

# 6 MV X선을 이용한 두경부 암 치료시 빔 스포일러 사용에 따른 선량학적 유용성 평가

연세의료원 암센터 방사선종양학과

전병철, 김주호, 조광환, 조정희, 박재일

## 서론

두경부 편평 상피 세포 암을 치료하기 위한 방사선 치료요법은 종양 부위를 포함한 경부 임파절(cervical lymphatics)을 치료하는데 그 목적이 있으며 종래 대부분의 두경부 암은 물리적 특성이 적합한 4MV X선이나 코발트 60(Cobalt 60) 감마선을 이용한 대향 2문 조사가 시행되어왔다. 그러나 6 MV 이상 단일 기종의 고에너지 방사선 발생장치 한대만을 보유한 병원뿐만 아니라, 여러 병원에서 4 MV X선 발생장치를 한대 이상 보유한 병원이 거의 없으므로 인해<sup>1)</sup> 장비의 고장 시 6 MV 혹은 10 MV X선을 이용해 두경부 암을 치료함으로써 두경부의 원발 부위 치료는 적절히 할 수 있으나 표재성 임파절(superficial cervical lymphatics)에 대해선 만족할 만한 치료 효율을 얻기가 어려운 것으로 알려져 있다.

이에 박순옥 등<sup>2)</sup>은 빔 스포일러(beam spoiler)를 이용한 흡수선량의 연구에서 6 MV X선을 이용한 두경부 치료 시 빔 스포일러의 사용이 표재성 임파절의 선량, 즉 피하 0.5 mm에서 선량을 약97% 까지 증가시킨다고 보고하였고, kubo 등<sup>3)</sup>과 kassae 등<sup>4)</sup>은 각각 10 MV 와 6 MV X선에서 빔 스포일러를 사용하는 경우 표재성 임파절의 선량을 90% 가량 선량을 증가시킨다고 보고하였다. 그러나 앞서 언급한 연구 등은 단일 방향에서의 심부 선량 측정에 의해 결과를 도출함으로써 실제 치료 시 대향 2문 조사에 따른 표재성 임파절에 대한 체적 선량을 평가하기 어렵고, 피부 선량의 변화를 예측하기가

어렵다. 따라서 본 저자는 6 MV X선을 이용한 두경부 암 치료 시 빔 스포일러를 투과한 빔 데이터(beam data)를 측정하여 3차원 치료계획 장치(3D RTPs, AcQ plan, Philips)에 적용하여 표재성 임파절에 대한 선량-체적 히스토그램(dose-volume histogram, DVH)과 피부 선량(skin dose)을 비교함으로써 빔 스포일러 사용에 따른 선량학적 유용성을 고찰하고자 하였고, 아울러 기존 4 MV X선을 이용한 경우와 조직 보상체를 사용한 6 MV X선 치료방법에 대해서도 비교함으로써 대향 2문 조사를 시행하는 두경부 암 치료시에 적절한 방법에 대하여 고찰 하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1) 심부 선량 백분율(percent depth dose, PDD) 과 선 측면상(beam profile) 측정

에너지는 4 MV X선(Clinac 600C)과 6 MV X선(Clinac 2100C/D)을 사용하였고, 빔 스포일러 사용에 따른 빔 데이터를 측정하였다. 빔 스포일러는 두께 1 cm 의 아크릴 판을 사용하여 아크릴 판과 표면의 거리(spoiler to tissue distance, STSD)를 7 cm 과 10 cm 에서 각각 측정하였고, 4 MV, 6 MV, spoiled-6 MV에서 각 조사면에 따른 심부 선량율(percent depth dose, PDD)과 최대선량(D<sub>max</sub>)을 포함하여 깊이 5 cm 간격으로 선 측면상을 측정하였다. 측정은 물팬텀(dosimetry system, wellhofer )

을 사용하였고, SSD 100cm 에서 전리함(IC-10, thimble type chamber)을 사용하여 측정하였다.

## 2) 치료 계획

측정된 4 MV, 6 MV, spoiled-6 MV의 빔 데이터를 3차원 치료 계획 장치(3-D RTP, pencil beam model, AcQ plan)에 적용하여 본원에 내원하여 전산화 단층 모의 치료조준(CT simulation)을 실시한 두경부 암 환자 6명을 대상으로 대항 2분 조사되도록 치료 계획하였으며, 종양 부위(gross tumor volume)와 피하 5 mm~10 mm 깊이의 표재성 임파절을 방사선 종양학 전문의에게 그리도록 하였고, 피하 1~2 mm를 피부로 설정하였다.

## 3) 선량-체적 히스토그램(dose volume histogram)과 피부선량의 비교

4 MV X선, 6 MV X선을 이용한 경우와 빔 스포일러를 사용한 6 MV X선을 이용하여 기준점을 중심깊이에 두고 대항 2분 조사를 실시한 치료 계획에서 각 에너지와 STSD 7 cm과 10 cm에서 빔 스포일러 사용에 따른 선량 체적 히스토그램(DVH)을 비교하였으며, 등선량 분포를 비교하였다. 빔 스포일러와 조직 보상체(bolus)에 의한 피부 선량을 비교하기 위하여 조사면 7×7 cm<sup>2</sup>, 10×10 cm<sup>2</sup>에서의 빔 스포일러를 이용한 치료 계획과 유사한 선량 분포를 나타낼 수 있도록 조직 보상체의

두께를 조절하여 이때 피부에 조사되는 선량을 심부 선량율과 측정점 선량을 이용하여 비교하였다.

## 결 과

### 1) 심부 선량 백분율(percent depth dose)과 선 측면상(beam profile)의 비교

물팬텀을 이용하여 6 MV X선과 1 cm 아크릴을 투과한 spoiled-6 MV X선을 STSD 7 cm 과 10 cm의 거리를 두고 각각의 심부 선량율을 측정하고 결과 표면선량은 open-6 MV에서 48.9% 이고 spoiled-6 MV X선은 STSD 7 cm과 10 cm에서 각각 87.2%, 80.2%로 나타나 빔 스포일러를 사용하였을 때 표면 선량이 38.9%, 31.3% 증가하였다. 또한 STSD가 7 cm일 때 10 cm인 경우 보다 7%의 선량이 증가하여 빔 스포일러가 표면에서 가까울수록 표면선량이 증가하는 것으로 나타났다. 동일한 측정에서 표재성 임파 절이 존재하는 피하 0.5 cm~1.5 cm에서의 평균 선량은 spoiled-6 MV X선은 STSD 7 cm과 10 cm 에서 98.3%, 98.4%로 나타난 반면, open-6 MV X선의 경우 91.6%로 나타나 빔 스포일러를 사용한 경우 약 7%의 선량 증가를 볼 수 있었다(Fig. 1).

spoiled-6MV X선 사용시 조사면에 따른 심부 선량율

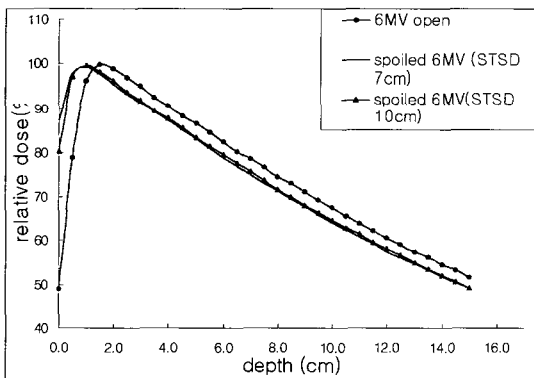


Fig 1. Comparison of percent depth dose in without spoiler and with spoiler (6MV, 10×10 cm<sup>2</sup> f.s)

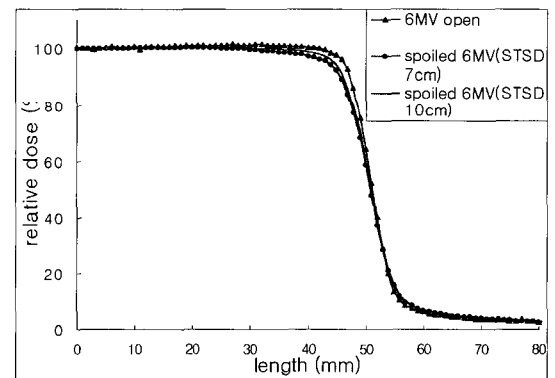
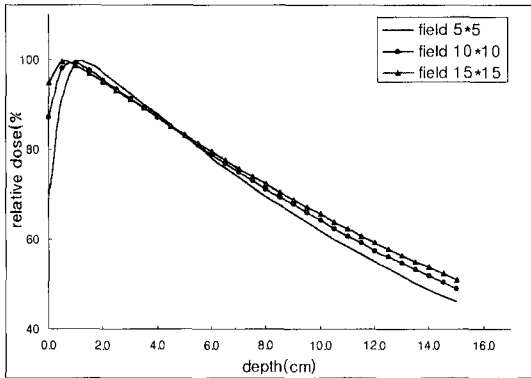


Fig 2. Comparison of beam profile in without spoiler and with spoiler (6MV, 10×10 cm<sup>2</sup> f.s, Dmax)



ig 3. Comparison of percent depth dose for field size in with spoiler 6MV (STSD 7 cm)

을 측정된 결과 15×15 cm<sup>2</sup> 조사면의 경우 표면 선량이 94.8%로 측정되었고 5×5 cm<sup>2</sup> 조사면에서 68.6%로 나타나 조사면 감소에 따라 표면 선량 또한 크게 감소하였고, 0.5 cm~1.5 cm에서의 평균선량은 5×5 cm<sup>2</sup> 조사면에서 96.7%이었으나 10×10 cm<sup>2</sup>과 15×15 cm<sup>2</sup> 조사면에서 98.3%로 동일하게 나타나 조사면에 따른 변화는 작은 조사면 (= <7×7 cm)을 제외하고는 그다지

큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3).

선 측면상을 비교한 결과 빔 스포일러를 사용한 경우 open-6 MV X선의 경우보다 선량 80%~20%인 반음영 (penumbra) 영역이 5.5 mm에서 7.2 mm 증가한 것으로 나타났고, 이는 표면과 스포일러간의 거리(STSD)가 가깝고, 조사면이 클수록 더욱 많은 차이를 내었다(Fig. 2).

## 2) 선량-체적 히스토그램(dose-volume histogram)과 피부 선량 비교

본원에 내원하여 두경부 암을 치료하기 위해 전산화 단층 촬영 모의 조준을 실시한 6명의 환자를 대상으로 대향 2분 조사하도록 치료 계획한 후 4 MV X선과 6 MV X선, spoiled-6 MV X선, 5 mm bolus- 6 MV X선 각각에 대하여 표재성 임파절에 대한 선량체적율과 피부선량을 비교하였다.(Table 1~3). 빔 스포일러를 사용한 경우 경부 임파절(cervical lymph node)의 최대 체적 선량과 평균 체적 선량은 각 에너지에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 최소 체적 선량은 4 MV X선과 비교하였을 때 open-6 MV X선은 6.6 cGy 감소하였고, STSD 7 cm과 10 cm 에서 spoiled 6 MV X선은 각각

Table 1. Maximum dose data in DVH

MAX DOSE(cGy)	4MV	6MV- open	6MV-bolus	6MV-7cm spoiler	6MV-10cm spoiler
1	105.8	106.1	107.0	107.1	107.0
2	105.6	105.2	105.7	105.0	105.4
3	108.5	107.2	106.7	106.0	105.7
4	106.8	107.1	107.2	106.4	106.4
5	107.9	107.2	107.2	107.1	107.1
6	109.0	108.8	108.9	107.8	107.6

Table 2. minimum dose data in DVH

min dose(cGy)	4MV	6MV- open	6MV-bolus	6MV-7cm spoiler	6MV-10cm spoiler
1	82.6	77.2	89.6	90.1	90.1
2	82.6	77.2	90.9	93.6	88.2
3	82.6	71.6	91.2	88.2	88.2
4	71.6	66.1	79.5	88.2	88.2
5	72.3	66.1	74.4	93.6	88.2
6	78.1	72.3	89.6	96.3	90.1

Table 3. Mean dose data in DVH

MEAN DOSE(cGy)	4MV	6MV- open	6MV-bolus	6MV-7cm spoiler	6MV-10cm spoiler
1	99.37	99.57	101.1	101.1	100.8
2	101.8	101	102.8	102.5	102.8
3	103.1	102.2	102.8	102.7	102.5
4	98.7	98.4	101.4	100.7	100.3
5	72.3	66.1	74.4	93.6	88.2
6	101.8	101.4	102.9	102.4	102

13.4 cGy, 10.5 cGy가 증가하였으며, open-6 MV X선과 5 mm 조직 보상체를 병용하였을 때 7.6 cGy의 선량이 증가함으로써 스포일러 사용시 표재성 임파절 (superficial cervical lymph node)에 저선량 지점이 감소하고, 선량 균등성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 4).

또한 95%의 등선량 분포(D95) 내에 존재하는 경부 임

파절의 체적은 4 MV X선을 사용하는 경우에 비해 open-6 MV X선은 2% 감소하였고, 조직 보상체 사용시 3.9%, 스포일러 사용시 각각, 5.2%, 4.3% 증가하여 조직 보상체와 스포일러 사용시 6 MV X선 사용에 따른 저선량 체적이 현저히 감소하였고, 표재성 임파절 또한 적절한 선량 영역 내에 위치하는 것을 등선량 분포에서도 확인할 수 있다(Table 4, Fig. 5).

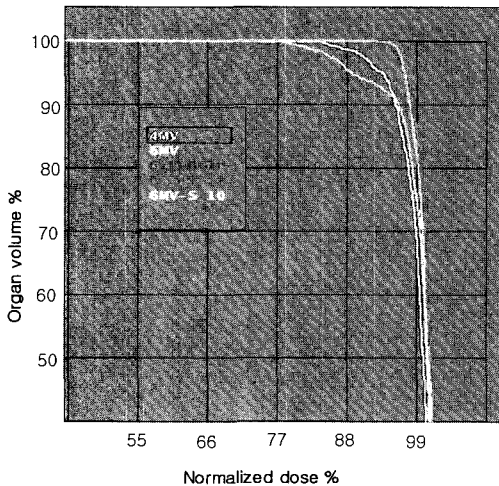


Fig 4. Variation of integral DVH in each case

피부선량을 비교하기 위해 측정점 선량을 측정한 결과 open-6 MV X선을 사용했을 경우 피부선량은 4 MV X선에 비해 5.8 cGy 감소하였고, 빔 스포일러를 사용했을 경우 STSD 7 cm 과 10 cm에서 각각 10.6 cGy, 8.3 cGy 증가하였다. 또한 빔 스포일러를 사용했을 때와 같

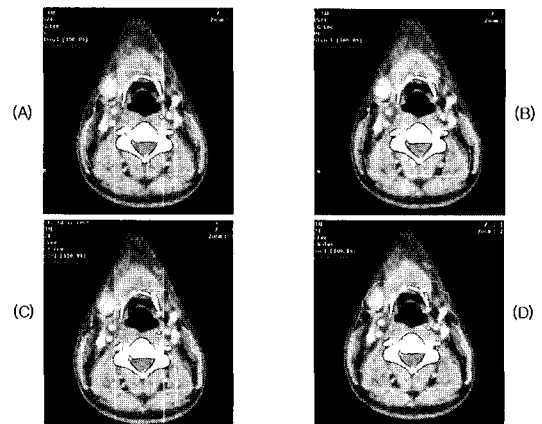


Fig 5. Variation of isodose distribution  
(a) 4 MV-open, (b) 6 MV-open,  
(c) bolus-6 MV, (d) spoiled-6 MV

은 심부 선량을 나타내도록 5 mm 조직 보상체를 사용하여 치료 계획하였을 경우 피부선량이 7.9 cGy 증가하여, STSD 7 cm에서의 피부선량보다는 2.7 % 적게 나타났으며, STSD 10 cm인 경우와는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.(Table 5)

Table 4. Volume of cervical lymph node inside 95% isodose distribution

D/95 volume(%)	4MV	6MV- open	6MV-bolus	6MV-7cm spoiler	6MV-10cm spoiler
1	92.2	91.5	98.9	100	99.8
2	95.6	92.8	99.3	100	99.3
3	99.4	98.3	99.9	99.8	99.8
4	85.9	85.7	93.5	97.8	95.3
5	95.6	89.9	98.4	99.6	98.6
6	97.4	95.8	99.4	100	99.6

Table 5. Skin dose data in each case

skin dose(cGy)	4MV	6MV- open	6MV-bolus	6MV-7cm spoiler	6MV-10cm spoiler
1D/95 vol	62.6	57.9	70.0	73.5	71.2
2	58.1	53.6	65.5	66.2	64.3
3	64.5	58.9	74.2	75.2	72.4
4	63.2	53.6	69.2	74.5	72.4
5	64.5	59.0	72.9	75.8	73.5
6	64.2	59.1	72.8	75.6	73.2

### 3) 선량 통계

각 측정된 결과에서 4 MV X선을 사용한 선량 체적율과 피부 선량을 기준으로 open-6 MV X선, 조직보상체(5 mm), 빔 스포일러를 사용한 경우에서 각각의 선량 체적

율과 피부선량 차이에 대한 평균값을 구하여 통계 프로그램(SPSS version 10.0)을 사용하여 단일 표본 T 검정을 시행하였다.

Table 6. Statics of dose deviation ( T-test )

	Max dose		Min dose		P	M	P	M	Skin dose	
	P	M	P	M					P	M
6MV-open	0.242	0.3	0.000	-6.6	0.210	-1.4	0.058	-2.0	0.001	-5.8
6MV-bolus	0.734	0.2	0.002	7.6	0.022	1.4	0.018	3.9	0.000	7.9
7cm spoiler	0.223	0.7	0.003	13.4	0.261	4.3	0.027	5.1	0.000	10.6
10cm spoiler	0.235	0.7	0.004	10.5	0.258	3.3	0.026	4.3	0.000	8.3

P is probability, M is Average of (X) - 4MV value if (X) = 6MV-open, bolus, STSD 7cm, 10cm spoiler value

평균 차이는 검정값(H0)을 0으로 하였을 때 최대 체적 선량과 평균 체적선량에서의 유의 확률이 0.05보다 크므로 95% 신뢰수준에서 유의하지 않았고, 최소 체적선량과 피부선량, 95% 선량체적 (D95)은 95% 신뢰 수준에서 유의하였으며, 평균차 M은 Table 6)과 같다.

## 고찰

빔 스포일러는 조직 등가 물질과 유사한 polystyrene으로 구성되었으며 이러한 빔 스포일러는 투과한 1차선을 감약시키고, 2차 전자를 생성한다. 따라서 빔 스포일러를 투과한 X선 에너지는 빔 스포일러에 의해 감약된 광자선과 빔 스포일러에 의해 새로 발생한 2차 전자로 구성되어지고 감약된 1차선과 새로 발생한 2차 전자는 빔 스포일러와 표면간의 거리(STSD, spoiler to tissue distance), 조사면, 스포일러의 두께에 따라 전자 평형대(build up region)에서 빔 스포일러를 투과하기 전 에너지와 다른 차이를 나타내며, 특히 표면 선량과 표면 이하의 일정 깊이에서 또한 영향 줄 수 있다. 이러한 표면과 표면이하 일정 깊이(0.5 cm~1.5 cm)에서의 선량 증가에 따른 표재성 임파절의 치료 효율을 평가 하고자 한 본 연구에서 빔 스포일러의 사용은 표재성 임파절의 95% 선량내 체적을 99% 이상 향상시킴으로써 표재성 임파절의 치료 효과에 있어서 유용하였으나 약 15% 이상의 피부선량을 증가시킴으로써 치료시 피부 홍반(skin erythmia)의 유발 가능성 또한 증가 할 수 있다고 사료 된다.

kassae 등<sup>4</sup>은 빔 스포일러를 이용한 연구에서 빔 스포일러와 피부와의 거리가 가까울수록 스포일러에 의해 발생한 전자로 인해 피부보호 효과를 떨어뜨린다고 보고 하였으나 단 STSD 6 cm~10 cm 이내인 경우 조직 보상체(bolus)를 사용한 경우보다 피부 보호 효과가 우수하였다고 보고한바 있다. 그러나 3차원 치료 계획 장비를 이용하여 대항 2문 조사되도록 치료 계획 한 본 연구에서 STSD 7 cm, 10 cm에서 각각의 경우 bolus를 사용한

경우 보다 피부선량은 2.7%, 0.4% 증가함으로써 빔 스포일러 사용시 bolus를 사용하는 경우 보다 나은 피부보호 효과는 나타나지 않았다. 빔 스포일러 사용시 피부선량을 감소시키기 위한 방안으로서는 kubo 등<sup>3</sup>이 10 MV X선에서 빔 스포일러를 사용한 경우 표재성 임파절의 90% 이상의 선량을 증가시키고 스포일러를 사용하지 않은 6 MV X선에서의와 같은 피부 보호 효과를 얻을 수 있었다고 보고 한바와 같이 6 MV 이상의 고에너지를 사용하거나, 스포일러와 표면과의 거리 (STSD $\geq$ 10)를 유지하여 2차 산란선의 영향을 줄여주는 것이다.

따라서 6 MV X선을 이용한 두경부 암 치료시 스포일러와 표면과의 거리 (STSD)는 매우 중요한 요소이고, 너무 가까운 STSD에서는 표재성 임파절의 치료 효율을 증가시킬 수는 있으나 불필요한 피부선량의 증가와, 불균질한 피부 윤곽에 따른 선량분포의 오류, 반음영의 증가로 인해 정상 조직의 차폐율을 감소시킬 소지가 있고, STSD가 큰 경우 표재성 임파절의 치료선량이 감소한다. 연구 결과 6 MV X선 사용시 kassae 등<sup>4</sup>의 연구에서와 같이 STSD를 10 cm 정도를 유지하는 것이 가장 적절하다는 것을 확인 할 수 있었으나 표재성 임파절의 위치, 즉 피하 깊이에 따라 적절한 선택이 요구되어진다.

## 결론

6 MV X선을 이용한 두경부 암 치료 시 표재성 림프절의 치료 효과를 증가시키기 위한 빔 스포일러의 사용은 단일 방향 빔의 심부 선량 백분율을 측정 한 결과, 6 MV X선에서 빔 스포일러를 사용한 경우 빔 스포일러를 사용하지 않은 경우에 비해 표면선량은 STSD에 따라 31.3%~38.9%의 차이를 나타내었으며, 표재성 림프절의 위치에서는 약 7%의 선량 증가를 나타내었다. 또한 대항 2문 조사한 치료 계획에서는 빔 스포일러를 사용함으로써 표재성 림프절의 99%이상의 체적이 95% 치료선량 내에 존재하는 결과를 얻을 수 있었으며,

14.1%~16.4%의 피부선량 증가 또한 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- 1) 대한 방사선 치료 기술학회; 방사선치료장비전국 통계. 대한 방사선 치료 기술학회지, 8(1). 167~171. 1996
- 2) 박순옥, 정인표; 6MV X선을 이용한 두경부 방사선 치료시 흡수선량 분포에 관한 연구. 대한 방사선 치료 기술학회지, 6(1). 64~66. 1994
- 3) Hideo kubo, Russl MD, Wang CC; use of 10MV spoild X-ray beam for treatment of head and neck tumor Int. J. Radiation oncol. biol. phys., 8. 1795~1798. 1982
- 4) Alireza kassaee, Peter bloch; beam spoilers versus bolus for 6 MV photon treatment of head and neck cancer. Medical dosimetry, vol 25. 127~131. 2000