는 방식의 반복으로 이루어진다²⁾.

이러한 동적 췌기 기법은 이론상 비대칭적인 콜리메이터에 의해서 등선량 분포곡선이 변하는 것이므로 조직내 방사선량 분포에 있어서 고정 췌기와는 달리 방사선량의 감쇠 현상이 없고, 산란선이 적으며, 깊이에 상관없이 비교적 직선적인 췌기 각도선을 만드는 등 기존의 고정 췌기에 비해 유용할 것으로 보고되고 있으나^{5, 7, 8)} 실제적으로 방사선 물리화적인 특성 및 조직내의 선량 분포에 대해서는 보고가 드물며 아직 많이 알려져 있지 않다.

본원에 동적 췌기 기법이 가능한 Varian 2100C/D 기종의 선형가속기가 설치 되었기에 동적 췌기 기법이 기존의 고정 췌기와 비교하여 볼 때 방사선 물리화적인 특성 및 조직내 선량 분포상 어떠한 차이를 갖는지 알고자 본 연구를 계획하였다.

또한 실제적인 임상적 유용성을 가늠하고자 유방암의 방사선 치료에서 주로 사용되는 접선 조사 방식에서⁹⁾ 동적 췌기 기법을 사용함으로써 반대측 유방 피폭선량을 얼마나 줄일 수 있는지 측정하였다.

대상 및 방법

1. 대상

1) 선형 가속기

선형 가속기는 Varian 2100 C/D (Varian Associates Oncology System, Palo Alto, California, U.S.A.) 기종으로 6MV 에너지를 사용하였으며 이 선형 가속기는 컴퓨터로 제어되는 Independent Jaw 가 내장되어 있어 동적 췌기 기법이 가능한 기종으로 췌기 모양의 등선량 분포를 얻기 위해서는 Independent Jaw가 콜리메이터로 작용하여 한쪽 콜리메이터는 고정된 상태에서 반대쪽 콜리메이터가 컴퓨터에 의해 5mm씩 움직이면서 각 치료 구역마다 췌기 각도에 따른 구간별 치료계획표에 맞추어 조사 선량이 변화하도록 설계되어 있다.

2) 판 톱

(1) 물 판 톱 : 조직 등가 물질로서 물을 사용한 판 톱으로서 Wellhofer Dosimetrie WP 700 (Wellhofer, Schwarzenbruck, Germany) 선량 측정 기기에서 제공되는 물판톱을 사용하였다. 이 물판톱은 방사선의 중앙선에서 조직 내 깊이 변화에 따른 방사선량을 측정하기 위해 물 표면이 방사선의 중앙선과 직각을 이루도록 수평을 맞추어 측정하였다.

(2) 폴리 스타이린 판 톱 : 조직 등가물질로 폴리스타이린을 사용하여 제작한 정방형의 판 톱으로 판 톱 사이에 필름을 위치시킨 후 필름 선량 측정을 시행하였다.

(3) 평균 유방 모형 판 톱 : 조직 등가 물질로 파라핀을 사용하여 평균 유방 모형에 맞추어 제작하였으며 평균 유방 모형의 제원은 유방 보존 수술후 연세 의원 치료 방사선과에 내원하여 방사선 치료를 시행받은 환자중 68명의 치료 계획용 컴퓨터 단층 촬영상을 통해 구하였으며 유방암 환자의 방사선 치료시 반대측 유방의 피폭선량을 측정하기 위해 사용하였다. 평균유방모형판톱의 전후거리는 21cm, 좌우거리는 34.9cm 이었으며 조사면에서의 후방 경계면 거리는 21cm 이었다.

3) 측정 기기

(1) 전리함 선량 측정 기기 : IC-10 ion chamber가 사용되는 Wellhofer Dosimetrie WP 700 측정 기기를 사용하여 물 판 톱에서 방사선의 중앙선상에서의 깊이에 따른 방사선량을 측정하였다.

(2) 필름 선량 측정 기기 : Wellhofer Dosimetrie WP 700i (Wellhofer, Schwarzenbruck, Germany) 필

름 선량 측정 기기를 사용하여 폴리 스타이린 판 톱에서의 등선량 분포곡선을 구하였다.

(3) Thermoluminescence Dosimetry (TLD) 측정 기기 : TLD reader model 2800M (Cleveland, Ohio, U.S.A.)로 선량을 측정하였으며 Annealing Oven 으로는 PTW TLD-O (PTW-Freiburg, Freiburg, Germany) 를 사용하였다.

4) 측정 재료

(1) 필름 : Kodak X-omat V (Eastman Kodak Company, Rochester, New York, U.S.A.) 방사선 측정용 필름을 사용하였으며 판 톱내에 위치시킨 후 방사선을 조사하고 WP 700i 필름 선량 측정기기로 등선량 분포곡선을 구하였다.

(2) TLD Chip : 열발광 물질로서 LiF를 사용하여 제작된 것으로 3.1mm×3.1mm×0.9mm의 규격이며 ±5%오차내의 TLD chip을 선택하여 사용하였으며 평균 오차의 범위는 ±2.5% 였다.

2. 방법

1) 조직 등가물질내 심도 선량 측정

(1) 췌기를 사용하지 않은 상태에서 100모니터 단위의 6MV X선을 SSD 100, 15×15 조사면으로 조사하며 물판톱 내에서 전리함이 방사선의 중앙선을 따라 일정한 속도로 움직이도록 하여 WP 700 선량 측정기기로 심도선량을 구한다.

(2) 15°, 30°, 45°의 고정 췌기를 위치시킨 후 (1)과 같은 방법으로 측정을 시행한다.

(3) 15°, 30°, 45° 동적 췌기 기법을 사용하면서 WP 700 선량 측정기기로 심도 선량을 구하는데 동적 췌기 기법은 고정 췌기와는 달리 Independent Jaw 가 움직이면서 비대칭적으로 조사면이 변화하므로 상기한 (1)과 같은 방법으로 측정할 경우 측정 자료가 측정 위치와 측정시간의 차이에 따른 조사면의 변화를 동시에 반영하므로 해석하기에 어려우며 움직이는 Independent Jaw가 중앙선을 넘어서 중앙선을 차단하는 시점 이후로는 측정이 불가능해진다. 따라서 한번 방사선을 조사하며 그 사이에 전리함이 움직이는 것이 아니라 전리함을 물 판 톱의 표면으로부터 일정 깊이에 고정시킨 후 방사선량을 측정하여야 한다. 그 방법으로는 방사선 조사시마다 동적췌기를 사용하며 매번 방사선 조사시마다 각각의 일정 깊이에서 따로 측정을 시행하거나, 여러개의 전리함을 깊이에 따라 방사선의 중앙선에 일치하게 위치시킨 후 한번의 방사선 조사로 측정할 수 있다.두 방법 모두 측정 위치 사이의 간격을 어느정도로 하느냐가 측정 자료의 정확성

을 좌우할 수 있다는 단점을 가지고 있으며 후자의 방법이 실험 및 측정자료의 분석에 용이할 것으로 생각되었으나 측정장비의 설치가 어려워져서 후자의 방법을 선택하였으며 물판통의 표면으로부터 1cm 간격으로 측정을 반복 시행하였다.

(4) 개방조사시 및 고정 췌기의 사용시와 동적 췌기의 사용시의 측정방법에 약간의 차이가 있으며 측정된 자료의 형태도 서로 상이하므로 직접적으로 비교할 수 없어서 심도선량의 비교시는 필름 선량 측정을 사용하였으며 전리함으로 측정된 자료는 필름 선량 측정시 밀도를 선량으로 전환하는 전환함수의 보정 자료로 활용하였다.

2) 조직등가물질내 등선량 분포의 측정 및 판독

필름 선량 측정법은 여러가지의 오차 발생 요인을 가지고 있어서 절대적인 선량의 측정방법으로는 부적합한 것으로 알려져 있으나 방사선량 분포의 양상을 비교하는데 용이하며, megavoltage의 범위내의 광선을 측정하는데는 $\pm 3\%$ 의 오차내의 정확성을 가지고 있어 본 연구의 주 측정방법으로 선택하였다. 본 연구자가 선택한 측정 기법은 폴리스타이렌 판통의 중앙에 방사선의 중앙선과 평행하게 필름을 빈틈없이 밀착시킨 후 필름의 가장자리는 판통의 표면과 일치시켰으며 필름 봉투에는 모서리에 바늘로 구멍을 뚫어 공기가 빠져나가도록 하였다. 방사선 조사후 필름의 광학적인 밀도는 depth dependent sensitometric curve에 의해 방사선량과 상호 연관되는데, depth dependent

sensitometric curve는 기준 조사면에서 (본 연구에서는 $15 \times 15\text{cm}$) 이미 알려진 중앙축 선상의 깊이에 따른 방사선량 자료를 통하여 구할 수 있으며 컴퓨터에 의해 제어되는 밀도측정기와 컴퓨터 프로그램의 개발로 밀도를 선량으로 전환하는 것이 실질적으로 사용 가능하여졌다¹⁰⁾. 본 저자들은 Wellhofer Dosimetrie WP 700i system에서 제공하는 밀도-선량 전환 무늬에 의한 전환함수를 사용하였으며 기존의 측정 자료로서 2-1)에서 측정된 자료를 이용하였다¹¹⁾.

(1) 등선량 분포의 측정

가) 췌기를 사용하지 않은 상태에서 6MV X선을 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 의 조사면으로 100 모니터 단위로 조사하고 이때 폴리스타이렌 판통의 중앙에 방사선의 중앙선의 방향과 측정용 필름의 면을 평행하게 맞추어 위치시킨다.

나) 15° , 30° , 45° 고정 췌기를 위치시킨 후 130 모니터 단위로 가)와 같은 방법으로 조사한다. 이때 필름의 위치는 췌기의 모양과 일치하여야 하며 췌기의 사용에 따른 선량 감소를 고려하여 모니터 단위를 130으로 늘려 주었다.

다) 15° , 30° , 45° 동적 췌기 기법을 쓰면서 120 모니터 단위로 나)와 같은 방법으로 조사한다. 이때 모니터 단위는 independent jaw의 움직임에 따른 각 구간마다의 가중치인 구간 치료 계획표를 고려하여 선택하였다.

Table 1. Percent Depth Dose by Film Dosimetry Using Method of Isodensity-to-Isodose Curve Conversion

depth (cm)	15° dynamic wedge	30° dynamic wedge	45° dynamic wedge	15° fixed wedge	30° fixed wedge	45° fixed wedge	open field
1	91.8	92.6	95.3	79.3	79.2	76.3	97.3
3	96.9	96.8	96.1	97.5	97.5	97.7	95.8
5	91.1	90.6	89.1	90.2	90.2	90.2	87.7
7	81.8	81.1	80.4	82.2	82.3	82.5	80.0
9	74.0	73.9	73.7	75.1	75.1	75.5	72.7
11	66.3	66.6	67.2	68.4	68.4	68.8	65.9
13	59.2	59.7	60.6	61.8	61.9	62.5	59.6
15	52.1	52.9	54.2	55.9	56.4	57.3	54.0
17	43.6	47.2	48.9	50.4	51.1	52.0	48.4
19	38.8	41.9	44.1	45.7	46.2	47.0	43.7
21	33.7	36.5	39.1	41.3	41.6	42.4	39.4
23	28.7	33.1	34.7	37.4	37.6	38.6	35.6
25	21.9	25.5	29.1	33.8	34.1	35.0	31.9
Rmax	1.68	1.66	1.62	2.03	2.03	2.03	1.57
R80	7.21	7.26	7.10	7.61	7.66	7.71	6.96
R50	15.30	15.87	16.59	17.09	17.40	17.75	16.35

* Rmax ; depth of maximum % depth dose
R80 ; depth of 80% depth dose
R50 ; depth of 50% depth dose

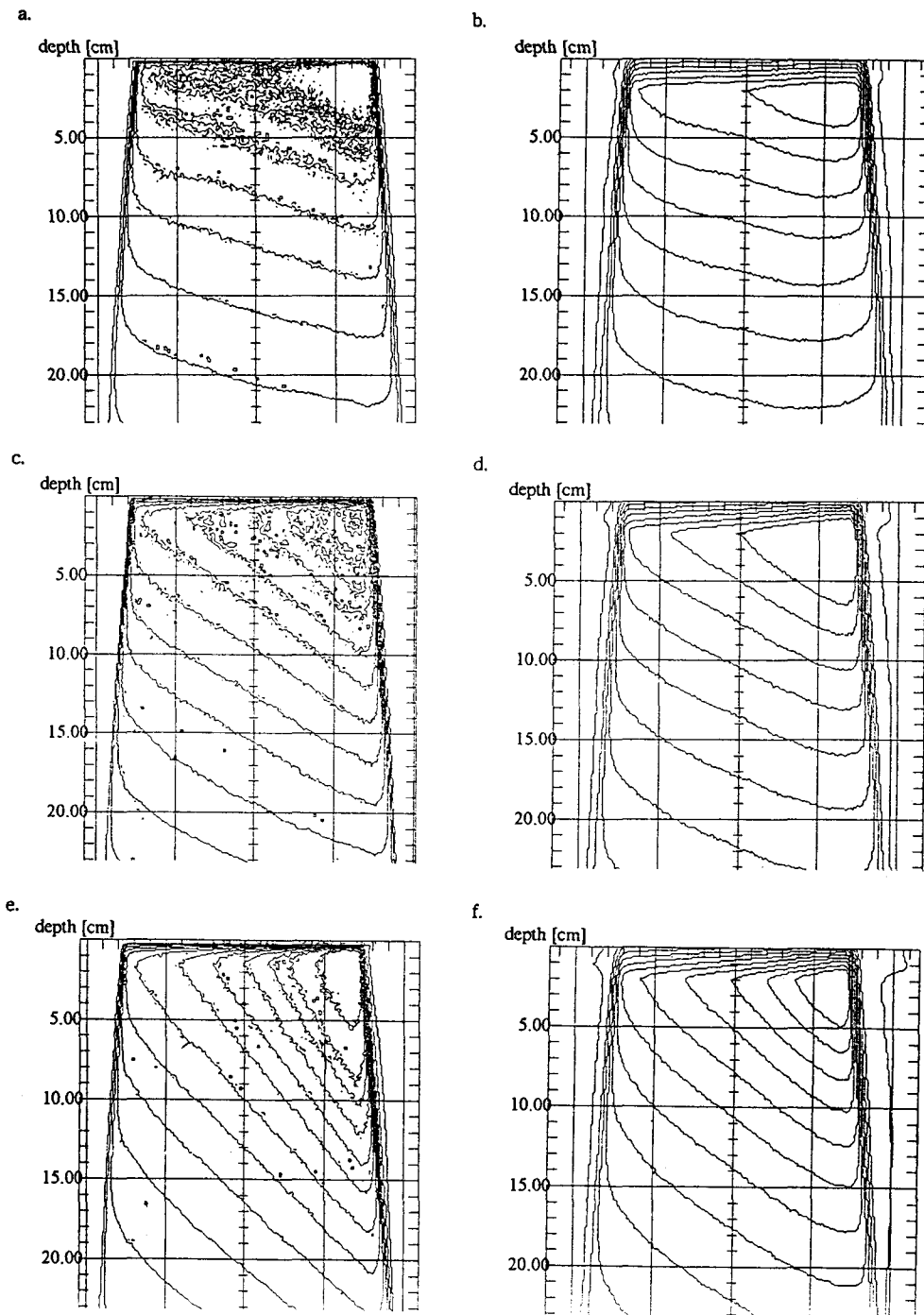


Fig. 1. Isodose curves on 6MV X-ray, 15x15cm field size.
a. 15° dynamic wedge technique b. 15° fixed wedge technique
c. 30° dynamic wedge technique d. 30° fixed wedge technique
e. 45° dynamic wedge technique f. 45° fixed wedge technique

(2) 측정 필름의 판독

가) 측정 필름의 판독은 먼저 가)에서 구한 심도선량 자료를 이용하여 Wellhofer Dosimetrie WP 700i system이 제공하는 depth dependent sensitometric curve에 근거한 무른모를 이용하여 필름의 광학적인 밀도를 선량으로 전환하는 전환함수를 구한다.

나) 개방 조사 및 고정 췌기와 동적 췌기를 사용하여 측정한 필름을 가)에서 구한 전환함수로 필름 밀도를 선량으로 전환하여 등선량 분포 곡선을 구한다.

3) 반대측 유방 피폭선량 (Contralateral Breast Dose, CBD) 측정

(1) 평균 유방 모형 판독을 이용하여 접선 조사방식으로 임상적인 방사선치료에서와 같은 치료 계획하에서 내측 접선의 내측 경계로부터 반대측 유방으로 1cm 간격으로 TLD Chip 을 위치시킨 후 180 모니터 단위를 조사하였다. 췌기 각도는 15도와 30도를 사용하였으며 반대측 유방으로 산란되는 정도를 비교하기 위한 실험이므로 췌기를 사용하는 경우에도 180 모니터 단위를 조사하였다.

(2) TLD Chip 은 측정 전에 Preannealing 과정으로 400℃에서 1시간 100℃에서 4시간 동안 PTW TLD-O oven으로 가열하고, 측정후 판독하기 전에 100℃에서 1시간 동안 가열 후 TLD reader model 2800M으로 피폭선량을 판독하였다.

(3) 상기와 같은 방법으로 TLD 측정을 3회 시행후에 중간값을 취하였으며 각 측정치가 표준오차를 벗어나는 경우 측정을 다시 반복 시행하였다.

결 과

1. 조직내 %심도 선량

방사선의 중앙선에서의 심도선량을 %심도선량으로 나타내면 췌기를 사용하지 않은 개방 조사면에서는 10cm 깊이의 %심도선량은 68.7%였으며 80%심도선량의 깊이는 6.96cm, 50% 심도선량의 깊이는 16.35 cm 이다. 45o 고정 췌기를 사용한 경우 10cm 깊이의 %심도선량은 71.8% 였으며 80% 심도선량의 깊이는 7.71cm, 50% 심도 선량의 깊이는 17.75cm 이었고, 45° 동적 췌기를 사용했을 때는 10cm 깊이에서의 % 심도선량은 70.5%이며 80% 심도선량의 깊이는 7.10cm, 50% 심도선량의 깊이는 16.59cm 이었다. 고정 췌기의 경우 췌기를 사용함으로써 일정 깊이에서의 %심도선량이 커지고 일정 %심도선량의 깊이는 깊어짐을 알 수 있었고 동적 췌기를 사용할 경우 그 차이는 상대적으로 적었으며 이는 15°, 30° 췌기의 경우에

도 마찬가지로였다(Table 1).

2. 조직내 등선량 분포 곡선

조직내 등선량 분포 곡선은 Fig. 1과 같으며 10cm 깊이에서의 췌기 각도는 15° 고정 췌기의 경우 13.05°, 30° 고정 췌기의 경우 26.57°, 45° 고정 췌기의 경우에는 37.53°였다. 반면 동적 췌기의 경우 10cm 깊이에서의 췌기 각도는 15° 췌기의 경우 16.79°, 30° 췌기의 경우 30.93°, 45° 췌기의 경우 47.76°였다.

또한 췌기 각도를 이루는 등선량 분포곡선의 경우 고정 췌기는 조사야 경계로 갈수록 곡선을 이루는 경향을 보여주고 있으나 반면 동적 췌기의 경우 췌기 각도를 이루는 등선량 분포곡선이 거의 직선에 가까운 양상이었다(Fig. 1).

3. 반대측 유방 피폭 선량

반대측 유방의 피폭선량은 동적 췌기를 사용할 경우 조사면 경계로부터 측정하여 보면 유방 치료 선량

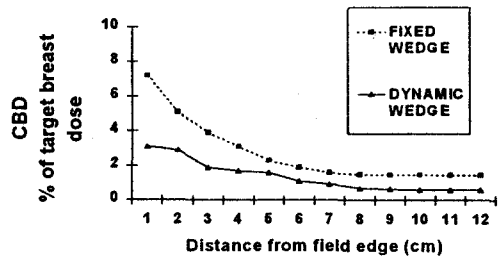


Fig. 2. CBD (% of target breast dose) by treatment technique. * 15 degree wedge was applied

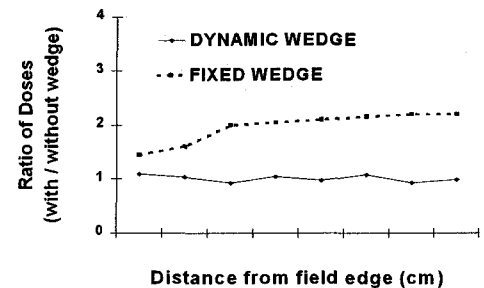


Fig. 3. Ratio of CBDs (with/without wedge). * 6MV X-ray, SAD 100, SWD 57 ** 15 degree wedge was applied

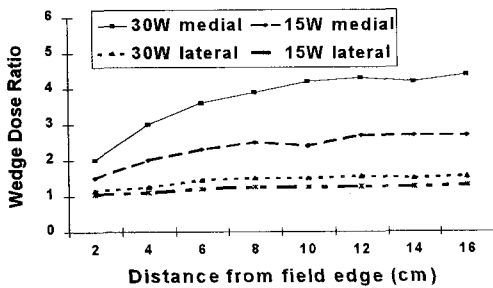


Fig. 4. Wedge dose ratio.
 * wedge dose ratio=CBD due to fixed wedge field irradiation/CBD due to dynamic wedge field irradiation
 * medial = medial tangential irradiation
 lateral = lateral tangential irradiation

의 3-0.5% 정도가 피폭되며 이는 고정 췌기를 사용하는 경우의 5.5-1% 와 비교하여 볼 때 감소되는 양상이었다(Fig. 2). 이를 개방 조사면과 비교해 보면 동적 췌기는 거의 변화가 없었으나 고정 췌기는 약 2배 정도였으며(Fig. 3) 고정 췌기와 동적 췌기를 대비하였을 때 반대측 유방의 피폭선량의 차이는 주로 내측 접선 조사에 의해서이며 췌기 각도가 커질수록 그 차이가 컸다(Fig. 4).

고 찰

동적 췌기는 고정 췌기와 췌기 모양의 등선량 분포 곡선을 만든다는 점에서는 서로 유사하나 그 기본 원리는 서로 상이하다. 즉 고정 췌기는 일정선량의 방사선이 고형의 차폐물을 통과하면서 생기는 방사선량의 감쇠의 차이로 등선량 분포 곡선의 변화를 주는 반면 동적 췌기 기법은 방사선량의 감쇠의 차이가 아니라 조사범위를 일정한 구간으로 나누어 각 구간마다의 조사선량에 차이를 줌으로써 췌기모양의 등선량 분포 곡선을 얻게 되는 것이다.

따라서 고형 차폐물이 이용되는 고정 췌기와는 그 방사선 물리학적 특성도 다르게 되는데 Leavitt 등⁸⁾은 Varian 2100 C 선형 가속기를 이용한 동적 췌기 기법을 보고하며 기존의 상용 고정 췌기에 비해 넓은 조사면에서 사용 가능하며, 췌기 각도를 임상적인 필요에 의해 어느 깊이에서든지 정의할 수 있고, 같은 조사야 내에서 치료 구역 별로 서로 다른 췌기 각도를 갖는 등선량 분포 곡선을 얻을 수 있으며, 동일한 조건하에서 동일한 깊이에 동일한 방사선량을 조사할 경우 동적 췌기 기법을 사용할 경우 최대선량이 고정 췌

기에 비해 크다는 점을 그 특성으로 보고하며 동적 췌기 기법이 기존의 고정 췌기에 비해 치료 시간이 많이 걸리는 것을 단점으로 제시하였다.

본 연구에서도 고정 췌기와 동적 췌기의 %심도 선량을 비교하여 보면 다른 보고¹¹⁾에서와 마찬가지로 고정 췌기에서는 차폐물에 의한 방사선의 경화 현상으로 심도 선량 깊이가 깊어지는 것을 관찰할 수 있었으며 동적 췌기의 경우에는 심도 선량이 깊어지는 현상을 관찰할 수 없었으며 상대적으로 개방 조사면과 유사한 %심도선량분포를 보였다. 그러나 그 차이가 크지는 않았으나 개방 조사면과는 다른 %심도 선량 분포를 보여 주었다.

비대칭적인 콜리메이터에 의한 조사면에서는 심도 선량깊이가 변하지 않는 것으로 알려져 있으며⁷⁾ 동적 췌기의 경우에도 비대칭적인 콜리메이터에 의한 선량 분포의 변화이므로 방사선의 중앙선에서의 %심도선량은 개방 조사면과 비교할 때 변화가 없어야 하나 본 연구에서는 크지는 않으나 심도 선량 깊이가 깊어지는 현상이 나타났는데 이는 측정상의 오차이거나, 동적 췌기 기법에 따른 변화로 해석할 수 있는데 심도 선량을 측정할 중앙선도 Independent Jaw가 차폐하기 때문에 구간 치료 계획표에서 Independent Jaw가 중앙선을 차단하는 동안에는 방사선의 산란선에 의한 영향만을 받게 되는데, 이러한 차이 때문에 개방 조사면과 다른 %심도 선량을 나타내는 것으로 생각한다. 또한 동적 췌기의 경우에 Independent Jaw가 중앙선을 차단하는 시간이 길어질수록, 즉 췌기각도가 커질수록 %심도 선량의 차이가 커지므로 근본적인 원인은 후자의 경우일 가능성이 높을것으로 생각하며 물론 개방 조사면과 동적 췌기 기법 사용시의 필름을 관독할 때 보정자료로 사용한 전리함 측정 방법의 차이에 따른 밀도-선량 전환함수의 오차 및 필름 선량 측정법 자체가 가질 수 있는 오차일 가능성도 배제할 수는 없다. 그러나 자료를 제시하지는 않았으나 같은 조건하의 반복 측정에서도 일관된 결과를 보여주고 있어 그러한 가능성은 상대적으로 적을것으로 생각한다. 또한 비대칭적인 조사면에 대한 심도선량의 측정은 Independent Jaw가 방사선의 중앙선을 차단하지 않는 범위내에서 여러 종류의 비대칭적인 조사면에서의 심도 선량을 측정할 것이므로 방사선이 중앙선을 차단하게 되는 동적 췌기 기법에 따른 선량분포를 측정할 본 연구의 결과와 직접적으로 비교하기는 어려울 것으로 생각한다.

등선량 분포곡선의 변화를 보면 고정 췌기의 경우는 10×10 조사야에서 10cm 깊이에서의 췌기 각도로

제작되었기 때문에 15×15 조사면의 경우 썰기 각도가 변하였으나 동적썰기에서는 알려진 바와 같이 정확한 썰기 각도의 등선량 분포곡선을 보여 주었다. 이는 구간 치료계획표상의 구간당 모니터 단위를 조절함으로써 원하는 조사면, 원하는 깊이에서 원하는 썰기각도를 얻을 수 있음을 시사한다.

또한 고정 썰기의 경우 편평 필터의 영향으로 조사면의 경계로 갈수록 썰기 각도를 나타내는 등선량 분포곡선이 곡선형을 이루나 동적 썰기에서는 썰기 각도를 이루는 등선량 분포곡선이 조사야 경계면에서도 직선형이었다. 이는 그 자체적으로는 큰 의미가 없으나 동적 썰기 기법에서는 구간당 모니터 단위를 조절함으로써 동일 치료 조사면에서 여러가지 썰기 각도를 각 구간별로 따로 나누어 형성할 수 있기 때문에 향후 실질적으로 임상에서 응용한다면 여러가지 썰기 각도를 각 구간마다 조합하여 굴곡이 진 등선량 곡선을 쉽게 계획함으로써 동적 썰기 기법 한가지만으로도 다양한 등선량 분포 곡선을 만들 수 있으므로 여러가지 치료 기술이 필요한 치료계획을 동적썰기기법 한가지로 단순화시킬 수 있다는 장점이 될 것으로 생각한다. 또한 동적 썰기기법은 구간별 치료계획표대로 한쪽 콜리메이터가 한 구간씩 좁아지면서 방사선이 조사되므로 계단 모양의 등선량 분포곡선이 생길 것으로 생각되었으나 깊이가 깊어질수록 감소하여 15cm 정도의 깊이 이후로는 그러한 현상이 거의 없이 부드러운 직선형태를 취하였는데 이는 판툼 산란선의 영향으로 생각되었다.

실제적인 임상 응용을 살펴보면 최근 유방 보존술에서의 방사선 치료후 반대측 유방의 이차적인 유방암의 발생이 보고되면서¹²⁾ 비록 그 발생 빈도와 반대측 유방 피폭선량과의 관계가 명확히 밝혀지지는 않았으나 그 가능한 위험성을 낮추기 위해 반대측 유방의 피폭선량을 줄일 수 있는 여러가지 방법들이 제시되고 있으며 동적 썰기 기법이 유방암의 접선 조사 방식에서 반대측 유방으로의 피폭선량의 감소시킬 수 있는 방법의 하나로 제시되고 있다¹³⁻¹⁵⁾. 실제로 유방암의 접선조사 방식에서 반대측 유방 피폭선량의 대부분은 내측 접선 조사시의 산란선인데 이상적인 선량 분포를 위해 고정 썰기를 사용시 산란선이 증가하게 된다¹⁶⁾. 반면 동적 썰기 기법에서는 이론상 산란선량은 개방 조사시와 같으며, Independent jaw 에 의한 비대칭 조사면에서도 대칭적인 콜리메이터에 의한 일반적인 조사면과 비교하였을 때 콜리메이터에 의한 산란 인자는 동일하다는 보고도 있다^{1, 7)}. 본 연구에서도 동적 썰기 기법은 반대측 유방 피폭선량은 고정 썰기에 비

해 약 1/2 정도 감소시킬 수 있었으며 이는 개방 조사면과 같은 산란선의 양이었다.

동적 썰기의 임상적인 유용성은 유방암의 방사선 치료에서와 같이 산란선을 감소시킬 수 있다는 점 뿐만 아니라 고정썰기와 같은 별도의 차폐물 없이 여러가지 썰기 각도를 결합하여 다양한 모양의 등선량 분포곡선을 만들 수 있다는 점이다. 이러한 특성은 신체의 굴곡부위에 맞추어 등선량 분포곡선을 변화시킴으로써 조직내 등선량 분포곡선을 좀 더 이상적으로 구성할 수 있다. 이러한 프로그램이 실용화되고 더 나아가서 방사선원이 치료 부위를 회전하며 정상적인 조직에는 최소한의 방사선을 조사하면서 치료 부위에 최대한의 방사선량을 조사하고자 하는 Dynamic Conformal Radiation Therapy에서 컴퓨터에 의해 Dynamic Wedge system이 동시에 제어되어 비대칭적인 조사면을 회전하며 변화시킨다면 회전 단면상에서는 어떠한 선량분포도 만들어 낼 수 있으므로 중요한 역할을 담당하게 될 뿐만 아니라 무궁한 유용성을 갖게 될 것이다. 물론 아직까지는 동적 썰기 기법이 초기 단계이므로 더 많은 측정 자료와 이에 기초하여 다양한 동적 썰기 기법을 구사할 수 있는 실용적인 수학적 연산식의 개발이 필요할 것이며 이를 응용할 수 있는 무른모의 개발이 필요할 것으로 생각하나 컴퓨터 기술의 발전에 비추어 볼 때 향후 방사선 치료에 있어서 다양한 유용성을 제공할 수 있으리라 믿는다.

결 론

조직 등가물질인 판툼을 대상으로 동적 썰기와 고정 썰기의 조직내 방사선량 분포의 특성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 조직내 %심도 선량은 고정 썰기의 경우 심도 선량 깊이가 깊어지는 방사선의 경화 현상이 뚜렷하였으나 동적 썰기의 경우에는 상대적으로 그 정도가 적었으며 오히려 개방 조사면과 유사하였다.
- 2) 조직내 등선량 분포 곡선을 보면 동적 썰기의 경우 고정 썰기와는 달리 원하는 깊이, 원하는 조사면에서 원하는 썰기 각도를 얻을 수 있었으며 썰기 각도를 이루는 등선량 분포 곡선이 직선적이었다.
- 3) 산란선량은 동적 썰기의 경우 개방 조사면과 그 양이 거의 동일하였으며 유방보존술에서의 접선 조사 방식의 방사선치료에서 고정 썰기 대신에 동적 썰기를 사용함으로써 반대측 유방으로의 피폭선량을 감소시킬 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 동적 썰기 기법은

기존의 고정 췌기를 대체할 수 있을 뿐만 아니라 그 단점을 보완해주며 향후 더 다양한 임상적인 유용성을 가질 수 있으리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. **Khan FM.** The physics of radiation therapy. 2nd ed. Maryland, Williams & Wilkins, 1994, pp234-239
2. **Bentel GC.** Radiation therapy planning, including problems and solutions. New York, Macmillan publishing company, 1992, pp72-76
3. **Cheng CW, Chin LM.** A computer aided treatment planning technique for universal wedges. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1987; 13:1927-1935
4. **Petti PL, Siddon RL.** Effective wedge angle with a universal wedge. *Phys Med Biol* 1985; 30: 985-991
5. **Levene MB, Kijewski PK, Chin LM, Bjarngard BE, Hellman S.** Computer-controlled radiation therapy. *Radiology* 1978; 129:769-775
6. **Kijewski PK, Chin LM, Bjarngard BE.** Wedge-shaped dose distributions by computer-controlled collimator motion. *Med Phys* 1987; 5:426
7. **Khan FM, Gerbi BJ, Deibel FC.** Dosimetry of asymmetric x-ray collimators. *Med Phys* 1986; 13: 936-941
8. **Leavitt DD, Martin M, Moeller JH, Lee WL.** Dynamic wedge field technique through computer-controlled collimator motion and dose delivery. *Med Phys* 1990; 17:87-91
9. **Cross P, Joseph DJ, Cant J, Cooper SG, Denham JW.** Tangential breast irradiation: simple improvements. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992; 23:433-442
10. **Williamson JF, Khan FM, Sharma SC.** Film dosimetry of megavoltage photon beams: a practical method of isodensity-to-isodose curve conversion. *Med Phys* 1981; 8:94-98
11. **Kalend AM, Wu A, Yoder V, Maitz A.** Separation of dose-gradient effect from beam-hardening effect on wedge factors in photon fields. *Med Phys* 1990; 17:701-704
12. **Cumberlin RL, Dritschilo A, Mossman KL.** Carcinogenic effects of scattered dose associated with radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 17:623-629
13. **Fraass BA, Roberson PL, Lichter AS.** Dose to the contralateral breast due to primary breast irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1985; 11:485-497
14. **Kurtz JM, Amalric R, Brandone H, Ayme Y, Spitalier JM.** Contralateral breast cancer and other second malignancies in patients treated by breast-conserving therapy with radiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1988; 15:277
15. **Tercilla O, Krasin F, Lawn-Taso L.** Comparison of contralateral breast doses from 1/2 beam block and isocentric technique for patients treated with primary breast irradiation with ⁶⁰Co. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 17:205-210
16. **Brown LH, Siddon RL, Bjarngard BE.** Scatter dose for wedged fields. *Phys Med Biol* 1987; 32:1321-1326

= 국문초록 =

동적 썬키와 고정 썬키의 조직내 방사선량 분포의 특징

연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실

오영택 · 금기창 · 추성실 · 김귀언

목적 : 방사선 치료에 있어서 조직내 등선량 분포곡선을 변형시킬 목적으로 썬키 차폐물이 사용되고 있는데 최근 기존의 고정 썬키와는 다르게 비대칭적인 콜리메이터인 Independent Jaw 에 의해 등선량 분포곡선을 변형시키는 동적 썬키 기법이 실용화 되고 있으나 아직 그 방사선 물리적인 특성에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 이에 본 저자는 기존의 고정 썬키와 비교하여 조직내 방사선량 분포의 특성을 알아보고자 본 연구를 계획하였다.

대상 및 방법 : 물 판툼, 폴리 스타이린 판툼, 평균 유방 모형 판툼을 대상으로 전리함, 필름, TLD 등을 이용하여 동적 썬키와 고정 썬키의 선량 분포를 측정하여 비교하였다. 방사선원은 선형 가속기의 6MV x선을 사용하였고 15x15 조사면에서 15, 30, 45도 썬키를 이용하였다. 조직내 선량 분포는 전리함과 필름 선량계를 사용하였고, 유방 접선 치료방식에서의 반대편 유방 조사 선량은 TLD를 사용하였다.

결과 :

1) 조직내 %심도 선량은 고정 썬키의 경우 심도 선량 깊이가 깊어지는 방사선의 경화 현상이 뚜렷하였으나 동적 썬키의 경우에는 발견할 수 없었으며 그 %심도선량은 개방 조사면과 유사하였다.

2) 조직내 등선량 분포 곡선을 보면 동적 썬키의 경우 고정 썬키와는 달리 원하는 깊이, 원하는 조사면에서 원하는 썬키 각도를 얻을 수 있었으며 썬키 각도를 이루는 등선량 분포 곡선이 고정 썬키에 비해 더욱 직선적이었다.

3) 산란선량은 동적 썬키의 경우 개방 조사면과 그 양이 거의 동일하였으며 유방보존술에서의 접선 조사방식의 방사선치료에서 고정 썬키 대신에 동적 썬키를 사용함으로써 반대측 유방으로의 피폭선량을 감소시킬 수 있었다.

결론적으로 동적 썬키 기법은 단순히 고정 썬키를 대체할 수 있을 뿐만 아니라 고정 썬키의 단점을 보완해 줄 수 있으며 향후 방사선 치료에 있어서 더 다양한 유용성을 가질 수 있으리라 생각한다.