

# 양성자치료시 Air Gap 변화에 따른 Lateral Penumbra와 선량분포 변화에 대한 비교 및 연구

국립암센터 양성자치료센터

김재원 · 심진섭 · 장요종 · 강동윤 · 최계숙

**목적:** 고 에너지 양성자치료에 있어서 Air gap (환자와 Beam 사출구 사이의 거리)의 변화는 Lateral Penumbra의 증가로 불필요한 조사야를 형성할 수 있고, 치료부위에서 최대선량 증가와 최소선량 감소로 선량분포의 균질성을 저하시킬 수 있다. 이에 Air gap 변화에 따른 선량분포에 대해 비교, 연구해 보고자 한다.

**대상 및 방법:** 본원에서 양성자치료를 받은 Lung, Liver 환자 6명을 선정하여 크기가 다른 조사야 A와 조사야 B에서 Air gap을 2, 4, 6, 8, 10 cm로 설정하여 Proton external beam planning system을 통해 치료계획을 세웠다. Air gap에 따른 Lateral Penumbra 영역 및 DVH (Dose Volume Histogram)를 비교하고 PCTV영역의 최대선량 및 최소선량 값을 비교하였다. 또한 PCTV내에 선량의 균질성을 알기 위하여 Homogeneity index값을 비교, 분석하였다.

**결과:** 각각의 조사야에서 Air gap의 변화(2, 4, 6, 8, 10 cm)에 따른 Lateral Penumbra영역을 분석한 결과 조사야 A에서 Air gap 2~10 cm변화에 따라 평균 1.36~1.75 cm까지 약 28.7%가 지속적으로 증가하였고 조사야 B에서 평균 1.36~1.79 cm까지 약 31.6%가 지속적으로 증가하였다. DVH를 분석한 결과 최대선량의 상대선량 백분율은 Air gap 2~10 cm일 때 평균 108.1%에서 평균 110.3%까지 약 2.03%가 지속적으로 증가하였고 최소선량의 상대선량 백분율은 평균 93.9%에서 평균 90.8%까지 약 3.31%가 지속적으로 감소하였다. Homogeneity index값은 평균 Air gap 2~10 cm까지 1.09~2.6으로 2배 이상 증가하였다.

**결론:** 양성자 치료에 있어서 Air gap이 증가함에 따라 Lateral Penumbra 영역이 증가함을 알 수 있었고, 치료부위에서 최대선량 값의 증가와 최소선량 값의 감소로 인하여 Homogeneity index값이 증가함으로써 PCTV내에 Beam의 균질성이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이에 추후 양성자치료시 Air gap을 줄이기 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

**핵심용어:** 측 반응영, 환자와 빔 사출구 사이의 거리, 빔의 균질성 지표

## 서 론

양성자치료란 방사선치료의 하나로 수소원자핵(입자)을 빛의 60% 속도로 가속시켜 Target (종양)에 도달하여 암 조직을 사멸시키는 치료를 말한다. 가속된 양성자선은 체내에서 에너지흡수가 최대도달 깊이 바로 전에 일어난다. 때문에 몸속을 통과하면서 정상조직에는 방사선 영향을 주지 않다가 암 조직에서 최고의 에너지를 쏟아 암세포의 DNA를 파괴하는 원리를 갖는다.<sup>1)</sup> 기존 방사선 치료에 사용되고 있는 X선은 발사 깊이를 조절할 수 없어 암세포를 향해 쏘면 사람 몸을 뚫고 지나가며 이것은 멸절된 장기나 조직에 손상을 어느 정도 감수해야 하는 이유이다. 하지만 양성자치료는 깊이를 조절해 쏠 수 있기 때문에 정확히 암 부위까지만 가서 암세

포를 제거하는 것이 가능하며 이로 인해 암 치료 과정에서 생기는 부작용이 획기적으로 적을 수밖에 없다. 그리고 양성자 치료는 치료과정이 신속하고 고통이 없는 것도 장점이기도 하다.

하지만 양성자도 X선과 마찬가지로 Beam Divergency가 존재하고 이로 인한 조사야 내에서 반응영(Penumbra)을 형성할 수 있다. 방사선치료에 있어서 반응영 영역이란 선원의 크기 및 여러 기하학적인 요인에 의하여 주변에 필요 없는 조사야를 형성한다. 이러한 현상은 고에너지 양성자 치료에 있어서 불필요한 조사야를 만들 수 있고 정상조직에 선량 증가를 일으킬 수 있다.<sup>2)</sup>

영향인자로 산란선과 투과특성에 의한 물리적 요소와 선원크기, SSD, SCD (source colimator distance)를 포함하는 기하학적 요소에 의해 결정된다. 범위는 최대선량영역에서 등선량곡의 90~20% 선량곡선까지의 거리를 말하며(물리학적 반응영), 콜리메이터가 3/5 정도 열려있고 SSD가 80 cm일 때 선원의 크기가 2 cm인 경우 반응영은 1.5~2 cm이다.<sup>3)</sup> 일

이 논문은 2009년 12월 15일 접수하여 2010년 2월 21일 채택되었음.  
책임저자 : 김재원, 국립암센터 양성자치료센터  
Tel: 031)920-0132, Fax: 031)920-0149  
E-mail: kimjw1226@hanmail.net

반적인 의미에서 반음영이라는 용어는 방사선 신속의 가장 자리에서 선량률이 신속축으로부터 거리함수에 따라 빠르게 변하는 지역을 뜻하기도 한다. 이렇게 양성자 치료에 있어서도 반음영이 존재하고 이에 따른 불필요한 선량영역을 형성할 수 있다.<sup>4)</sup> 이에 따라 양성자 치료시 발생 할 수 있는 Air gap 변화에 따른 반음영 대한 연구를 통해 그에 따른 영향과 의미에 대해서 고찰해 보고자 한다.

**대상 및 방법**

본원에서 양성자치료를 받은 Lung, Liver 환자 각각 2명을 선정하여 공통된 Field인 PA/RT에서 Air gap을 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm을 설정하여 Eclips proton external beam planning system을 통해 치료계획을 세워보았다. 그 결과 나온 Air gap에 따른 DVH 및 반음영 영역을 비교하고 PCTV영역의 Max dose 및 Min dose 값을 비교, 분석하였다. 또한 PCTV내에 선량이 얼마나 균등하게 들어가는지를 알 수 있는 Homogeneity index값을 구하여 비교, 분석하였다(Table 1).<sup>5)</sup>

**결 과**

각각의 조사야에서 Air gap의 변화(2, 4, 6, 8, 10 cm)에 따른 Lateral Penumbra영역을 분석한 결과 조사야 A에서 Air gap 2~10 cm 변화에 따라 평균 1.36~1.75 cm까지 약 28.7%가 지속적으로 증가하였다(Table 2, Fig. 1).

조사야 B에서 평균 1.36~1.79 cm까지 약 31.6%가 지속적으로 증가하였다(Table 3, Fig. 2). DVH를 분석한 결과 최대 선량의 상대선량 백분율은 Air gap 2~10 cm일 때 평균 108.1%에서 평균 110.3%까지 약 2.03%가 지속적으로 증가하였다(Table 4, Fig. 3). 최소선량의 상대선량 백분율은 평균 93.9%에서 평균 90.8%까지 약 3.31%가 지속적으로 감소하였다(Table 5, Fig. 4). Homogeneity index값은 평균 Air gap 2~10 cm까지 1.09~2.6으로 2배 이상 증가하였다(Table 6, Fig. 5).

**Table 1.** Homogeneity index

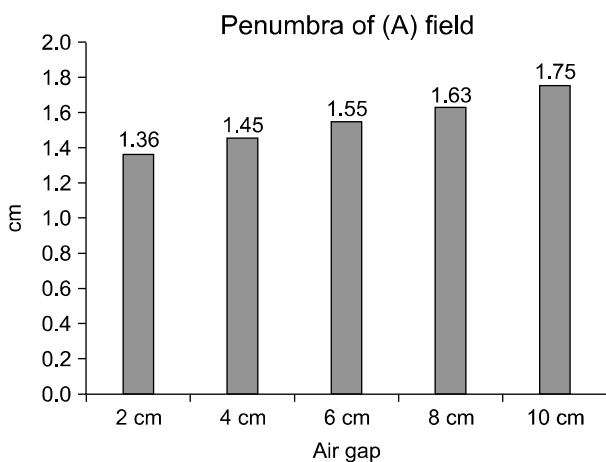
Homogeneity index	$[(D2\_PTV - D98\_PTV) / Dprescription\_PTV] \times 100$
	D2_PTV (Gy) Dose covering 2% volume of PTV
	D98_PTV (Gy) Dose covering 98% volume of PTV
	Dprescription_PTV (Gy) Prescribed dose to PTV

**Table 2** Average data for A field's penumbra

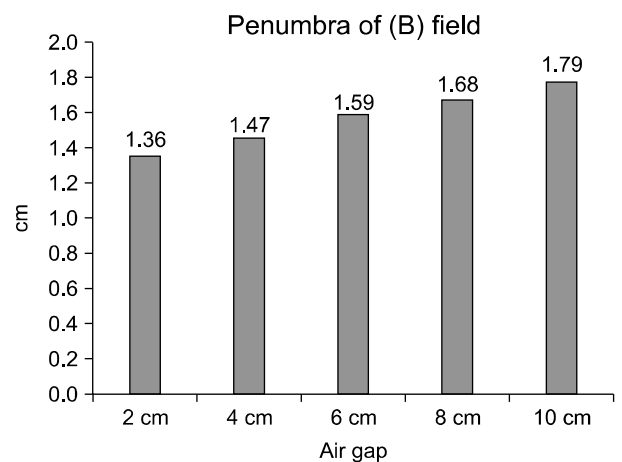
Air gap (cm)	2	4	6	8	10
A field's penumbra (cm)	1.36	1.45	1.55	1.63	1.75

**Table 3.** Average data for B field's penumbra

Air gap (cm)	2	4	6	8	10
B field's penumbra (cm)	1.36	1.47	1.59	1.68	1.79



**Fig. 1.** Average data for A field's penumbra.



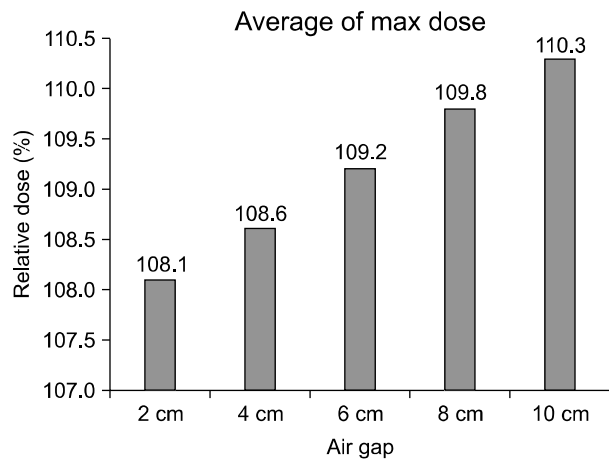
**Fig. 2.** Average data for B field's penumbra.

**Table 4.** Average data for maximum dose's relative dose

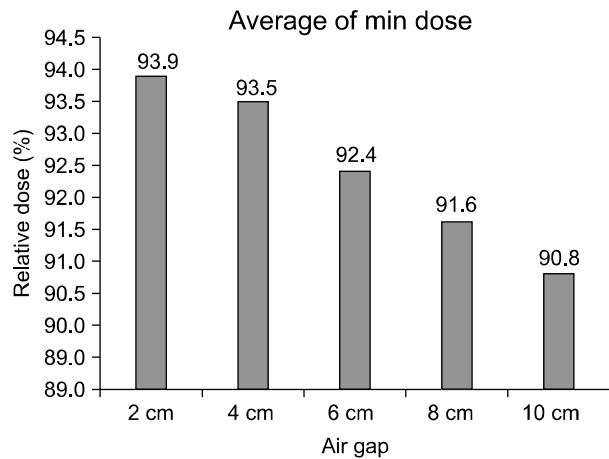
Air gap (cm)	2	4	6	8	10
Max dose (%)	108.1	108.6	109.2	109.8	110.3

**Table 5.** Average data for minimum dose's relative dose

Air gap (cm)	2	4	6	8	10
Min dose (%)	93.9	93.5	92.4	91.6	90.8



**Fig. 3.** Average data for maximum dose's relative dose.



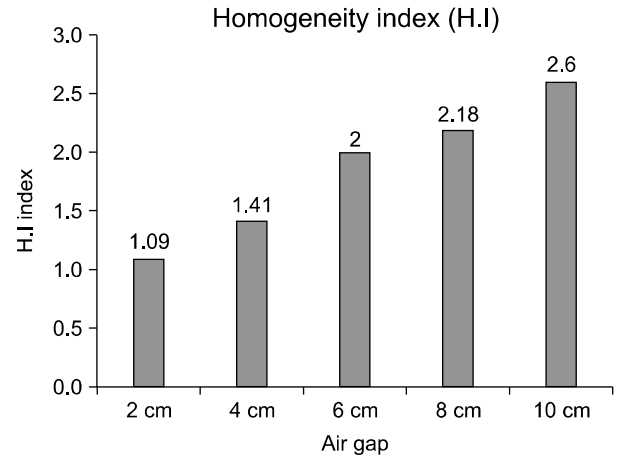
**Fig. 4.** Average data for minimum dose's relative dose.

### 고안 및 결론

양성자 치료에 있어서 Air gap이 증가함에 따라 Penumbra 영역이 증가함을 알 수 있었고 이에 따라 Maximum dose값의 증가와 Minimum dose값의 감소로 인해 Homogeneity in-

**Table 6.** Average data for homogeneity index

Air gap (cm)	2	4	6	8	10
H.I	1.09	1.41	2	2.18	2.6



**Fig. 5.** Average data for homogeneity index.

dex 값이 증가하여 PCTV내에 Beam의 균질성이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 양성자 치료에 있어서 Air gap을 좌우하는 인자는 여러 가지 있을 수 있다. 먼저 환자 position 및 그에 따른 Device에 따른 collision문제의 발생이다. 양성자치료의 특성상 치료실에서 실제 치료 전 모의치료를 하다보면 예상치 못하게 Gantry와 Device 사이에 collision이 발생할 수도 있고 Gantry와 환자사이거리에서도 안전거리가 확보되지 못할 경우도 있다. 따라서 간혹 최소의 Air gap 2 cm을 적용을 못하고 그 이상의 Air gap을 적용해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 또한 최선의 치료계획을 세우다 보면 최소의 Air gap을 적용을 못하는 경우도 발생할 수도 있다. 본 논문에 결과를 보듯이 Air gap 변화에 따라 Penumbra가 증가함으로써 발생하는 Homogeneity index 값의 변화 수치는 Accept되는 범위 안에 들어온다. 하지만 증가수치가 Accept 되는 범위라도 Target안에 Beam의 균질성은 가능하다면 높이는 것이 좋기 때문에 Air gap을 줄이기 위한 지속적인 노력과 양성자 치료에 있어서 Penumbra에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 된다고 사료된다.

### 참고문헌

1. Urie MM, Sisterson JM, Koehler AM, Goitein M, Zoesman J: Proton beam penumbra: effects of separation between patient and beam modifying devices. Medical Physics

- 1986;13(5):734-741
2. Oozeer R, Mazal A, Rosenwald JC, et al.: A model for the lateral penumbra in water of a 200-MeV proton beam devoted to clinical applications. *Medical Physics* 1997;24:6
  3. Safai S, Bortfeld T, Engelsman M: Comparison between the lateral penumbra of a collimated double-scattered beam and uncollimated scanning beam in proton radiotherapy. *Physics in Medicine and Biology*
  4. Kanematsu N, Akagi T, Takatani Y, Yonai S, Sakamoto H, Yamashita H: Extend collimated mode for pencil beam dose calculation in proton radiotherapy. *National Institute of Radiation Sciences* 2001;0031-9155:51
  5. 김진성, 윤명근, 박성용 등: 방사선치료 관련 연구를 위한 선량 체적 히스토그램 분석 프로그램 개발. *대한방사선종양학회지* 2009;27(4):240-248

Abstract

## Research for Lateral Penumbra and Dose Distribution When Air Gap Changing in Proton Therapy Case

Jae Won Kim, Jin Seob Sim, Yo Jong Jang, Dong Yun Kang, Gye Suk Choi

Proton Therapy Center, National Cancer Center, Goyang, Korea

**Purpose:** In the treatment of high-energy protons Air gap (the distance between the patient and the exit Beam) Lateral Penumbra of the changes to the increase in the radiation fields can form unnecessary and increase the maximum dose at the site of treatment and reduced the minimum dose homogeneity of dose distributions can decline. Air gap due to this change in dose distribution compared to investigate studied.

**Materials and Methods:** Received proton therapy at our institution Lung, Liver patients were selected and the size of six other Air gap in Field A and Field B 2, 4, 6, 8, 10 cm Proton external beam planning system by setting up a treatment plan established. Air gap according to the Lateral Penumbra area and DVH (Dose Volume Histogram) to compare the maximum dose and minimum dose of PCTV areas were compared. In addition, the dose homogeneity within PCTV Homogeneity index to know the value and compared.

**Results:** Air gap (2, 4, 6, 8, 10 cm) at each change in field size were analyzed according to the Lateral Penumbra region Field A Change in the Air gap 2~10 cm by 1.36~1.75 cm, the average continuously increased about 28.7% and Field B Change in the Air gap 2~10 cm by 1.36~1.75 cm, the average continuously increased about 31.6%. The result of DVH analysis for relative dose of the maximum dose According to Air gap 2~10 cm is the mean average of 110.3% from 108.1% to a sustained increase by approximately 2.03% and The average relative dose of minimum dose is the mean average of 93.9% percent to 90.8 percent from the continuous decrease of about 3.31 percent. The result of Homogeneity index value to the according to Air gap 2~10 cm is the 2-fold increase from 1.09 to 2.6.

**Conclusion:** In proton therapy case, we can see the increasing of lateral penumbra area when airgap getting increase. And increasing of Dmax and decreasing Dmin in the field are making increase homogeneity index, So we can realize there are not so good homogeneity in the PCTV. Therefore we should try to minimize air gap in proton therapy case.

---

**Key words:** lateral penumbra, air gap, homogeneity index