

광자선 치료시 Setup 오차에 따르는 Multi-leaf Collimator의 Scallop Penumbra 변화 효과

울산대학교 의과대학, 서울중앙병원 방사선종양학과
인하대학교 의과대학 방사선종양학교실*

이병용 · 조영갑* · 장혜숙

= Abstract =

The Dosimetric Effects on Scallop Penumbra from Multi-leaf Collimator by Daily Patient Setup Error in Radiation Therapy with Photon

Byong Yong Yi, Ph. D., Young Kap Cho, M.D.* and Hyesook Chang, M.D., Ph.D

Radiation Oncology, Asan Medical Center, College of Medicine University of Ulsan

**Radiation Oncology, College of Medicine, Inha University*

Purpose : To evaluate the clinical implications of scallop penumbra width that comes from multileaf collimator(MLC) effect by the daily routine patient setup error.

Materials and Methods : The angles of 0° , 15° , 30° , 45° , 60° and 75° inclined -radiation blocked fields were generated using the both conventional cerrobend block and the MLC. Film dosimetry in the phantom were performed to measure penumbral widths of differences between the dose distributions from the cerrobend block and those of respect the MLC. The patient setup error effect on scallop penumbra was simulated with respect to the table of setup error distribution. Same procedures are repeated for the cerrobend block generated field.

Results : There are penumbral widths of to 3mm difference between the dose distributions from two kinds of field shaping tools, the conventional block and the MLC with 4mm setup error model and resolution of 1cm leaf at the isocenter.

Conclusion : We need not additive margin for MLC, if planning target volume is selected according to the recommendation of ICRU 50. For particular cases, we can include the target volume with less than 3mm additive margin.

Key Words : MLC(Multi-leaf Collimator), Penumbra, Setup Error

서 론

mator(MLC)는 기존의 차폐블럭으로 대체할 뿐만 아니라¹⁾, Dynamic Arc Therapy²⁾, Intensity Modulation^{3,4)} 등에 응용이 가능하여 많은 관심을 끌고 있다. 단순한 차폐블럭을 대체하는 경우라도 치료가 편해지고 시간이 절약될 뿐 아니라, 치료면을 컴퓨터에 등록하고 다시 이용할 수 있는 과정으로 인해 치료의 정도 관리에도 큰 도움을 주고 있다. 또한 isocenter와의 거리가 길어져 비동일평면(non-coplanar) 방사선 치료시 치료 테이블의 회전 각도의 범위를 넓혀주는 기능도 하고 있다⁵⁾.

이렇듯 MLC는 방사선 치료에 있어서 긍정적인 역할로 기대를 모으고 있으나, 실제 사용에서는 기존 차폐블럭보다 penumbra(반그림자)가 증가하는 효과가 생겨 임상 치료에 중요한 고려 인자가 되고 있는 것으로 보고되고 있다⁶⁻⁸⁾.

치료면의 모양이 비스듬한 선분들로 구성되어 있을 때 블럭의 각도와 MLC의 방향에 따라 effective penumbra 또는 scallop penumbra가 생기게 되는데⁸⁾ 이 효과는 leaf와 블럭의 각도에 따라 변화하게 된다^{9,10)}. 이에따라 방사선 치료에서 기존의 차폐블럭을 사용할 때보다 충분한 여유(margin)를 주어야 TCP (Tumor Control Probability)의 현저한 변화를 막을 수 있다는 보고가 있다¹¹⁾.

이상욱¹⁰⁾, Galvin¹⁾ 등은 MLC 각도에 따르는 scallop penumbra의 변화를 사용 에너지별, 치료 깊이 별로 측정 분석한 바 있다. 그러나 많은 연구들은 실제 임상에서 있을 수 있는 setup 오차의 변화에 대한 고려가 결여되어 있다. 통상 차폐블럭을 사용할 때와 MLC를 사용할 때를 막론하고 방사선치료가 근처적 목적으로 실시되는 경우 30회 이상의 치료가 진행

되는 것이 일반적이므로 이에 대한 효과도 함께 계산되어야 한다.

본 연구에서는 방사선치료시 반복되는 치료에 setup error 효과가 반영된다는 점에 착안하여 통상 차폐블럭과 MLC의 scallop penumbra 변화 효과를 비교하였다. 이를 이용하여 MLC 사용으로 인해 추가되는 여유폭이 얼마나 필요한가를 평가하고자 한다.

대상 및 방법

실험에 사용한 방사선은 명목상에너지 4MV(CL/4/100, Varian, USA), 6MV, 15MV(CL/2100/C/D, Varian, USA) 이었으며, 모든 실험은 폴리스티렌 팬텀에서 필름(X-Omat, Kodak, USA) 측정법으로 실행하였다. 필름은 Poseidon film dosimetry(Poseidon, Sweden) 장비를 이용하여 분석하였고, 측정 깊이는 dmax, 5cm, 10cm로 하여, 동일한 조건의 실험을 통상 차폐블럭과, MLC가 만든 차폐면에 대해 동시에 실시하여 비교할 수 있도록 하였다. 차폐면 모양은 Fig. 1에서 보여주고 있다. Table 1은 두경부암 치료시 생긴 setup error로 random error 효과와 systematic error 효과를 함께 보여주고 있다. 이 연구에서의 관심 사항은 random error 효과만이므로 random 효과를 토대로 난수 발생방법을 통해 30회 치료를 시행할 때 예상 가능한 setup error를 찾아내었다. 필름을 방사선 조사면에 수직하게 놓아 평면 프로파일 즉, 평면 선량 분포를 얻을 수 있게 배열하였다. Fig. 2는 Table 1에 근거하여 난수 발생으로 얻어진 setup error의 분포도이다. 이 분포에 근거하여 30회 치료시 생기는 선량분포의 변화를 살펴보았다. 폴리스티렌 팬

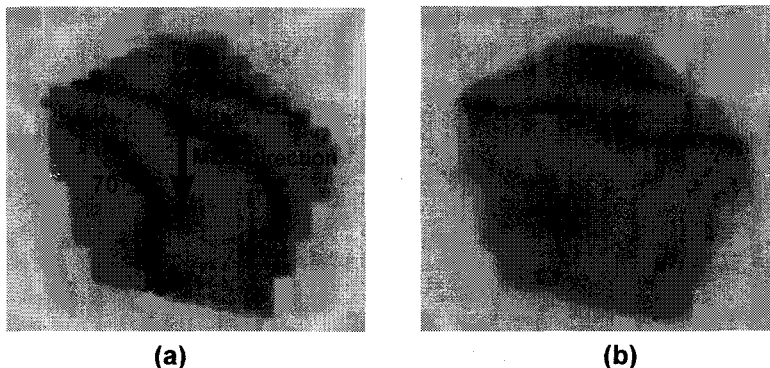


Fig. 1. Exposed field shape generated from MLC (15MV).
(a) single exposure (b) Multiple exposure(30 times)

톱 속의 dmax, 5cm, 10cm 깊이에서 깊이에 따르는 차이와, 4MV, 6MV, 15MV 광자선의 에너지에 따르는 변화를 통상 차폐블럭과 MLC를 이용한 블럭에 대하여 측정하였다. 이 모든 실험은 차폐블럭의 각도, 즉 MLC 방향과 차폐면의 방향이 이루는 각도에 따라서 변화되는 값에 따른 변화도 측정하였다.

결 과

Fig. 3과 Fig. 4는 MLC와 cerrobend block이 만든 선량분포이다. 다른 보고에서와 같이 MLC가 만든 조사면이 scallop penumbra를 만들어내는 것을 알 수 있으나, 단일 조사에 의한 선량분포는 통상차폐블럭 (Fig. 3-a)과 MLC(Fig. 3-b)가 현저한 차이를 보이고 있으나, 30회 치료후의 결과적인 선량분포는 60°, 75° 각도를 제외하면 둘의 차이가 거의 없는 것으로 알 수 있다 (Fig. 4). Table 2는 광자선에너지와 차폐블럭 각도에 따라서 통상적인 블럭과 MLC와의 80% ~20% penumbra P80/20 변화 차이를 보여주고 있

다. Scallop penumbra와 통상블럭에 의한 penumbra의 차이는 단일 조사시와는 달리 30회 치료시에 작은 각도에서는 큰 차이가 없는 경향임을 알 수 있다. 이는 작은 각도에서는 setup 오차에 따르는 penumbra 증가 효과가 scallop penumbra 효과보다 더 큰 것 때문인 것으로 보인다. 각도가 증가함에 따라 그 차이가 커지는데 45° 이하의 각도에서는 30회 치료시에 그 차이가 임상적으로 무시할 수 있을 정도로 작아져서 블럭의 모양과 MLC의 방향에 따라서는 통상의 블럭과 MLC 사용이 scallop penumbra에도 불구하고 큰 차이가 없음을 알 수 있다. Table 3은 치료 깊이에 따르는 P80/20 차이를 보여주고 있다. Table 2, 3에서 알 수 있듯 에너지 변화에 따라서는 커다란 변화를 볼

Table 1. Measures of Error in Patient Positioning

Uncertainty	Random error	Systematic error	Total
10th percentile(mm)	2	3	4
25th percentile(mm)	3	4	6
50th percentile(mm)	4	6	7
75th percentile(mm)	5	8	10
90th percentile(mm)	7	11	13
Mean difference(mm)	4	7	8
Standard deviation(mm)	2	4	4

from Rosenthal et al¹⁴⁾

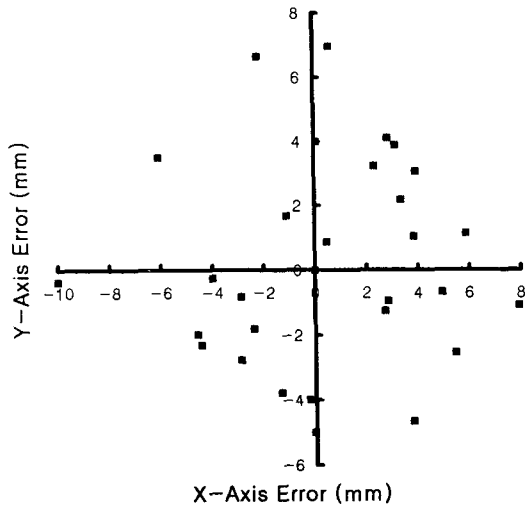


Fig. 2. Patient setup error distribution from Table 1.

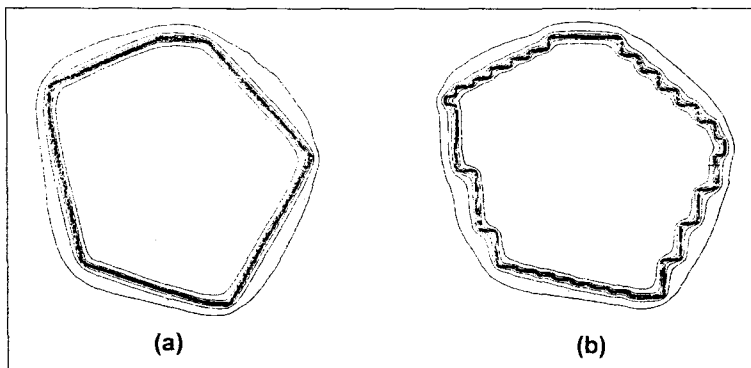


Fig. 3. Isodose distributions for single exposure (15MV, 10cm depth). (a) conventional block (b) MLC

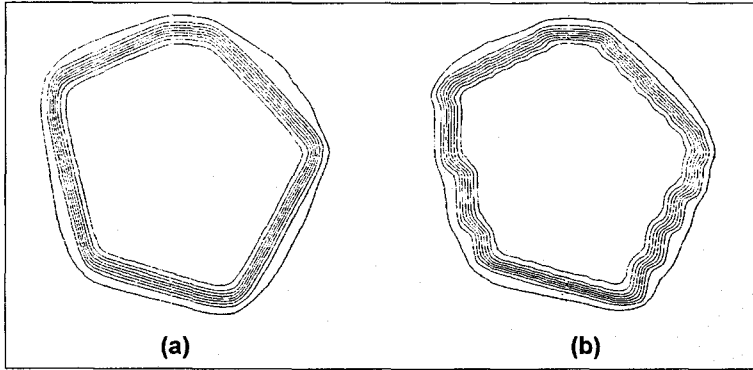


Fig. 4. Isodose distribution for multiple exposures (15MV, 10cm depth, 30 times).
(a) conventional block (b) MLC

Table 2. Penumbra Differences between MLC and Conventional Block at 10cm Depth

Block Angle	4MV photon	6MV photon	15MV photon
0	0	0	0
15	0	0	0
30	0	1	1.2
45	1	2.3	1.2
60	5.2	6.2	5.3
75	5.2	7.4	6.5

Difference = Penumbra from MLC - data from block

Table 3. Penumbra Differences between MLC and Conventional Block at 15MV Photon (80-20% penumbra)

Block Angle	d max	5cm Depth	10cm Depth
0	0	0	0
15	0	0	0
30	0.5	1	1.2
45	1	1.2	1.2
60	4.3	4.7	5.3
75	5.4	5.8	6.5

Difference = Penumbra from MLC - data from block

수 없었으며, 치료 깊이에 따라서도 역시 뚜렷한 추세를 볼 수 없었다.

고찰

앞서 언급한 대로 MLC가 scallop penumbra를 형성시키므로 종전의 방식대로 치료조사면을 결정하는

것은 이미 잘못된 것으로 알려져 있다^{5,6,8)}. 더구나 치료면을 MLC의 끝으로 정할 것인지 중간으로 정할 것인지 또는 뒤로 정할 것인지에 따라 정상조직이 과다 또는 과소하게 치료면에 포함되거나, target volume이 치료면에서 빠질 수도 있게 되는 상황에서 는 선택의 문제가 발생하게 된다¹²⁾.

1993년 Webb¹¹⁾의 TCP 계산에 의하면 이런 점을 고려할 때 순전히 scallop penumbra로 인해 통상 블록보다 7mm 이상의 margin을 두어야 TCP 변화가 없다고 한다. 경우에 따라서 이 값은 대단히 큰 값일 수 있고, 이로 인해 정상조직의 과다한 위험 즉 NTCP(Normal Tissue Complication Probability)의 증가를 초래할 수 있다. 이런 문제로 Galvin¹³⁾은 1996년 치료 조사면을 치료 도중 5mm 정도 옮기는 방법을 제안하기도 하였다. 그러나 본 연구 결과에 의하면 반복되는 환자의 setup error 를 고려할 때 MLC 방향만 잘 선정해주면, 즉 각도가 45° 를 넘기지 않도록 조정할 수 있다면, 최대 2~3mm 이내에서 통상 블록과 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있었다. 이상욱¹⁰⁾, Galvin⁸⁾ 등 뿐 아니라 여러 저자들은 에너지와 깊이에 따르는 변화에 대해 논하고 있으나 setup error 가 고려된 결과는 통상의 블록과 비교할 때 이에 따르는 특정한 변화를 보이고 있지 않다. Rosenthal¹⁴⁾의 Table 1은 두경부 부위에 국한된 연구 결과이다. 두경부는 비교적 setup error가 작은 부위로 그 이외의 치료부위에 대해 대체로 5~10mm의 setup error 분포를 여러 보고자들이 보고하고 있다¹⁴⁻¹⁶⁾. 이런 연구들은 최근 portal imaging에 대한 연구로 정확한 정량 분석이 가능하므로 실현될 수 있었다.

직관적으로 알 수 있듯이 Setup error의 값은 크지

만, 반복되는 치료 횟수가 많을수록, scallop penumbra의 효과는 작아지게 된다. 본 연구에서 사용된 Rosenthal의 setup error 측정값은 비교적 작은 setup error를 갖는 부위에 대한 자료이다. 근처 목적의 치료는 대체로 30회 이상을 실시한다는 점을 고려할 때, 일반적인 치료에 있어서는 본 연구의 결과보다 실제 상황에서 더욱 scallop penumbra의 효과가 줄어들 가능성이 있다.

이 연구 결과는 ICRU 50에 의한 치료면, 즉, PTV (planning target volume)의 설정이 환자의 움직임까지 이미 고려된 것이라는 것을 전제로 할 때¹⁷⁾, 통상적인 차폐블럭으로 치료를 시행할 수 있는 경우에는 MLC 방향만 적절히 고려된다면 치료면 조정이 없이도 (별도의 margin이 없이도) MLC를 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 환자 고정 장치의 발달로 setup error가 1~2mm 이내로 줄어들기 전까지는 MLC의 임상응용은 1995년 김현수¹⁸⁾ 등의 보고와 같이 최적의 MLC 방향을 찾음으로써 scallop penumbra의 문제점들을 충분히 해소할 수 있게 된다. 방사선치료가 여러 방향에서 시행되고, 특히 입체조형치료 방법에서는 이런 경향이 두드러진다는 점을 감안하면, MLC가 만드는 scallop penumbra는 무시할 수 있는 인자가 된다.

결 론

MLC를 사용할 때 생기는 scallop penumbra의 효과가 MLC의 임상적용에 어떤 영향을 미칠 것인가에 대하여 연구하였다. 환자를 치료할 때마다 생기는 setup error에 따르는 환자 내부에서의 실제 선량분포를 MLC를 사용할 때와 통상적인 블럭을 사용할 때와 차이를 비교하였다. 30회의 반복치료, 평균 4mm의 setup error를 갖는 모델에서 1cm 폭 분해능을 갖는 MLC가 만든 scallop penumbra는 기존의 차폐블럭에서 생긴 penumbra보다 차폐물 모양에 따라 0~3mm 증가하는 효과를 볼 수 있었다.

따라서 블럭 모양을 그럴 때 MLC를 사용한다 하더라도 ICRU 50에 따라 환자의 움직임을 고려하여 치료조사면을 결정하였다면, cerrobend block을 사용하는 기존의 방식과 동일하게 치료면을 정할 수 있으며, 필요에 따라 3mm의 여유만 두면 MLC 치료조사면 내에 치료부위가 충분히 포함됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. **Brahme A.** Optimal setting of multileaf collimators in stationary beam radiation therapy. *Strahlenther Onkol* 1988; 164:343-350
2. **Proimos BS.** Synchronous field shaping in rotational megavoltage therapy. *Radiology* 1960; 74: 753-757
3. **Chui CS, Losasso T Spirous.** Dose calculations for photon beams with intensity modulation generated by dynamic wedge or multileaf collimators. *Med Phys* 1994; 21:1237-1243
4. **Mohan R.** Field shaping for three-dimensional conformal radiation therapy and multi-leaf collimation. *Sem Rad Oncol* 1995; 5(2):86-99
5. **Du MN, Yu CX, Symons M, et al.** A multileaf collimator field prescription preparation system for conventional radiotherapy. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1994; 30(3):707-714
6. **Huq MS, Chen YY, Suntharalingam N.** Dosimetric characteristics of a commercial multileaf collimator. *Med Phys* 1995; 22(2):241-247
7. **Jordan TJ, Williams PC.** The design and performance characteristics of a multileaf collimator. *Phys Med Biol* 1994; 39:231-251
8. **Galvin JM, Smith AR, Moeller RD, et al.** Evaluation of Multileaf collimator design for a photon beam. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1992; 23:789-801
9. **이병용, 조병철, 장혜숙.** Multileaf collimator의 적정 폭에 관한 연구. *의학물리* 1994; 5(2):49-55
10. **이상욱, 오영택, 김우철 외.** 다엽콜리메이터와 합금납 차폐물의 반그림자 영역의 선량 분포상의 특성비교. *대한치료방사선과학회지* 1995; 13(4):391-396
11. **Webb S.** The effect on tumor control probability of varying the setting of a multileaf collimator with respect to the planning target volume. *Phys Med Biol* 1993; 38:1923-1936
12. **Zhu Y, Boyer AL, Desobry GE.** Dose distributions of X-ray fields as shaped with multileaf collimators. 1992; 37(1):163-173
13. **Galvin JM, Leavitt DD, Smith AA.** Field edge smoothing for multileaf collimators. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1996; 35(1):89-94
14. **Rosenthal SA, Galvin JM, Goldwein JW, Smith AR, Blitzer PH.** Improved methods for determination of variability in patient positioning for radiation therapy using simulation and serial portal film measurements. 1992; 23:621-625
15. **Herman MG, Abrams RA, Mayer RR.** Clinical

- use of on line portal imaging for daily patient treatment verification. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1994; 28(4):1017-1023
16. Gilhuijs KGA, Drukker K, Touw A, Ven PJH, Herk M. Interactive three dimensional inspection of patient setup in radiation therapy using digital portal images and computed tomography data. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1996; 34(4):873-885
17. International commission on radiation units and measurements ICRU report 50; Prescribing, recording and reporting photon beam therapy. Bethesda: ICRU, 1993
18. 김현수, 윤성익, 이상욱, 추성실, 김귀언, 정갑수. 다엽콜리메이터 차폐영역의 최적화에 관한 연구. 한국의학물리학회 11차 학술대회(X선 발견 100주년 기념대회) 초록집, 1995

= 국문초록 =

Setup 오차에 따르는 Multi-leaf Collimator의 Scallop Penumbra 변화 효과

울산대학교의과대학, 서울중앙병원 방사선종양학과
인하대학교 의과대학 방사선종양학교실*

이병용 · 조영갑* · 장혜숙

목적 : 반복되는 환자 치료에서 환자의 Setup 오차가 Multi-leaf Collimator의 scallop penumbra 에 미치는 효과와 이의 임상적 의미를 살펴보고자 하였다.

대상 및 방법 : MLC의 leaf 방향에 대해 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° block 모양을 MLC와 통상적인 block으로 만들었다. 팬텀내에서 필름 측정법으로 통상적인 블록과 MLC가 만든 치료면의 penumbra 차이를 비교하였다. 방사선 치료는 30회 반복할 때의 setup 오차가 고려된 선량분포를 중첩방식으로 구하였다. 위치 변화값은 연구보고 수치를 근거하여 구하였다.

결과 : 평균 4mm setup error를 갖는 모델에서 1cm 폭분해능을 갖는 MLC가 만든 penumbra은 기존 차폐 블록에서 생긴 penumbra 보다 차폐 모양에 따라 0~3mm 증가하는 효과를 볼 수 있었다.

결론 : 치료 조사면을 결정할 때 MLC를 사용하더라도 ICRU 50에 따라 환자의 움직임을 고려하여 치료조사면을 결정하였다면, 기존의 방식과 동일하게 치료면을 정할 수 있으며, 필요에 따라 3mm의 여유를 두면 MLC 치료 조사면 내에 치료 부위가 충분히 포함된다.