

유방암 치료에서 가상썰기의 유용성평가

가톨릭대학교 강남성모병원 치료방사선과

오택열, 김희남, 박남수

1. 목적

유방암 치료시 균등한 선량분포를 얻기 위해 썰기를 사용하게 되는데, 최근 빔 조사중에 콜리메이터를 움직임으로서 썰기 형태의 선량분포를 얻을 수 있는 가상썰기(Virtual Wedge)가 등장하게 되었다. 본 논문에서는 유방암 치료시 기존썰기와 가상썰기의 물리적 특성 및 선량분포도를 비교, 분석하여 가상썰기의 유용성 평가를 하고자 한다.

2. 방법

본 실험을 위하여 Siemens사 선형가속기(Digital Mevatron)에서 발생된 6MV X선을 이용하여, 썰기각도 15도, 30도에서 기존썰기와 Siemens사에서 개발한 가상썰기의 특성을 비교하기 위해 열형광선량계(TLD)를 이용하여 표면선량, 주변선량, 치료반대방향의 유방선량 및 폐 선량을 측정하였으며, 치료계획시스템(Helax 5.0)으로 비교, 분석하였다.

3. 결과

가상썰기는 빔 경화(Beam hardening effect)가 없고 산란선 발생이 작기 때문에 기존썰기에 비해 가상썰기 30도에서 표면선량 0.6%증가, 주변선량 2.33%감소, 반대방향 유방선량 2.9%감소, 폐 선량 6%감소를 보였으며 가상 썰기15도에서 표면선량 0.3%증가, 주변선량 0.1%감소, 반대유방선량 1.1%감소, 폐 선량 2.8%감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

유방암 치료에서 15도, 30도 가상썰기 이용 시 유방선량 균등도가 향상되었으며, 주변선량, 반대유방선량, 폐 선량은 기존 썰기에 비해 감소되어 바람직하게 평가되었으나, 빔 경화(beam hardening effect) 현상을 기대 할 수 없어 표면 선량은 증가되었다. 그러나 유방암 중앙 특성에 따라 즉 피부 궤양 환자나 완전히 절제한 환자에서는 피부에 높은 선량이 요구되어 가상썰기가 유용하게 이용될 수 있다.

또한 썰기 사용시 발생하는 조사야의 제한을 받지 않으므로 Mono Isocenter Technique을 적용할 수 있으며 출력선량의 낭비가 없어 치료시간을 단축시킬 수 있다. 본 실험을 통하여 유방암 치료시 가상 썰기가 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였으며 다른 부위에도 적용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 가상 썰기는 육안 확인이 어렵기 때문에 주기적인 정도 관리가 요구되며 치료 데이터를 선형가속기에 전송시켜주는 전산화시스템으로 관리하는 것이 인위적인 실수를 방지할 수 있어 바람직하다.

I. 서론

유방암 치료에 있어서 방사선치료는 수술요법 약 물요법과 병행하여 매우 중요한 치료중하나이다. 유방아래 위치한 폐(lung)를 보호하기 위해 접선조사(Tangential Irradiation)방법을 이용하는데 불규칙하게 돌출된 유방 형태로 인해 종양선량(Target Volume)에 불균등한 선량조사가 이루어진다. 이때 불균등한 선량을 개선하기 위해 썰기필터(Physical Wedge)를 이용하게된다. 기존썰기 필터는 선량을 감약시키며, 빔 경화(beam hardening effect) 현상 및 불필요한 산란선을 생성하고 예기치 못한 물리적 충돌의 위험성을 내포하고 있으며, 감약된 선량을 물리적으로 계산하여 보상해 주어야하므로, 조사선량증가에 따라 방사선조사시간이 길어지며 산란선의 증가로 반대편유방 및 조사야 주변선량을 증가시켜, 젊은 여성(young aged women)에서 방사선 발암인자(radiation induced carcinogenesis)의 위험성을 증가시킬 수 있어 방사선에 따른 급·만성 부작용이 문제시되어 왔다. 또 조사야 크기, 썰기 각(wedge angle)이용을 제한하고 있어 유방암 치료에 이상적인 선량분포를 만들어 내는데 한계가 있다.

최근 선형가속기의 디지털(digital)장비 등장으로 콜리메이터 움직임을 컴퓨터에 의해 조정하여(1978년 Kijewski에 의해 최초 개념정리)⁽¹⁾ 기존썰기보다 다양한 썰기 각을 만들어 낼 수 있어 선량분포도 변화 범위를 넓힐 수 있으며, 조사야 크기에 따른 썰기(Virtual Wedge)사용 제한을 받지 않고 사용 가능하여 큰 조사야(large field)가 요구되는 유방암 접선조사 기법에서 방사선치료에 효율성을 높일 수 있다.(Leavitt에 의해 처음 사용)⁽²⁾ 국내 치료 방사선 기술학회에서도 콜리메이터 움직임을 이용한 가상썰기 필터(Virtual Wedge)의 물리적 특성이, 기존 썰기에 비해 깊이와 조사면 크기의 변화에 따른 썰기인자 변화가 거의 없다는 보고가 있다.⁽³⁾

본 연구에서는 유방암 방사선 치료에서, 가상썰기 필터(virtual wedge) 사용 시 주변선량(peripheral

dose), 치료 유방선량(breast dose), 표면선량(surface dose), 반대 유방선량(contralateral dose), 치료시간 등을 기존썰기(physical wedge)와 비교 분석함으로써 유방암 방사선치료에서 가상썰기의 유용성을 평가하고자 한다.

II. 재료 및 실험방법

1. 사용장비

Digital Mevatron Mx(Siemens 사 U.S.A)
Alderson Random Phantom
TLD(Harshow U.S.A.)
Picker CT Simulator(U.S.A.)
Helax 5.0(RTP system Sweden)

2. 가상썰기(Virtual Wedge)의 원리

콜리메이터 중 상위 콜리메이터(Y jaw)의 속도와 Dose rate를 변화시킴으로써 원하는 썰기 형태의 선량분포를 만들어 낼 수 있다.

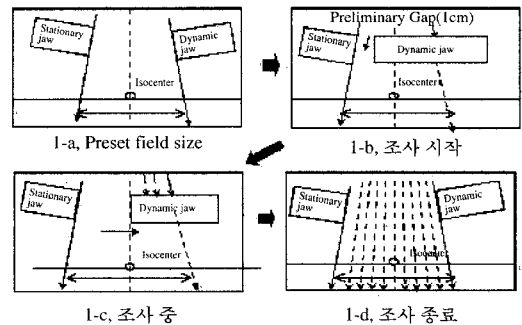


fig.1. The process of collimator movement to create wedge like dose distribution

fig 1-a는 setup 상태의 고정 콜리메이터(stationary jaw)와 움직이는 콜리메이터(dynamic jaw)가 결정되는데 고정된 콜리메이터는 기존 썰기의 Toe 부위에 해당하고, 움직이는 콜리메이터는 heel부위에 해당된다. fig 1-b는 준비(ready)상태로써 일정한 간격(1cm)유지하고 빔(beam)조사를 시작하는데 지멘스 사 가상썰기는 1cm간격을 유지하게 되어 있다. 썰기

방향(wedge direction)으로 대칭 조사야의 경우 최대 21cm까지 가능하다. fig 1-c는 빔의 조사중에 콜리메이터가 움직이면서 조사야의 크기와 쉐기각에 따라 이동속도와 선량률이 달라지게 된다. fig 1-d는 조사를 마친 상태로써 처음 setup 상태와 같다.

3. 기존썰기(physical wedge)와 가상썰기(virtual wedge)선량분포도(beam profile) 비교

6MV X 광자선을 이용하여 대칭 조사야 크기 10X10cm²으로 하여 최대선량 깊이(Dmax 1.5cm)와 깊이 10cm에 X-omat V film을 위치하고 각각의 명목상 썰기 각(15, 30, 45, 60)에서 선원 표면간 거리 100cm에서 조사한 후 Video densitometer로 film scanning하여 비교 분석하였다.(fig 2)

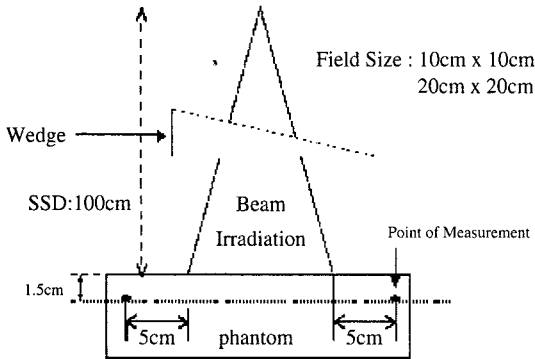


fig. 2. Diagram of experimental set up for beam profiles beam profiles were measured at depth of d_{max} and 10cm with film placed in solid water phantom. source to surface distance was 100cm with field size $10 \times 10\text{cm}^2$ for beam profiles of several wedge angle

4. 주변 선량(peripheral dose) 측정

기존썰기와 가상썰기의 주변선량을 측정하기 위하여 조사거리 (SAD 100cm), 6MVX 광자선을 이용한 대칭 조사야 크기 $10 \times 10\text{cm}^2$, $20 \times 20\text{cm}^2$ 에서 조사야 밖의 5cm 거리에 위치한 1.5cm 깊이에 평판형 검출기(Marker chamber)를 고정하고 명목상 썰기 각

15, 30, 45, 60를 조사야 크기 변화에 따른 주변선량을 측정하였다.(fig. 3)

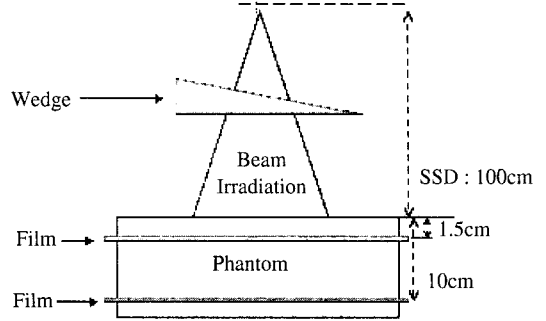


fig. 3. Diagram of experimental set up for peripheral dose peripheral dose were measured at depth of d_{max} with plane parallel chamber placed 5cm away from field edge

5. 전산화 모의 치료(CT Simulation)

가상 유방암 방사선치료를 위해 인체모형(humanoid phantom)을 이용한 컴퓨터 단층촬영을 하고 Graphic Workstation(Voxel)에서 가상 모의치료를 시행한 데이터를 치료계획장치(RTP Helax 5.0)에 입력하여 치료부위를 비대칭 조사야 접선조사(Tangential Irradiation) 기법으로 하였다. 선량 표준화(normalization)는 가상 중심선상에 하여, 기존 썰기와 가상썰기(15, 30도)를 각각의 선량 값(monitor unit)을 계산하였다. (fig. 4)

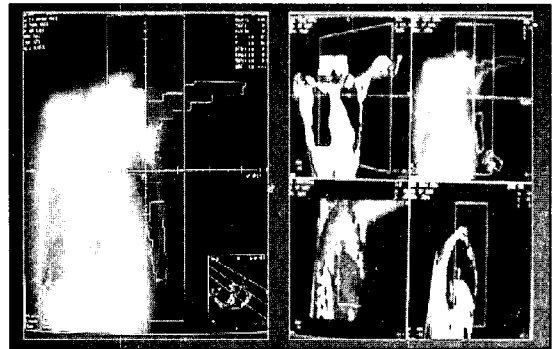


fig. 4. The CT Simulation of Humanoid Phantom

6. 인체모형(Humanoid Phantom)에서 측정

치료계획장치에서 계산된 선량 값으로 실제 치료와 동일하게 조사하여, 유방선량, 표면선량, 주변선량, 반대유방선량, 폐 및 심장선량 등을 열형광선량계(TLD)를 이용하여 각각 3회 반복 측정하여 비교 분석하였다.(fig. 5) 측정직전에 각각의 열형광선량계는 교정하였으며, 측정 후 즉시 TLD analyzer (Harshaw 500-A TLD analyzer)로 측정값을 얻었다.

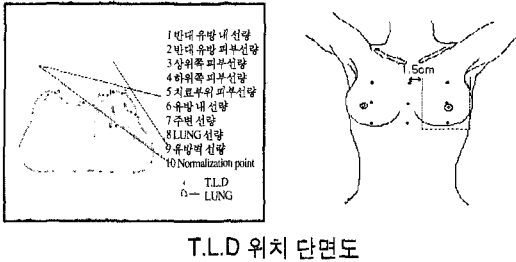


fig. 5. TLD were used to measure dose at the several points within anthropomorphic phantom equipped with segmented tissue-equivalent plastic breast prosthesis containing polystyrene plugs into which TLD ribbons could be inserted

7. 실제 방사선치료환자에서 in vivo dosimetry

7명의 환자에서 치료유방의 피부, 반대편 유방의 피부, 조사야 경계에서 5cm 떨어진 부위의 주변 피부에 각각 3지점을 정하여 피부선량을 열형광선량계(TLD)로 측정하여 인체 팬텀 측정치와 비교하였다. 치료유방피부 및 반대편 유방피부선량 측정부위를 지나는 Y 선상에서 각각 5cm 씩 떨어져 있는 3지점으로 같은 환자에서 3회 반복하여 측정하여 측정치의 평균을 구하였다.

III. 결 과

1. 기존짜기와 가상짜기의 선량분포도 (beam profile)비교

6MVX 광자선을 이용하여 조사야 크기 $10 \times 10\text{cm}^2$ 에서 최대 선량깊이(Dmax 1.5cm)와 깊이 10cm에서 X-omat V film으로 비교한 결과 기존짜기와 가상짜

기 각(15, 30, 45, 60)도의 조사거리(SAD 100cm)에서 거의 유사한 선량분포도를 얻었다. (fig. 6)

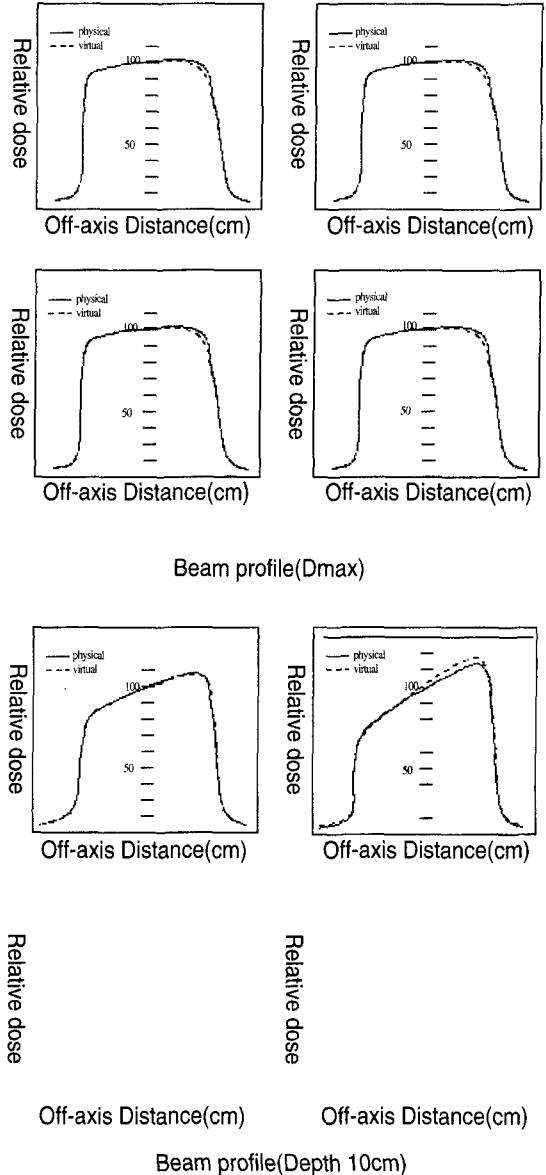


fig. 6. Comparison of wedge dose profiles at depth of d_{max} and 10cm 15° 30° 45° 60° 6MV beam with field size of $10 \times 10\text{cm}$

2. 주변 선량(peripheral dose) 측정

6MVX 광자선을 이용한 조사거리(SAD 100cm)에서 기존 썰기와 가상썰기의 조사야 크기 10×10cm², 20×20cm² 각각에서 heel쪽과 toe쪽 조사야 밖의 5cm 거리에 위치한 1.5cm 깊이에서 평판형 검출기(Markers chamber)를 이용하여, open field를 기준으로 할 때 주변선량을 측정한 결과 조사야 크기 10×10cm에서 heel쪽의 주변선량이 가상썰기 최대 각 60도에서 2.5%증가에 그쳤으나, 기존썰기는 썰기 각 45도에서 최고 65.8% 증가하였으며, toe쪽에서 가상썰기 45도에서 최고 65.8% 증가했으나, 기존 썰기는 138.3%증가로 45각도에서 가장 높게 나타났다. 조사야 크기 20×20cm에서는 가상썰기의 heel쪽의 주변선량이 오히려 12.2%감소하였으나, 기존썰기에서는 썰기 각 60도에서 120.3% 증가를 나타냈고, toe쪽에서도 가상썰기 각 60도에서 80.9%증가한데 비해 기존썰기는 232.2%증가를 나타냈다.(fig 7, 8)

썰기 각이 증가할수록 heel쪽, toe쪽 모두 기존썰기에서 주변 선량이 증가하였다.

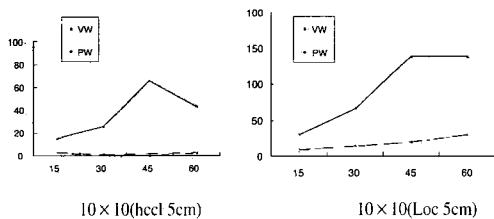


fig. 7. Peripheral dose profile

table 1, 2는open field를 기준으로 하여 주변 선량을 나타냈다.

table.1. The comparison of percent peripheral dose out of 5cm at field size 10×10cm

percent peripheral dose (10×10cm ²)				
wedge	가상 썰기		가상 썰기	
	Heel(-5cm)	Toe(5cm)	Heel(-5cm)	Toe(5cm)
15	3.1%	8.8%	15.5%	29.5%
30	1%	13.9%	25.9%	165.8%
45	0.5%	19.1%	65.8%	138.3%
60	2.5%	29.3%	44%	138.3%

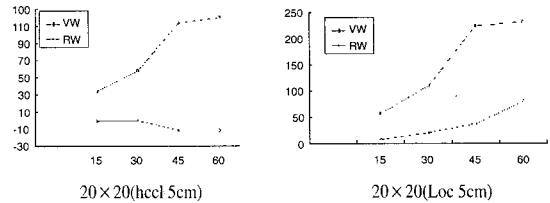


fig. 8. Peripheral dose profile out of field 5cm under depth 1.5cm at field size 20×20cm

table.2. The comparison of percent peripheral dose out of 5cm field size 20×20cm

percent peripheral dose (10×10cm ²)				
wedge	가상 썰기		가상 썰기	
	Heel(-5cm)	Toe(5cm)	Heel(-5cm)	Toe(5cm)
15	-0.5%	8.5%	34%	57.8%
30	-0.8%	21.7%	57.8%	110.5%
45	-12.2%	38.1%	113.8%	225.6%
60	-12.2%	80.9%	120.3%	232.2%

3. 인체 모형(humanoid phantom)에서 측정

인체모형을 이용한 CT데이터를 치료계획장치(RTP Helax 5.0)에서 얻은 PW, VW의 각각의 15, 30도의 선량 값으로 실제 치료와 같이 시행하면서 열형광선량계(TLD)로 측정된 결과 가상썰기 15도에서 반대유방선량 1.1%감소, 반대피부선량 0.8%감소, 치료부위 피부선량 0.3%증가, 유방선량 0%, 주변선량0.1%감소, 폐선량 2.8%감소를 나타냈고, 가상썰기 30도에서 반대유방선량 2.3%감소, 반대피부선량 2.9%감소, 치료부위피부선량 6%증가, 유방선량 3%증가, 주변선량 2.33%감소, 폐 선량 6%감소를 나타냈다. 즉 썰기 각이 커질 수록 가상썰기와 기존썰기의 주변선량의 차이가 증가하는 형태를 보였다.(table 3)

Tale. 3. The average of doses measured at the 12points within phantom.. All of doses are expressed as percentages of the dose measure at the normalization point

측정 위치	VW 15	PW 15	증감	VW 30	PW 30	증감
치료 유방	99.9	99.0	0	98.5	96.5	+3
반대편 유방	2.3	3.4	-1.1	2.4	4.7	-2.3
치료측 피부	57.0	57.3	+0.3	61.9	61.3	+0.6
반대편 피부	6.4	7.2	-0.8	6.1	9.0	-2.9
폐	100.5	103.2	-2.7	105.3	111.3	-6.0
심장	4.12	5.08	-0.96	4.55	7.05	-2.5
조사야 주변	8.1	8.2	-0.1	2.4	4.7	-2.3

4. 실제 방사선치료환자에서 in vivo dosimetry

30도 췌기를 사용하여 접선조사 방법으로 치료한 7명의 환자에서 치료 유방부위, 반대편 유방피부, 조사야 주변피부선량은 환자에 따른 변이가 많았으나,

팬텀에서 측정된 경향을 보였으며 치료계획장치에서 통계분포(DVH dose volume histogram)에서도 유사한 계산을 나타냈다. (fig 9, table 4)

Tale. 4. The average of doses measured skin of ipsilateral breast, contralateral breast, adjacent 1.5cm from field edge in 7 patient. All of doses are expressed as percentages of the dose measured at thee normalization point

측정부위 환자	치료 피부			반대편 피부			조사야 주변 피부		
	VW 30	PW 30	증감	VW 30	PW 30	증감	VW 30	PW 30	증감
A	64.6	60.0	+4.6	2.6	3.3	-0.7	6.1	8.4	-2.3
B	66.9	60.0	+6.9	2.6	3.3	-1.0	5.2	8.4	-3.2
C	69.5	70.9	-1.4	5.4	7.3	-1.9	9.3	14.3	-6.4
D	72.6	69.4	+3.2	5.3	6.8	-1.5	10.3	16.7	-6.4
E	69.3	68.5	+0.8	2.8	4.5	-1.7	7.3	9.2	-1.9
F	65.9	63.6	+2.3	2.1	4.8	-2.7	7.9	8.4	-0.5
G	77.8	74.5	+3.3	9.3	9.3	0	3.9	4.6	-0.7

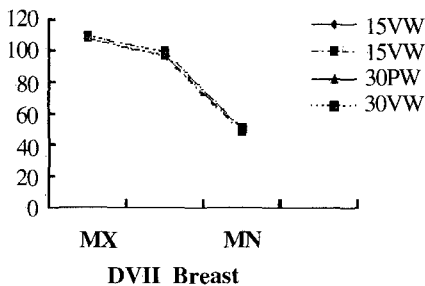


fig. 9. dose value irradiated in breast

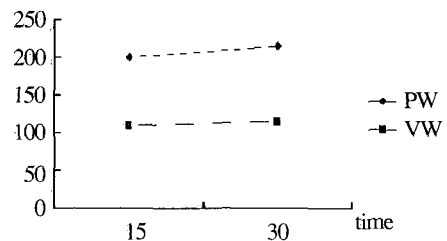


fig.10. Radiation Delivery time

5. 치료 시간

기존 췌기에 비해 가상췌기 각 15도에서 53%, 30도에서 55%의 치료 시간을 단축 할 수 있었다. (fig 10)

IV. 고찰

가상췌기 시스템은 통상적인 physical 췌기 없이도 기존췌기와 유사한 선량분포도를 얻어내기 위한 상위 콜리메이터(Y jaw)를 컴퓨터 조절로 이루어지는 디지털 장비를 정착한 선형가속기이다.

가상췌기와 기존췌기는 선형가속기내에서 위치가 다르고 서로 다른 작용기전으로 다른 선량분포의 특징을 지니고 있다. 기존췌기는 췌기자체에 의한 산란선의 증가, 선량 감약(beam attenuation)으로 선량 값(Moniter uniter)증가, 췌기로 인한 2차적인 조직 내 산란선을 변화시켜, 반대편 유방조직, 폐, 심장 등 주변조직 선량을 증가시킨다. 반대편 유방 선량 증가는 방사선 발암인자 (radiation induced carcinogenesis)의 위험도를 증가시키며, 폐, 심장선량 증가는 방사선 폐렴, 관상동맥질환 등의 위험도를 높일 수 있다.⁽⁷⁾ Fraass 등은 가상췌기를 사용할 때 이러한 주변조직 선량을 감소할 수 있다고 하였다.⁽⁸⁾ 기존췌기는 통상 환자와 선형가속기 head 사이에 위치하는데 반해 가상췌기는 선형가속기 head내에 정착됨으로써 환자와의 거리가 멀어져서 췌기 자체에 의한 산란선의 효과를 줄이고 방사선의 차폐부위 주변선량을 감소시킬 수 있다.⁽⁹⁾

실제환자 치료에서 조사야 사이의 거리 각도 등 원인으로 선량의 변화가 심할 뿐 아니라, 반대편 피부 선량만을 측정할 수밖에 없는 제한점이 있어서 본 연구에서는 인체 팬텀에서 고정된 방사선조사 방법을 사용함으로써 가상췌기 의한 반대편 유방의 흡수선량 및 주변조직선량에 미치는 영향을 알아보고 이를 실제 치료환자 측정치와 비교하여 유용한 결과를 얻었다.

그러나 이와 같은 결과에도 불구하고 콜리메이터의 움직임을 육안으로 확인 할 수 없기 때문에 가상

췌기를 신뢰할 수 없다는 이유로 아직도 임상에서 적용하기를 기피하고 있는 게 사실이다. 이런 불신을 근본적으로 제거하기 위해서는 가상췌기에 대한 이론적 원리를 충분히 습득하고 정기적인 점검이 요구된다. 또한 인위적인 실수(human error)를 근본적으로 방지하기 위해서는 치료계획장치(RTP system)에서 계획된 치료데이터를 자동정보전달(on line)하여 선형가속기를 전산으로 제어할 수 있는 시스템이 필요하리라 생각된다.

V. 결론

유방암 방사선 치료의 접선조사(tangential Irradiation)에서 가상췌기는 기존췌기에 비하여 주변선량, 반대 유방선량, 폐 선량 및 심장선량을 감소시켜, 급·만성 방사선 부작용을 감소시켜 임상적으로 매우 유용하게 사용할 수 있다. 또한 방사선조사 시간을 단축시킴으로써 선형가속기 부하(loading)를 감소시키고, 가상췌기는 조사야 크기에 제한 폭을 넓게 사용 가능하기 때문에 Mono isocentric technique 에 유용하게 이용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Zhu XR, Gill MT, Jursinic PA, Lopez F, Grimm DF, Rownd JJ.: Comparison of dosimetric characteristics of Siemens virtual an physical wedges., Medical physics, Vol. 27, No 10, october 2000;2267-2277
2. Miften M, Zhu XR, Takashi K, Loper F, Gillin MT: Implementation and verification of virtual wedge in a three-dimensional radiotherapy planning system., Medical physics, Vol. 27 No.7 July 2000;1635-1643
3. Van Santoot J.: Dosimetric evaluation of the Siemens virtual wedge : Medical physics, Boi 1998 Sep;43(9):2651-63
4. Ramesh. C, Tailer, David S. Follwill, and william F, Hanson : A first order appoximation of field-size and depth dependence of wedge transission: Medcal physics Vol 25,

No2 Feb 1998

5. ZUOFEN LI, D. Sc. and Eric e> KLEIN, M.S: Surface and peripheral dose of Dynamic and physical wedge. Int J radiation oncology Bio. phys. Vol. 37, No(4)921-925 1997
6. Mc Ghee P, Chu T. Leszczynski K. Dunscombe P.: The Siemens virtual wedge :Medical Dosim 1997 Spring; 22(10):39-41 PMID:9136106; UI: 97281798
7. Hankey BF, Curtis RE, Naughton MD, Boice JD Jr, Flannery JT. A retrospective cohort analysis of second breast cancer risk for primary breast cancer patient with an assessment of the effect of radiation therapy. J Natl Cancer Inst 1983 May;70(5):797-804
8. Fraass B, Roberson PL, Lichter AS. Dose to the contralateral breast due to primary breast irradiation. Int J Radiat Oncol Bio Phys 1985 Mar;11(3):485-97
9. Mcparlad BJ. The effect of a dynamic wedge on the medial tangential field upon the contralateral breast dose. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1990 Dec;19(6):1515-20
10. 조정근, 조현상, 정천영, 박영환 등 : 삼성서울병원의 가상썰기와 기존썰기의 물리적 특성 비교, 대한방사선치료기술학회 1999 ;Vol.11(1);1-5