

다엽 콜리메이터(Multileaf Collimator)와 합금납 차폐물(Lead Alloy Block)의 반음영에 대한 선량분포의 특성비교

연세의료원 암센터 방사선종양학과

방동완 · 윤성익 · 조정희 · 박재일

I. 서 론

방사선 치료의 최적방법은 정상조직의 방사선 피폭을 줄이고 종양에만 집중적으로 방사선을 조사할 수 있어야 하며 종양의 크기와 모양에 맞는 조사면을 만들어야 한다. 이에 따라 최근 방사선 치료장치의 전산화, 3차원 방사선 치료계획장치의 발달로 종양과 주위 주요장기의 입체적 표시와 선량분포의 입체가시화로 3차원 입체조형치료(conformal therapy)가 방사선 치료의 새로운 장을 맞이하였으며 이에 따른 다엽 콜리메이터(multileaf collimator, MLC)가 임상에서 필수적인 장비로 사용되기 시작하였다.

다엽 콜리메이터(MLC)란 다수의 엽(leaf)으로 구성된 collimating system으로서 각각의 leaf가 컴퓨터로 자동제어되면서 치료하고자 하는 모양과 흡사한 조사면을 만들 수 있고, 이를 collimating block 또는 leaf이라고 한다. 이러한 다엽 콜리메이터를 방사선치료에 이용함으로써 전형적인 납 또는 합금납 차폐물 대신에 사용할 수 있어 간단할 뿐 아니라 제작자, 사용자 모두에게 편리하고 중금속 중독에 대한 위험성이 없어지며 종양모양에 맞게 여러 방향에서 조사면을 구성할 수 있으므로 종양 이외의 건강조직에 대한 방사선 피폭을 경감시킬 수 있다.

반면 다엽 콜리메이터는 합금납 차폐물에 의해 제공되는 정확한 조사야 범위와 평탄한 조사면과의 적절한 비교가 되지 않으며, 현재 사용하고 있는 MLC의 전형적인 1 cm leaf의 폭은 차폐 부근의 정상조직과 질병이 있는 조직을 치료하기 위해 필요한 공간적인 해결에 대비하지 못하고 있다. 또한 불균일 조사면을 형성할 때 각 leaf에 의한 계단적인 차폐형상은 기존 선속방향으로 제작된 합금납 차폐물보다 더 큰 반음영이 생성될 수 있으며, 이렇게 1 cm 단위의 계단모양으로 조사면을 만들어 기존의 합금납 차폐물을 쓰는 경우와 비교하여 임상에서 환자를 위해 MLC를 적용하여도 무방한지의 의문점이 제기될 수 있다.

이에 본 저자는 다엽 콜리메이터를 사용하는 경우 조사면의 경계에서 반음영의 크기와 선량분포상의 특성을 알아보고, 합금납 차폐물의 반음영과 선량분포를 비교분석하여 방사선 치료시 다엽 콜리메이터의 유용성을 평가해 보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 실험대상

• Multileaf Collimator(Clinac 2100C/D, Vari-

an Associates Oncology System, USA)
6 MV, 10 MV Photon beam.

- Video Densitometer(Wellhofer Dosimetrie WP700i)
- Film(Kodak X-omat V)
- Polystyrene Phantom

본 연구에 사용된 다엽 콜리메이터(MLC)는 Clinac 2100C/D에 장착된 기종으로 각각 한쪽 면에 26개씩 총 52개의 leaf로 구성되어 있으며 컴퓨터 계획에 의해 자동조정되고 있다. 한 개의 leaf는 정면상에서 단면이 5.94×0.53 cm의 크기이고, isocenter(SAD 100 cm)에서 투영시 leaf 하나의 투영두께는 1 cm이다. 측면상에서는 leaf의 종단면이 곡선으로 되어있고, 반경은 8.001 cm로 단일초점(single focusing)으로 되어 있다. 최대 조사면의 크기는 40×26 cm이고 leaf는 정중양선을 넘어서 13 cm까지 갈 수 있다. 방사선 조사시 leaf를 투과하는 방사선량은 4% 이내이고, 각각의 leaf 사이로 투과되는 방사선량도 4% 이내이다. Leaf의 이동시 최고 속도는 1.5 cm/sec이고, leaf의 위치오차는 isocenter에서 1 mm 이내이다. Isocenter에서 leaf까지의 거리는 42.4 cm이다(Fig. 1).

본 연구에서 사용된 방사선은 선형가속기에서 발생하는 6 MV와 10 MV 에너지의 X선을

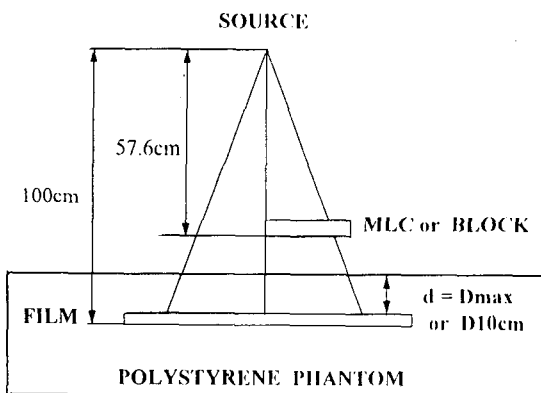


Fig. 1. Diagram of experimental setup for measuring dose distribution of MLC field using film dosimetry.

사용하였으며, 선량분포와 반응영의 크기를 측정하기 위해 필름선량측정방법을 이용하였다.

2. 실험방법

1) 조사야는 10×10 cm 크기에서 MLC의 종단면이 Y축과 이루는 각도를 각각 0, 15, 30, 45, 60, 75°가 되도록 MLC의 모양을 구성하였다(Fig. 2).

2) 컴퓨터로 제어된 MLC가 차폐하는 조사야와 같은 모양의 합금납 차폐물을 제작하였다.

3) 폴리스티렌 팬텀(polystyrene phantom)위에 저감도 필름(Kodak X-omat V)을 SAD 100 cm 되는 곳에 선속에 수직방향으로 위치시켰다.

4) 측정필름 위에 폴리스티렌 팬텀을 일정 높이(Dmax, 10 cm)만큼 올려놓고 X선 에너지 6 MV, 10 MV를 각각 isocenter에 80 MU을 조사하였다(Fig. 1).

5) 방사선이 조사된 측정필름을 모든 조건이 동등하게 맞추기 위해 같은 날에 자동현상기를 이용하여 현상하였다.

6) 현상된 필름은 Wellhofer Dosimetrie 700i 비디오 밀도계(video densitometer)로 측정필름의 광학밀도를 분석하였다.

7) 측정필름의 광학밀도와 선량과의 비례관계를 알아보기 위해 6 MV, 10 MV X선을 이용하여 10×10 cm 조사야의 크기로 Dmax의 깊이에서 측정필름에 각각 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 cGy를 (3) 과정과 동일하게 조사하여 광학밀도를 선량으로 변환하기 위한 기준 그래프를 얻었다(Fig. 3).

8) 측정필름의 농도를 선량으로 변환시켜 보았을 때 필름의 농도가 10 cGy에서 100 cGy까지는 비교적 일차함수의 비례관계가 있었고 측정된 필름의 광학밀도를 선량으로 환산하였다.

9) 위와같은 방법으로 얻은 등선량곡선에서 반응영의 크기를 측정하였다.

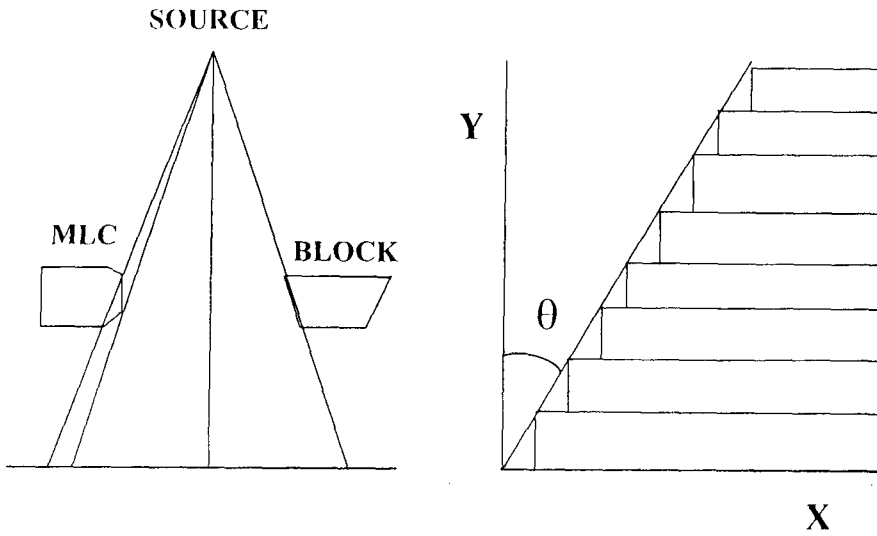


Fig. 2. Shows the pattern used for the edge of MLC. Leaves were stepped forming a θ angle with field edge.

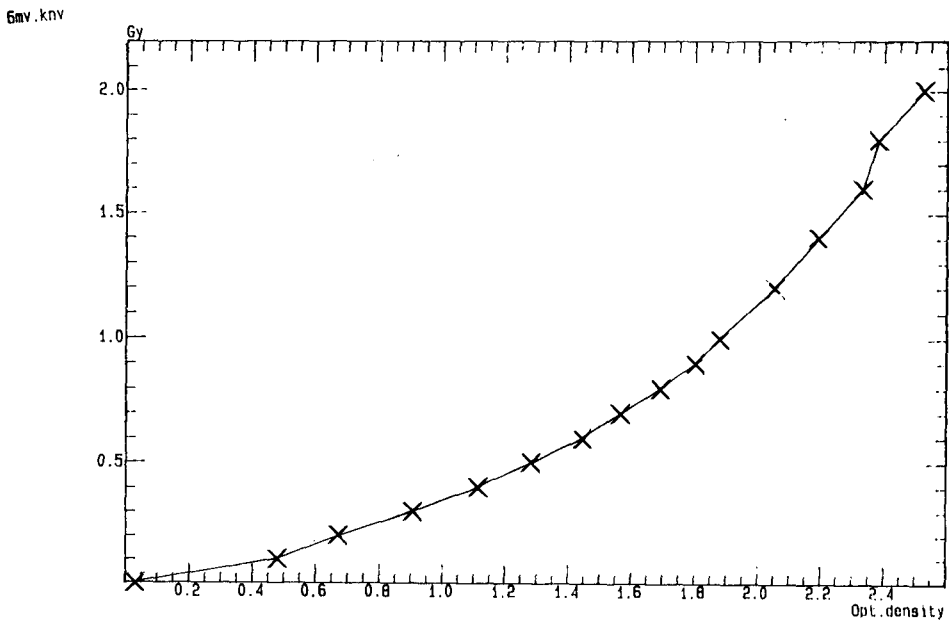


Fig. 3. Reference graph for convert from optical density to dosage.

3. 분석방법

반응영에 대한 분석은 에너지와 조사면의 크

기가 주어졌을 때 실효반응영(effective penumbra, 20~80%)과 일반적 반응영(general penumbra, 10~90%)을 비교분석하였다. 실효반

음영은 Powlis의 정의에 따라 20% 등선량곡선의 골과 골을 연결하는 직선과 80% 등선량곡선의 능선과 능선을 연결한 직선의 거리로 정의하였으며, 임상응용에 도움이 될 수 있도록 10% 등선량곡선의 골과 골을 연결한 직선과 90% 등선량곡선의 능선과 능선을 연결한 직선간의 거리를 일반적 반음영으로 정의 측정하였다(Fig. 4).

III. 결 과

다엽 콜리메이터가 일직선으로 나열해 있지 않고 조사면의 종축과 이루는 각도를 각각 0, 15, 30, 45, 60, 75°를 이루는 육각형 모양으로 구성되었을 때 측정된 필름은 조사면의 경계가 계단모양으로 감광되었고, 등선량곡선도 파동모양으로 나타났다. 조사면의 경계에서는 계단모양이 가장 심화되어 나타났고, 조사면의 경

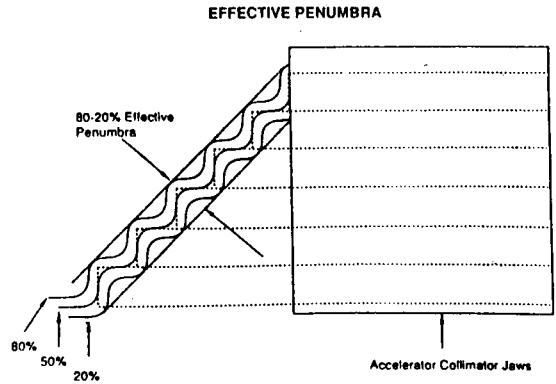


Fig. 4. MLC and lead alloy block 20~80% effective penumbras.

계에서 멀어질수록 계단모양이 완만한 곡선으로 변함을 볼 수 있었다. 또한 계단모양의 심화는 다엽 콜리메이터의 종단면과 조사면의 종축과 이루는 각도(MLC각도)가 증가함에 따라 심화됨을 볼 수 있었다(Fig. 5).

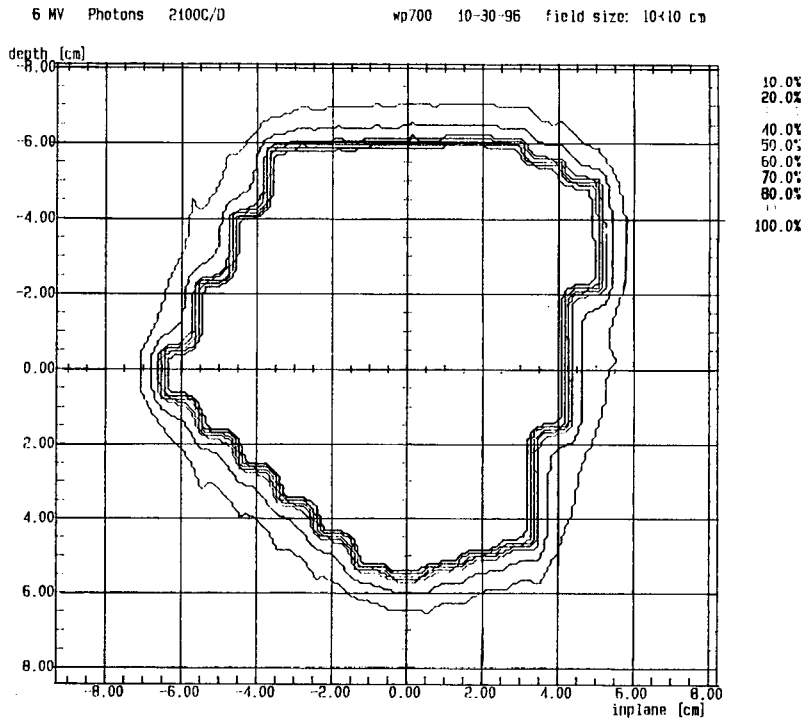


Fig. 5. Isodose curves for the region of Hexagon field by MLC.

반면, 선속에 평행하게 제작된 합금납 차폐물의 등선량곡선은 조사면의 종축과 이루는 각도와는 무관하게 거의 일정한 파동모양을 보여 다엽 콜리메이터를 사용한 등선량곡선과는 비교가 됨을 알 수 있었다(Fig. 6).

Table 1, 2는 에너지 6, 10 MV X선을 이용하여 합금납 차폐물과 다엽 콜리메이터를 통하여 조직에 최대선량지점(Dmax)과 10 cm 깊이에서 조사면 10×10 cm으로 종축과 이루는 각도를 각각 0, 15, 30, 45, 60, 75° 각도에서 측정하여 얻은 필름의 광학밀도를 선량으로 환산하여 얻은 등선량곡선에서 실효반응영(EP, 20~80%)과 일반적 반응영(GP, 10~90%)을 측정 비교하였다.

10 MV X-선을 이용한 최대선량지점(Dmax)에서 측정한 등선량곡선에서 MLC의 각도가 증가함에 따라 실효반응영(EP)은 각도가 0°에서

7.5 mm, 15°에서 9 mm, 30°에서 9.5 mm, 45°에서 10 mm, 60°에서 11 mm, 75°에서 12.5 mm로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 일반적 반응영(GP)도 역시 MLC 각도가 증가함에 따라 실효반응영에 비해 약 2배 정도 큰 폭(width)을 유지하며 증가하는 양상을 보였다.

반면, 합금납 차폐물은 각도가 증가함에도 불구하고 선속에 평행하게 제작된 형태를 갖추었기 때문에 실효반응영은 6 mm로 일정한 양상을 나타냈고, 일반적 반응영 역시 폭이 더 큰 15.5 mm를 유지하고 있었다(Fig. 7).

에너지의 차이에 따라 6 MV, 10 MV X선일 때 각각 Dmax와 10 cm에서 측정한 실효반응영을 비교하여 보면 합금납 차폐물과 MLC 모두 각도가 증가함에 따라서, 에너지가 커짐에 따라 깊이가 깊어짐에 따라 반응영은 약간 커지는 경향을 보였다(Fig. 8).

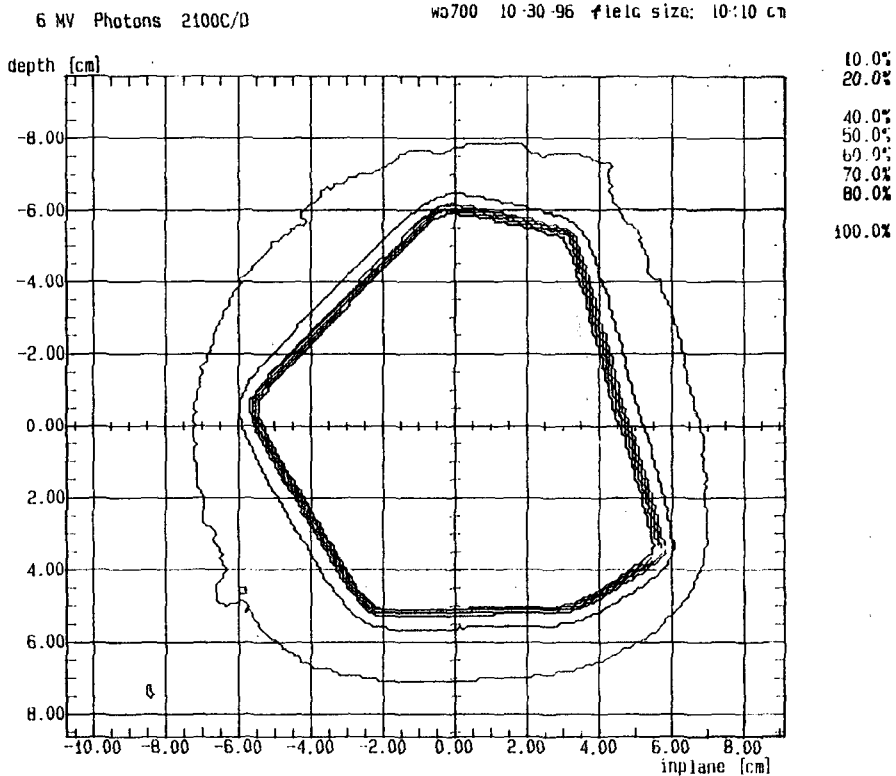


Fig. 6. Isodose curves for the region of Hexagon field by Lead Alloy Block.

Table 1. MLC penumbra for scalloping degree & lead alloy block penumbra of 6 MV.

단위 : mm

energy	6 MV			
	Dmax		D 10 cm	
depth	EP	GP	EP	GP
penumbra				
block	4.5	9	6.5	16
MLC	0	5	9.5	7
	15	6.5	11.5	8.5
	30	7	12	9
	45	8	12.5	9.5
	60	9.5	13	10
	75	11	14	11.5

EP : 20~80% width, GP : 10~90% width

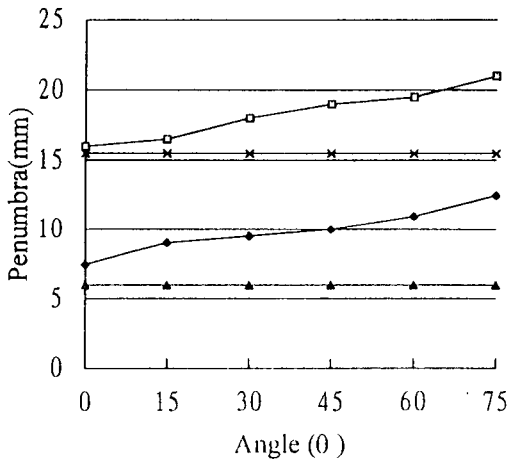


Fig. 7. Measured effective penumbra & general penumbra at depth=Dmax, 10 MV X-ray

● MLC (EP) ▲ BLOCK (EP)
 □ MLC (GP) × BLOCK (GP)

Table 3은 합금납 차폐물과 다엽콜리메이터 간의 반응영 폭의 차이를 나타낸 것으로서 실효반응영과 일반적 반응영이 0°일 때 가장 작은 차이를 보였으며, MLC가 0.5~1 mm 정도

Table 2. MLC penumbra for scalloping degree & lead alloy block penumbra of 10 MV.

단위 : mm

energy	10 MV			
	Dmax		D 10 cm	
depth	EP	GP	EP	GP
penumbra				
block	6	15.5	7.5	17
MLC	0	7.5	16	8
	15	9	16.5	9.5
	30	9.5	18	10
	45	10	19	10.5
	60	11	19.5	11.5
	75	12.5	21	13

EP : 20~80% width, GP : 10~90% width

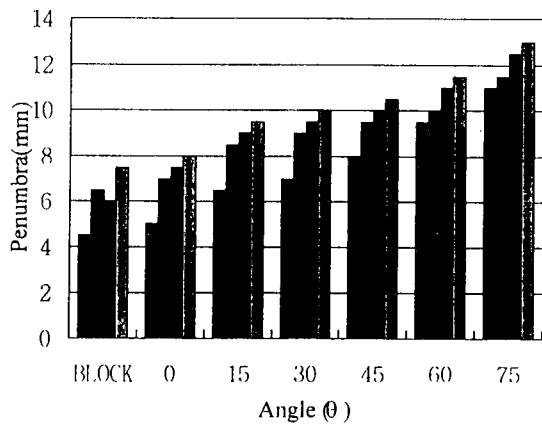


Fig. 8. Measured effective penumbra at depth=Dmax, 10 cm, 6 MV, 10 MV X-ray.

■ GMV Dmax ■ 10MV Dmax
 ■ GMV D10cm ■ 10MV D10cm

더 큰 반응영 폭을 나타내었다. MLC의 계단모양이 가장 큰 45°에서는 실효반응영과 일반적 반응영 모두 가장 큰 차이를 보였으며, MLC가 3~4 mm 정도 더 큰 반응영 폭을 나타내었다.

Table 3. Difference of penumbra widths between MLC with lead alloy block.

Penumbra difference between MLC with block
단위 : mm

	EP		GP	
	0	45	0	45
6 MV Dmax	0.5	3.5	0.5	3.5
6 MV D10 cm	0.5	3.0	1.0	4.0
10 MV Dmax	1.5	4.0	0.5	3.5
10 MV D10 cm	0.5	3.0	1.0	4.0

IV. 고 찰

방사선 피폭으로부터 정상조직을 보호하고 부정형의 종양에 최적의 방사선을 조사시키고 원활한 치료를 하기 위하여 여러 방향의 조사 방향이 요구되어 지는데 이를 실현하는데 있어 다엽 콜리메이터는 필수적이라 할 수 있다. 이러한 MLC는 단순한 합금납 차폐물을 대체할 수 있고, 부정형 조사야를 위해서 조사야의 수를 증가시켜 이용할 수 있으며, 다문조사시 차폐물을 같이 끼우지 않고 자동적으로 차폐할 수 있기 때문에 치료시간의 단축과 방사선 종사자의 업무량 감소를 가져올 수 있다. 또한 합금납 차폐물을 제작하고 사용하기 위한 시설·공간이 필요치 않고, 차폐물의 보관장소와 그 관리가 필요 없어지며, 차폐물 제작으로 인한 치료의 지연이 없어지며, 차폐물 제작시 생기는 중금속 공해로부터의 제작자를 보호할 수 있는 장점을 가지고 있다.

하지만 MLC는 정상조직의 차폐시 연속적이고 완만한 모양으로 차폐하지 못하고 회전 중심축에서 1cm 단위의 계단모양으로 차폐할 수밖에 없기 때문에 효과적으로 정상조직을 차폐할 수 있는지의 문제점과 조사면의 크기와 위치에 따라 선속에 평행하게 차폐하지 못하고 조사면에 따라 divergence를 고려하여 만들 수 없으므로 합금납 차폐물 보다는 MLC가 반응영의 크기가 클 수밖에 없고 차폐엽간의 누출선량의 문제점을 갖고 있다.

이러한 문제점들은 실제로 조사면에서 기존의 합금납 차폐물을 사용할 때와 비교하여 반응영의 크기가 어느 정도 차이가 나며, 조사면의 가장자리에서 선량분포상의 특징에 관한 여러 조사보고가 있었고, 조사야의 경계에서 계단모양이 심해지고 양쪽으로 갈수록 계단모양이 완만하게 변한다는 보고가 있었다.

Powlis 등의 연구결과에서는 MLC의 각도가 0°에서 45°로 증가함에 따라서 계단모양이 심화되며 반응영도 커짐을 나타냈고, 45°의 계단모양에서 실효반응영이 최대가 되며 합금납 차폐물의 반응영보다 약 4mm 증가됨을 보고하였다. 또한 Losasso의 연구 결과에서는 3~5mm의 차이를 나타내었다.

본 연구의 결과에서도 MLC의 각도가 증가함에 따라 실효반응영과 일반적 반응영 모두 점점 커지는 경향을 보였고, 합금납 차폐물과 MLC의 반응영 차이는 45° 각도에서 3~4mm 정도로 위의 연구결과와 거의 비슷한 결과를 얻었다. 이러한 결과는 계단모양의 심화가 가장 큰 45° 각도에서 합금납 차폐물의 반응영과의 차이가 최대 4mm이므로 일반적인 set-up 오차를 고려한다면 실제 임상에서 충분히 수용 가능한 수치라고 생각된다.

한편 본 연구에서는 에너지가 커짐에 따라 반응영의 크기는 증가하였고, 깊이가 증가함에 따라서도 반응영의 크기는 증가하였는데 이는 다른 연구들에서도 유사한 결과를 보였다.

MLC에 의한 반응영은 깊이가 깊어질수록 에너지가 커질수록 산란선에 의하여 증가하고 있지만 합금납 차폐물과의 반응영 차이는 감소하며 조직 내에서는 2차 전자선이 발생하여 계단모양이 완만한 파동모양으로 변하기 때문에 MLC와 합금납 차폐물 반응영의 조직 내에서의 비는 감소함을 알 수 있었다.

본 연구의 결과에서 MLC의 반응영에서 각도가 45° 이상이 되는 60, 75°에서는 더 큰 반응영이 측정되었는데 이와같은 경우는 MLC의 방향을 90°로 바꾸어준다면 변환된 각도가 15, 30°로 변화하여 계단모양의 심화를 막을 수

있으므로 가장 효과적인 MLC의 방향을 유도하여 임상에 적용하여야 할 것이다. 그리고 안구(eye ball) 또는 척추(spinal-cord)의 결정장기(critical organ)와 같이 비교적 조사면이 작은 경우와 세심한 차폐를 요하는 경우에는 과연 효과적인 차폐가 되는지의 연구가 계속 시행되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

다엽 콜리메이터는 합금납 차폐물 이용의 감소를 제공하며, 컴퓨터로 계획된 조사면을 빠른 시간에 만들 수 있기 때문에 방사선 치료에 편리함을 제공하고 방사선 종사자에게도 산업 공해로부터의 위험을 경감시킬 수 있으며, 특히 3차원 입체조형치료에 필수적인 장비로 자리잡고 있다.

이러한 MLC의 반응영을 측정 한 결과 조사면의 종축과 이루는 각도를 증가시킬수록 계단 모양의 심화가 나타났고, 반응영의 크기도 증가함을 알 수 있었다. 그리고 합금납 차폐물과 비교하여 볼 때 반응영의 차이가 4 mm 정도로 set-up 오차를 고려한다면 충분히 대응하여 사용할 수 있다고 본다.

하지만 경사각이 크거나 조사면이 작은 경우에는 많은 오차가 발생하므로 다엽 콜리메이터에 대한 정확한 이해와 자료를 준비하여 임상에 적용시켜야만 한다.

참 고 문 헌

1. LoSasso T, Kutcher GJ : Multileaf collimation versus alloy block : Analysis of geometric accuracy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1995 ; 32 : 499-506
2. Galvin JM, Smith AR, Lally B : Characterization of a multileaf collimator system. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1993 ; 25 : 181-192
3. Boyer AI, Ochrans TG, Nyerick CE, et al : Clinical dosimetry for implementation of a multileaf collimator. *Med phys.* 1992 ; 19 : 1255-1261
4. Powlis WD, Smith AR, Cheng E, et al : Initiation of multileaf collimator conformal radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1993 ; 25 : 171-179, 1993.
5. LoSasso T, Chui CS, Kutcher GJ, et al : The use of a multileaf collimator for conformal radiotherapy of carcinomas of the prostate and prostate and nasopharynx. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1993 ; 25 : 161-170
6. Galvin JM, Smith AR, Moeller RD, et al : Evaluation of multileaf collimator design for photon beam. *Int J Radiat Oncol Phys.* 1992 ; 23 : 789-801
7. Khan FM : *The physics of radiation therapy.* Second edition. 1994 ; 320-323, 1994.
8. 추성실, 김귀언 : 방사선 입체조형치료용 다엽 콜리메이터의 특성과 조직내 선량분포 측정. *대한치료방사선과학회지.* 1996 ; 14 : 77-84