

자체 제작한 양성자 치료용 Rounded Extension의 유용성 평가

국립암센터 양성자치료센터

박지연 · 장요종 · 강동윤 · 염두석 · 최계숙

목적: 폐, 복부의 양성자 치료 시 사용되는 Long Extension (LE)은 Supporting bar에 의한 치료 면적의 제한이 있고, 후사방향의 빔에서 Collision으로 인해 치료 계획 시 다양한 갠트리 각도의 제한을 발생시키며 에어갭(Air gap, 환자와 Beam 사출구 사이의 거리)을 증가시킨다. 이에 본 연구는 본원에서 자체 제작한 Rounded Extension (RE)을 LE과 비교 평가하여 양성자 치료 시 최적의 Extension을 적용하는데 그 목적이 있다.

대상 및 방법: LE과 RE의 구조적 특징을 비교하고, Snout size (∅100, ∅180, ∅250)별 이용 가능한 갠트리 각도를 알아보았다. 그리고 Humanoid phantom을 놓고 CT모의촬영을 하였다. CT영상을 통해 후사방향에서 에어갭의 차이를 알아보았다.

결과: 두 Extension의 구조적 특징을 비교해 본 결과, Supporting bar의 유무로 인하여 LE은 유효한 가로축 길이가 40 cm이며, RE은 50 cm임을 알 수 있었다. 각 Extension의 Snout size (∅100, ∅180, ∅250)별 이용 가능한 갠트리 각도, 에어갭의 차이를 분석한 결과는 다음과 같다. LE은 180도 기준에서 평균 ±36도이며, RE은 평균 ±70도로 나타났다. 그리고 RE은 동일 갠트리 각도에서 LE에 비해 에어갭이 평균 11.30 cm 감소하는 것을 알 수 있었다.

결론: 자체 제작한 양성자 치료용 RE은 LE에 비해 치료 면적 및 이용 가능한 갠트리 각도 범위가 더 넓고 후사방향의 빔에서 에어갭을 줄임으로서 폐, 복부의 양성자 치료 시 더 유용하게 사용될 것이다. 그러나 조사범위가 큰 치료영역에서 측방향의 빔을 사용할 때는 오히려 에어갭이 커질 수 있으므로 차후 보완이 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어: long extension (LE), rounded extension (RE), 양성자 치료, supporting bar, 에어갭

서 론

양성자 치료는 수소 원자의 핵을 구성하는 양성자를 cyclotron에서 빛의 60%에 달하는 속도로 가속시켜 발생된 빔을 이용해 종양조직을 파괴하는 치료법이다.

가속된 양성자는 몸 안을 통하여 진행하면서 느려지고 궤도 전자와 상호작용이 증가한다. 궤도 전자와 상호작용은 양성자가 멈추는 시점에 접근하면서 증가하여 최대에너지가 종양에 전달된다. 에너지가 최대로 전달되는 고선량 영역을 브래그 피크(Bragg peak)라 하고 이 영역을 통과한 양성자는 급격히 소멸되는 특성을 지니고 있다. 이러한 특성으로 인해 병변의 뒤쪽에서 발생할 수 있는 방사선 손상을 최소화하면서 종양에 충분한 방사선량을 조사하여 치료 성적을 극대화시킬 수 있다.

양성자 치료의 임상 적응증은 초기에는 표재성 질환에 국한되었으나 최근에는 진단 영상 및 부속 기기의 발달로 점차

심부 종양까지 확대되고 있다. 양성자 치료의 초기에는 주로 뇌하수체 선종, 동정맥 기형, 맥락막 흑색종 등의 안구 종양 등 정밀성과 국소 집중도를 요구하는 한정된 종양에서 시도되었고 임상적으로 기존의 방사선치료에 비해 월등한 결과를 보고하였다. 그러나 최근에는 전립선암, 뇌종양 및 두개저의 육종, 두경부 종양, 소아 고형암, 폐, 식도암, 자궁경부암, 간암 등 인체 전 부분에 걸쳐 골고루 치료를 행하고 있으며 기존 치료에 비해 정상조직에 대한 부작용의 증가 없이 종양의 제어율 및 생존율에 우수한 결과를 보고하고 있다.¹⁾

폐, 식도암, 자궁경부암, 간암 등의 부위를 치료할 때 환자는 extension에 누워서 치료를 받게 된다(Fig. 1). Extension은 PPS (Patient positioning system)에 부착하여 사용하는 일종의 카우치와 비슷한 역할을 하는 장치로 PPS끝 부분에는 extension과 연결하여 고정할 수 있도록 hole, locking disks, pins 이 있다(Fig. 2). 그리고 PPS의 움직임에 따라 lateral, longitudinal, vertical, pitch, roll, rotation 방향으로 함께 움직이며, carbon 재질로 이루어져 있다.²⁾

치료 계획 시 종양의 위치와 주변 장기와의 관계에 따라 양성자 빔의 방향이 결정되는데 경우에 따라 후사방향(posterior oblique direction)의 빔이 사용되는 경우가 발생한다.

이 논문은 2012년 3월 18일 접수하여 2012년 8월 23일 채택되었음.
책임저자 : 박지연, 국립암센터 양성자치료센터
Tel: 031)920-0350, Fax: 031)920-0149
E-mail: sweet0217@empal.com

후사방향에서 빔 조사 시 extension을 거쳐 환자에게 양성자 빔이 들어가게 되는데, 양성자는 SOBP (Spread out bragg peak), Range 등 기존의 방사선 치료와 다른 물리적 특성을 가지고 있기 때문에 extension의 존재는 빔에 영향을 주어 환자 치료 시 장애물이 될 수 있다.³⁾

기존에 사용되던 long extension의 경우 양쪽 측방향에 고밀도 물질로 이루어진 supporting bar가 존재한다(Fig. 3). 이로 인해 치료면적의 제한이 발생하며, 환자 자세를 재현 시 위치의 차이에 따라 extension의 끝부분 영향에 의해 선량분포의 불확실성이 생긴다.⁴⁾

또한 후사방향의 빔에서 supporting bar를 지나가지 않도록

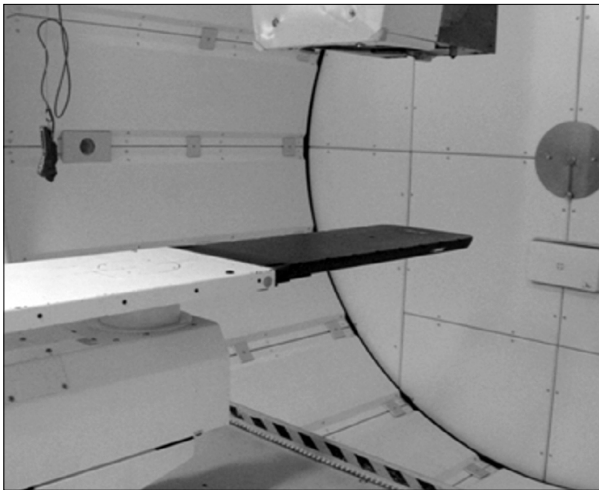


Fig. 1. PPS attached to the long extension.

치료계획을 세워야 하고, 갠트리와 extension의 충돌이 발생하지 않도록 해야 하므로 다양한 갠트리 각도의 제한을 발생시키며 에어갭(Air gap, 빔과 사출구 사이의 거리)을 증가시키는 단점을 가지고 있다.

에어갭이 증가하면 반음영(Lateral Penumbra) 영역이 증가하고 이에 따라 maximum dose값의 증가와 minimum dose값의 감소로 인해 homogeneity index 값이 증가하여 PCTV내에 빔의 균질성이 떨어진다.⁵⁾ 특히 치료영역이 작은 경우 output에 영향을 미치기도 한다.⁶⁾

또한 snout size에 따라 이용 가능한 갠트리 각도가 달라지게 된다. Snout은 반경에 따라 $\varnothing 100$, $\varnothing 180$, $\varnothing 250$ 으로 구성되어 있으며 snout의 실제 반경은 135 cm, 179 cm, 279 cm이지만 차폐물을 장착하기 위한 홈을 만들기 위한 부분이 필요

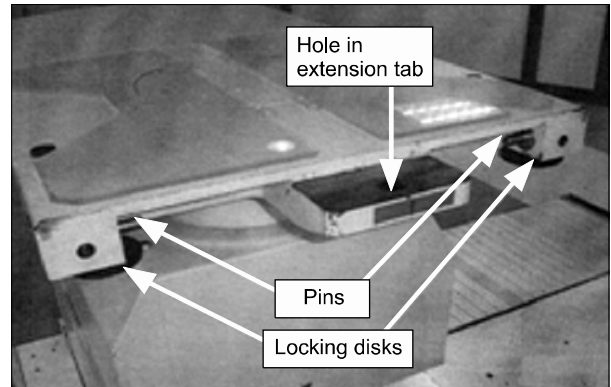


Fig. 2. Disk and button on PPS side.

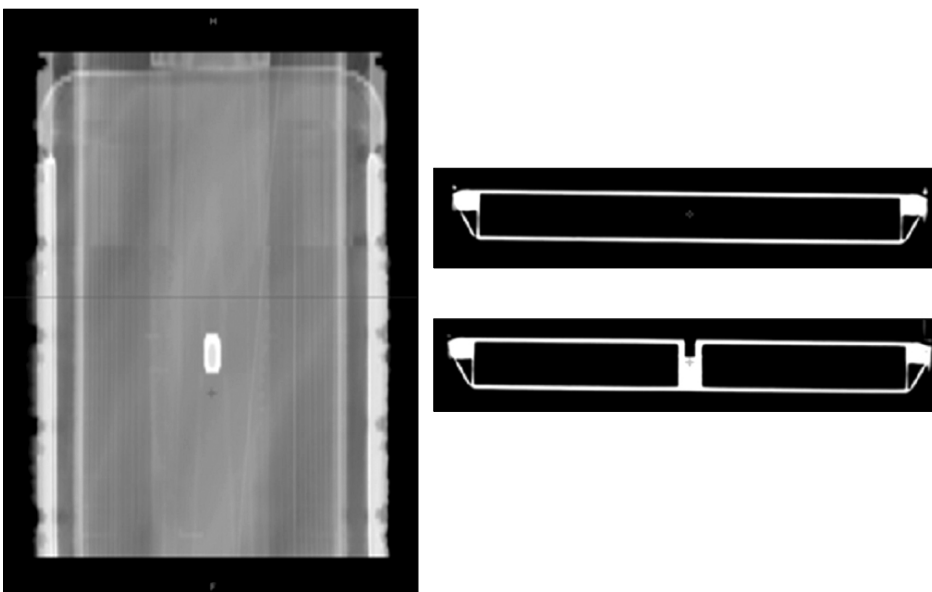


Fig. 3. Scout image and CT image of long extension.

하므로 유효면적은 더 작다.

이에 본 연구는 본원에서 long extension의 단점을 극복하기 위해 자체 제작한 rounded extension과 long extension의 비교분석을 통해 rounded extension의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상 및 장비

Long extension과 자체 제작한 rounded extension를 구조적 특징을 비교하였다(Fig. 4). 양성자 치료기(Proteus-235, IBA, Belgium)를 이용하여 Snout size (∅100, ∅180, ∅250)별 후사방향에서 이용 가능한 갠트리 각도를 알아보았다.

Humanoid phantom놓고 CT (Light speed, GE, USA) 모의 촬영을 하였고, 치료계획시스템(Eclipse, Varian, USA)을 사용하여 snout size별 후사방향에서의 에어갭의 차이를 비교해 보았다.

2. Rounded Extension의 특징

Rounded extension을 제작하게 된 가장 큰 동기는 후사방향에서 이용 가능한 갠트리 각도의 제한으로 인해 치료 계획시 불편함이 있었기 때문이다. 따라서 rounded extension은 갠트리 각도의 제한을 최소화 할 수 있는 방향으로 제작하였다.

재질은 carbon이며 총 면적은 $50 \times 100 \text{ cm}^2$, 두께는 5.5 cm, 하중은 210 kg, sagging은 0.3도 이하/100 kg로 제작하였으며, 평편하던 extension면을 둥글게 하였고 둥근 면의 반경은 369 cm, 길이는 9.5 cm으로 제작하였다. 그리고 long extension에서 환자 자세 재현 시 supporting bar를 피해 환자를 눕혀야 했던 점을 보완하기 위해 양쪽 측면에 존재하던 supporting bar를 없앴다. 그 외 PPS에 장착하는 연결 부위는 long extension과 동일하게 하여 장착시 불편함이 없도록 하였다(Fig. 5).

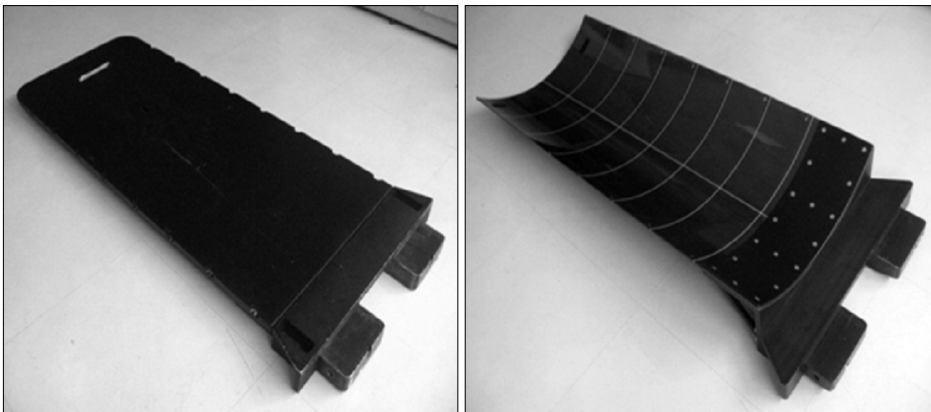


Fig. 4. Long extension and manufactured rounded extension.

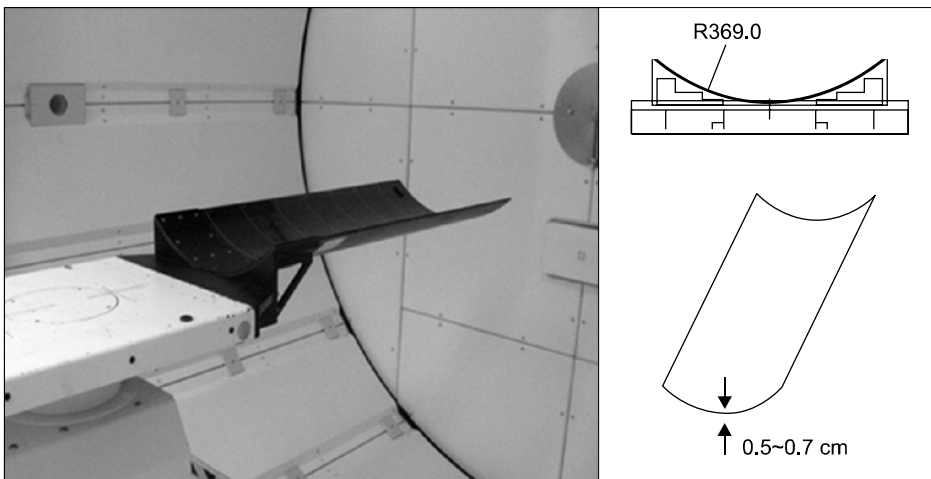


Fig. 5. PPS attached to the rounded extension.

3. Snout size별 이용 가능한 갠트리각도 분석

Long extension과 rounded extension에 humanoid phantom을 놓고 양성자 치료기를 이용하여 snout size별 이용 가능한 갠트리 각도를 알아보았다.

Humanoid phantom은 extension의 중앙에 놓고 phantom의 복부에 해당하는 곳의 가운데 부분(정중앙)에 레이저를 위치시켜 중앙이 몸의 가운데 위치한다고 가정하였다. Snout position은 35 cm로 정했다. 이는 폐 및 복부의 방사선 치료 시 후사방향의 beam이 들어가는 환자 5명을 대상으로 snout position값을 조사한 결과 최대치에 근접한 값이다(Table 1).

갠트리는 180도를 기준으로 하여 회전시켰고 supporting bar를 통과하여 beam이 입사되는 것을 피하기 위해 light field로 확인하였으며, extension과 snout의 충돌이 생기지 않는 각도의 범위를 알아보았다.

4. Snout size (∅100, ∅180, ∅250)별 에어갭 차이 분석

Long extension과 rounded extension에 humanoid phantom 놓고 CT 모의촬영을 하였으며 치료 계획(Eclipse, Varian, USA)을 세워 보았다.

에어갭의 safety range는 2 cm으로 권고되지만 long extension의 두께가 5.5 cm이므로 후사 방향에서 충돌로 인해 에어갭 2 cm을 유지하는 것은 불가능하다. 그래서 치료 계획 시 extension 전체를 contour하여 에어갭 2 cm을 유지하도록 하였다. 치료 계획 시 설정한 에어갭은 후사방향에서 구한 것이므로 extension과 빔 사출구 사이의 거리를 의미한다(Fig. 6).

180도를 기준으로 갠트리회전 각도가 증가할수록 에어갭이 증가하고 snout size에 따라 에어갭과 이용 가능 각도가 달라지므로 이용 가능한 갠트리 각도의 최대값에서의 에어갭을 알아보았다. 따라서 long extension의 경우 snout ∅100의 137, 233도(±43도)/snout ∅180의 141, 219도(±39도)/snout ∅250의 154, 206도(±26도)에서 에어갭을 알아보았으며, rounded extension에서는 110, 250 (±70도)에서의 에어

갭을 알아보았다.

치료 계획은 동일한 갠트리 각도에서 에어갭 2 cm일 때 각 extension의 snout 위치를 비교하였다. 그리고 그 수치의 차이 값을 두 extension의 에어갭 차이로 정의하였다.

결 과

각 extension의 구조적 특징을 비교해 본 결과, 총 면적은 long extension은 52.5×110 cm², rounded extension은 50×100 cm²로 크게 차이가 나진 않았지만 supporting bar를 없애면서 유효한 가로축 길이가 long extension은 40 cm, rounded extension은 50 cm로 10 cm이 증가했다.

두께는 long extension은 5.5 cm, rounded extension은 0.5 cm로 감소하여 에어갭을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 SOBP과 range 영역의 이동값을 줄일 수 있었다.

Rounded extension은 평편하던 extension면이 둥근 모양으로 만들어져 있어 환자의 몸에 밀착되고, 갠트리 회전 시 snout과 extension이 충돌하는 것을 방지하며 에어갭을 줄이

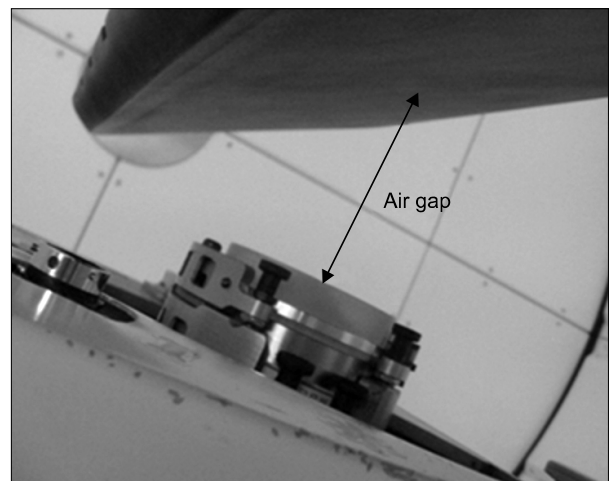


Fig. 6. Air gap in posterior oblique direction.

Table 1. Snout position in the posterior oblique direction

Patient	Beam direction-Gantry angle	Snout position
A	RPO - 225°	34.6 cm
B	RPO - 230°	20.3 cm
C	RPO - 205°	29.7 cm
D	RPO - 210°	27.4 cm
E	LPO - 170°	30.7 cm

Table 2. Comparison of the structure for long extension and rounded extension

	Long extension	Rounded extension
Shape	Flat	Round
Thickness	5.5 cm	0.5 cm
Total area	52.5×110 cm ²	50×100 cm ²
The presence of supporting bar	O	X
The horizontal length of a valid	40 cm	50 cm

는 데 도움이 되었다(Table 2).

180도를 기준으로 snout size별 이용 가능한 갠트리 각도를 분석한 결과 long extension은 $\pm 43^\circ$, $\pm 39^\circ$, $\pm 26^\circ$ 로 나타났으며, snout size가 커짐에 따라 extension과의 충돌로 인해 회전 가능한 각도가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. Rounded extension은 snout size와 관계없이 모두 $\pm 70^\circ$ 로 나타났으며, rounded extension의 구조적 특징에 의해 충돌을 크게 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다(Table 3, Fig. 7).

Snout size별 최대 에어갭 차이를 알아보았다. Long extension은 rounded extension에 비해 11.5 cm, 11.91 cm, 10.48 cm의 에어갭이 증가하여 평균 11.30 cm의 차이가 나는 것을 알 수 있었다(Table 4, Fig. 8, 9).

고안 및 결론

과거 양성자 치료는 표재성 질환에 국한되었으나 최근에는 치료 기술의 발달로 점차 심부 종양까지 확대되고, 이에 따라 폐, 간 등의 부위에도 양성자 치료를 시행하는 경우가 점점 늘어나고 있다.

폐, 간 등의 부위에 양성자 치료를 시행할 때 사용하는

Table 3. Comparison of available gantry angle for long extension and rounded extension (snout $\varnothing 100$, $\varnothing 180$, $\varnothing 250$)

	Long extension	Rounded extension	The difference in gantry angle
Gantry angle	Ave. $\pm 36^\circ$	Ave. $\pm 70^\circ$	Ave. $\pm 34^\circ$
Snout $\varnothing 100$	$\pm 43^\circ$	$\pm 70^\circ$	$\pm 27^\circ$
Snout $\varnothing 180$	$\pm 39^\circ$	$\pm 70^\circ$	$\pm 31^\circ$
Snout $\varnothing 250$	$\pm 26^\circ$	$\pm 70^\circ$	$\pm 44^\circ$

long extension의 경우 후사방향의 빔을 사용하게 되면 치료 계획 시 다양한 갠트리 각도의 사용이 제한되었고, 양성자 빔의 특성상 SOBP와 range값이 이동하게 된다. 또한 에어갭이 커져 반응영역이 증가하는 단점을 가지고 있다.

이에 본 연구는 자체 개발한 rounded extension을 long extension과 비교 분석해 보았다. Long extension의 경우 supporting bar로 인해 환자의 몸에 종양이 바깥 방향으로 치우쳐 있는 경우 자세 재현 시 한 쪽에 치우쳐 놓게 하였지만 rounded extension는 종양의 위치와 관계없이 안정적인 자세 재현이 가능하며, supporting bar가 없어서 유효한 가로축 길이가 10 cm 증가하였다. 또한 기존의 long extension의 가장 큰 단점이었던 갠트리 각도의 제한을 $\pm 34^\circ$ 확대시켜 치료 계획 시 다양한 각도를 사용할 수 있게 하였다.

양성자 치료에 있어서 에어갭의 변화는 반응영역의 증

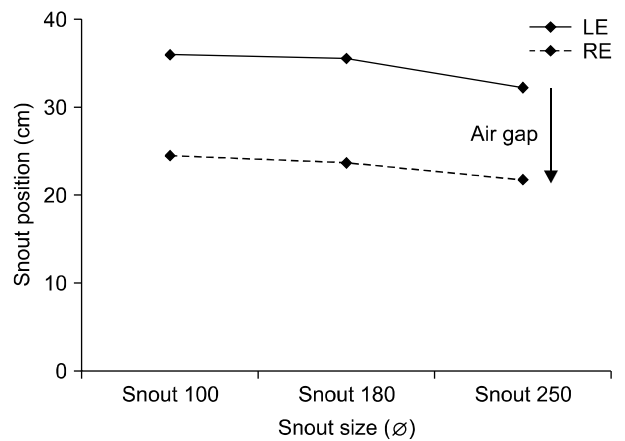


Fig. 8. Graph of the air gap for long extension and rounded extension.

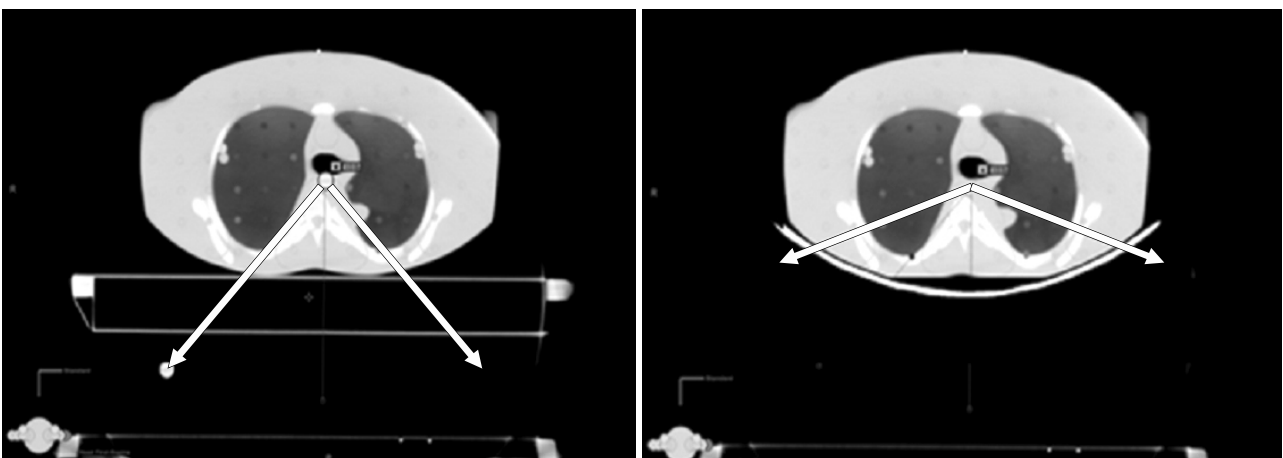


Fig. 7. Comparison of available gantry angle for long extension and rounded extension.

Table 4. Comparison of snout position changes according to the air gap for long extension and rounded extension (snout \varnothing 100, \varnothing 180, \varnothing 250)

	Snout position		The difference in air gap	
	Long extension	Rounded extension		
Snout \varnothing 100	35.99 cm	24.49 cm	11.50 cm	Decreased Ave. 11.30 cm
Snout \varnothing 180	35.61 cm	23.70 cm	11.91 cm	
Snout \varnothing 250	32.19 cm	21.71 cm	10.48 cm	

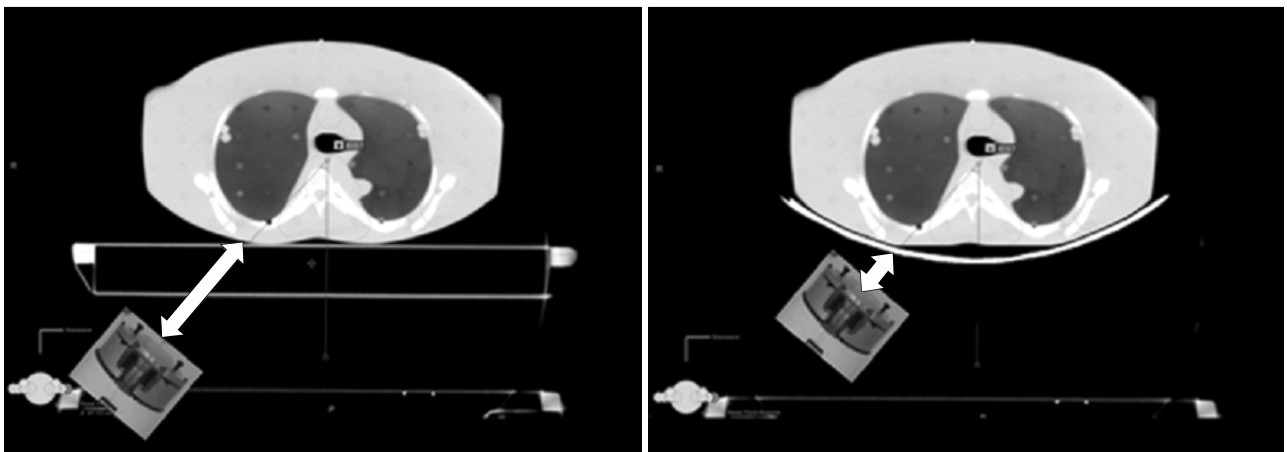


Fig. 9. Comparison of the air gap for long extension and rounded extension.

가로 인해 불필요한 조사야를 형성할 수 있고, 선량분포의 균질성을 저하시킬 수 있다. 또한 에어갭의 safety range는 2 cm으로 권고되지만 long extension의 경우 자체 두께로 인해 2 cm을 유지할 수 없었다. 하지만 rounded extension의 경우 두께를 줄이고 둥근 형태로 바꾸면서 에어갭을 크게 줄일 수 있었다.

본 연구를 통해 rounded extension의 유용성을 평가한 결과, rounded extension은 앞으로 폐, 간 등의 부위에 위치한 종양의 양성자 치료 시 더 유용하게 사용될 것으로 생각되었다. 그러나 측방향에서 큰 치료영역을 치료하는 경우 오히려 에어갭이 커질 수 있으므로 향후 이러한 단점을 보완하기 위한 연구가 좀 더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김대용, 박성용: Focused Issue of This month • 첨단방사선지

료장비를 이용한 암 치료. 대한의사협회지 2008;51:638-642
 2. Barkhof J, Schut G, SchippersVerification JM, et al.: Verification of the alignment of a therapeutic radiation beam relative to its patient positioner. Medical Physics 1999;26:2429-2437
 3. 김진성, 윤명근, 안성환 등: Modeling of a digital couch for a proton treatment planning system. 대한물리학회지 2009;4: 1640-1648
 4. Yu Z, Bluett J, Zhang Y, et al.: Impact of daily patient setup variation on proton beams passing through the couch edge. Medical Physics 2010;37:3294
 5. 김재원, 심진섭, 장요종: 양성자치료시 에어갭 변화에 따른 lateral penumbra와 선량분포 변화에 대한 비교 및 연구. 대한 방사선학회지 2010;22:47-50
 6. Daartz J, Engelsman M, Paganetti H, et al.: Field size dependence of the output factor in passively scattered proton therapy: Influence of range, modulation, air gap, and machine settings. Med Phys 2009;36:3205

Abstract

The Usability Test of Manufactured Rounded Extension in Proton Therapy

Ji Yeon Park, Yo Jong Jang, Dong Yun Kang, Du Seok Yeom, Gye Suk Choi

Department of Proton Therapy Center, National Cancer Center, Goyang, Korea

Purpose: Long Extension (LE) is used in proton therapy for lung and abdomen. However, it has limitations in surface area, produces collision in posterior oblique beam which creates limitations in various gantry angles in planning therapy and increases air gap (distance between patient and compensator). Therefore, this study investigates the usability of manufactured Rounded Extension (RE) in comparison to LE to use the most suitable extension in proton therapy.

Materials and Methods: To compare structural features of LE and RE. This study investigated usable gantry angle for snout sizes 100, 180 and 250 and CT scanned Humanoid phantom. And it compared the air gap in posterior oblique direction.

Results: The structural features of two extensions are as follow. Because of the existence of supporting bar, the width of LE was 40 cm and RE was 50 cm. Result of the investigation of usable gantry angle for snout sizes 100, 180 and 250 are as follow. LE is ± 36 (average) at 180 degree and RE is ± 70 (average). And also, the air gap of RE is decreased by 11.3 cm in average at the same gantry angle.

Conclusion: Manufactured RE for proton therapy has several benefits than LE. Its therapy surface area is wider and range of usable gantry angle is also wider. Also, the air gap at the posterior oblique beam has decreased. Therefore the usability of RE in proton therapy of lung and abdomen will be increased compared to LE. However, the air gap of proton therapy at the lateral direction may be increased, so there may be need for make up to decrease air gap at the lateral direction in the future.

Key words: long extension (LE), rounded extension (RE), proton therapy, supporting bar, air gap