

용적조절호형방사선치료(VMAT)의 다중치료중심(Multi-Isocenter)을 이용한 치료 시, 접합부(Junction)의 선량 변화에 대한 고찰

연세암병원 방사선종양학과

정동민* · 박광순 · 안혁진 · 최윤원 · 박별님 · 권용재 · 문성공
이중운 · 정태식 · 박령향 · 김세영 · 김미정 · 백종걸 · 조정희

용적조절호형방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy)의 다중치료중심(Multi-Isocenter)을 이용하여 치료 시, 접합부(Junction)의 재현 오차에 따른 선량변화에 대해 고찰하였다. Arccheck Phantom에 임의의 치료부위를 설정하고, 다중치료중심에 대해 치료계획을 수립하였다. 그리고 X(왼쪽), Y(위쪽), Z(안쪽, 바깥쪽) 방향에 대해서 접합부의 오차를 0 ~ 4 mm로 설정 후 선형가속기를 이용하여 방사선을 조사하였고, 이 후 phantom을 통해 얻어진 점 선량(point dose)과 감마인덱스(gamma Index)를 통해 분석하였다. X방향과 Y방향에 대한 오차가 2, 4 mm 발생 했을 때, 감마패스율(점 선량)은 각각 99.3% (2.085), 98% (2.079 Gy) 와 98.5% (2.088), 95.5% (2.093 Gy)로 나타났다. 그리고 Z방향에 대해서 안쪽과 바깥쪽에 대한 오차가 1, 2, 4 mm 발생 했을 때, 감마패스율(점 선량)은 각각 94.8% (2.131), 82.6% (2.164), 72.8% (2.22 Gy) 와 93.4% (2.069), 90.6% (2.047), 79.7% (1.962 Gy) 로 보여졌다. X, Y방향에 대해서 4 mm 까지의 오차 결과는 허용오차 안에 있었으나, Z방향에 대해서는 1 mm 를 초과하는 오차 값에 대해서 허용오차 밖의 결과 값이 도출되었다. 이는 높은 선량 영역(high dose area)과 낮은 선량 영역(low dose area)에 대해 치료부위의 진행방향과 같은 방향의 오차가 선량 분포(dose distribution)가 더 민감하다는 것을 시사한다. 향후 지속적인 연구를 통해 기관차원의 셋 업(set up) 오차에 대한 가이드라인이 정립된다면, 접합부를 이용한 치료에서 양질의 치료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

▶ **핵심용어:** 용적호형방사선치료, 다중치료중심, 접합부, 선량 분포 변화

서론

방사선치료에서 접합부(Junction)에 대한 선량 분포에 대한 연구는 많은 관심을 받아왔다. 선형가속기(Linear Accelerator)의 한정된 조사야(field size)로 인해 조사야 범위를 벗어나는 치료부위에 대해서는 증가된 선원표면간 거리(Extended SSD) 방법 혹은 접합부를 이용한 방법이

보편적이다. 그 중 두개척수조사(CranioSpinal Irradiation; CSI)는 선형가속기를 이용한 방사선치료에서 대표적인 접합부를 이용한 치료이며⁽¹⁾, 이는 Faiz M, khan에 의해 소개되었다⁽²⁾.

이 후 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT)의 개발로 토모테라피 (TOMO-THERAPY)가 방사선치료 영역에서 선형가속기와 같이 주를 이루게 되었으며, 선형가속기와는 다르게 Pitch라는 개념의 도입으로 접합부에 대한 문제해결이 가능해졌다. 하지만 토모테라피는 정해진 조사야 두께(Field width)와 나선형(helical)조사 그리고 Pitch의 융합으로 선형가속기보

책임저자: 정동민, 연세암병원 방사선종양학과
서울시 서대문구 연세로 50-1
Tel: 02-2228-4396
E-mail: ISND1@yuhs.ac

다는 낮은 선량 영역(Low dose area)이 상대적으로 커졌으며, 제한적인 영상유도(Image Guide) 영역으로, 종축(longitudinal axis)이 긴 치료 부위의 경우 전체를 확인할 수 없다. 더불어 Z축 방향의 회전을 나타내는 Yaw에 대한 불확실성(uncertain)으로 인해 치료부위의 경계(margin)가 증가해야하는 단점이 있었다⁽³⁾.

최근 여러 연구에서는 다중치료중심(Multi-Isocenter)을 이용하여 선형가속기를 통해 치료한 사례가 발표되었으며, 부분회전조사(partial arc)등을 이용하여 토모테라피보다 상대적으로 낮은 선량 영역과 치료부위의 경계가 줄어들 수 있는 장점이 있으나, 환자의 자세 재현성에 대한 중요성은 항상 언급되고 있다^(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10).

이에 본 연구의 목적은 용적조절호형방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy; VMAT)의 다중치료중심을 이용해서 치료 했을 때, 접합부의 재현 오차에 따른 선량변화에 대해 고찰하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

- Linear Accelerator (Versa HD, Elekta, SE)
- CT simulation (Somatom Sensation, Siemens, DE)
- Arccheck Phantom (Sun Nuclear corporation, AU)
- SNC patient (version 6.4.1, Sun Nuclear corporation, AU)
- Raystation (version 5.0.3.17, Raysearch laboratories, SE)

2. 방법

Arccheck Phantom 영상을 이용하여 선형가속기의 조사야범위를 넘는 가상의 치료 부위를 만든 후(Table 1, Fig. 2a), Raystation을 이용하여 다중치료중심의 용적호

Table 1. Target description

	Length (mm)	CT slice (cut)
Target	189	63
Junction	27	9

형방사선 치료계획을 세웠다. 이 때 2개의 치료 중심을 사용하여(Table 2), 각 치료 중심당 1 Full arc로 치료계획을 구현하였다. 그리고 접합부 재현 오차에 따른 선량 분포를 관찰하기 위해, 수직수평방향(Translation direction)을 나타내는 X 방향(왼쪽 방향, Lt direction) 2 mm, 4 mm, Y 방향(위쪽 방향, Up direction) 2 mm, 4 mm, Z방향(안쪽 방향, In direction) 1mm, 2mm, 4mm, Z방향(바깥쪽 방향, Out direction) 1mm, 2mm, 4mm 라는 총 4 방향의 오차를 접합부에 재현하여 방사선을 조사하였고(Fig. 1), 이를 비교하기 위해 오차가 없는 경우도 고려하여 분석하였다. 이 때 접합부에 위치한 이온챔버(A1SL Ion Chamber, Exradin, Standard Imaging Inc, US)를 이용하여 점 선량(point dose, pass ratio; $\pm 5\%$)을 측정하였고(Fig. 2b), SNC patient를 이용하여 감마인덱스(Gamma Index, pass ratio; 90 %, DTA 3 mm, DD 3 %)를 도출하였다.

Table 2. Point description (two center)

	X axis	Z axis	Y axis
Iso_up	0,25	-20,5	28,35
Initial	0,25	-25	28,35
Iso_low	0,25	-30,1	28,35

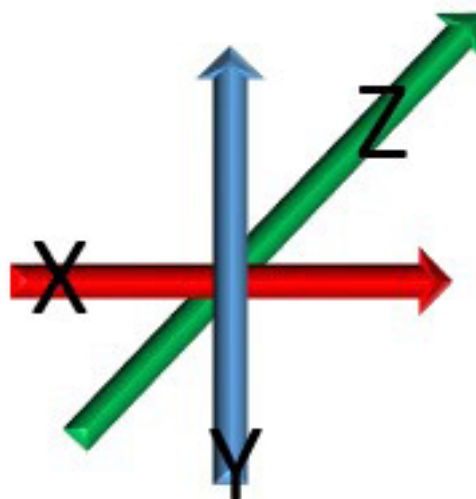


Fig. 1. Defined direction

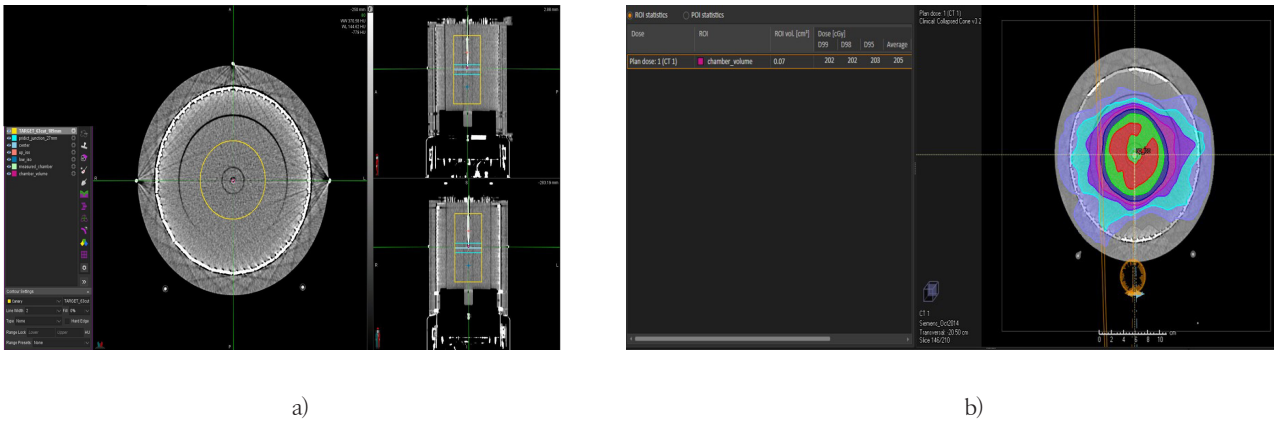


Fig. 2. a) Defined Structure, b) Reference point dose

결 과

접합부의 오차가 없는 경우, 감마패스율은 97 %, 점 선량은 2.053 Gy 였으며, 치료계획과의 점선량오차는 0.13 % 였다. 접합부의 오차가 X 방향으로 2mm인 경우, 99.3 %, 2.085 Gy, 1.72 %로 나타났고, 4 mm는 98 %, 2.079 Gy, 1.43 %로 보였다. 오차가 Y 방향으로 2 mm, 4 mm 발생했을 때, 각각 98.5 %, 2.088 Gy, 1.83 % 그리고 95.5 %, 2.093 Gy, 2.09 %로 나타났다(Table 3).

그리고 Z방향 중 안쪽 방향으로 오차가 1 mm, 2 mm, 4 mm 세 가지 경우로 발생 한 경우 각각 94.8 %, 2.131 Gy, 3.97 % 와 82.6 %, 2.164 Gy, 5.59 % 그리고 72.8 %, 2.22 Gy, 8.3 %로 보여졌다. 마지막으로 Z방향 중 바깥쪽 방향으로 1 mm, 2 mm, 4 mm 오차가 발생 한 경우 각각 93.4 %, 2.069 Gy, 0.91 % 와 90.6 %, 2.047 Gy, -0.13 % 그리고 79.7 %, 1.962 Gy, -4.29 %로 나타났다(Table 4, Fig. 3).

고안 및 결론

방사선치료기술의 발달로, 치료 전에 수행하는 영상유도를 통해 셋 업(setup) 오차가 정량적으로 분석이 가능해졌다. 이는 계획용표적체적(Planning Target Volume)의 경계 감소에 기여 되었으나, 더 정확한 셋 업의 필요성이 증가되었다.

본 연구는 다중치료중심을 이용한 방사선치료시 선량 변화를 분석하는데 그 목적이 있으며, 실제 환자를 대상으로 하였다면 접합부 뿐만 아니라 셋 업 오차의 경우까지 고려 되어야 했으나, Phantom을 이용하여 셋 업 오차는 변수에서 배제되었다.

실험 결과를 통해 접합부에서 X 방향과 Y 방향의 4 mm 까지의 오차는 감마패스율과 점 선량 모두 방법에서 제시된 허용오차(tolerance error) 기준에 충족되었다. 그리고 Z 방향 중 안쪽, 바깥쪽 방향에서 1 mm 오차는 모두 충족 되었지만, 2 mm 이상부터(Z의 바깥쪽 방향 제외) 조건을 충족하지 못하였다.

Table 3. Result when not moving and when moving in X, Y direction

Setup Error	NO direction			X direction (Lt)			Y direction (Up)		
	*G	**CP	***CPD	G	CP	CPD	G	CP	CPD
0 mm	97	2,053	0.13						
1 mm									
2 mm				99.3	2,085	1,72	98,5	2,088	1,83
4 mm				98	2,079	1,43	95,5	2,093	2,09

*G=Gamma pass ratio (%)

**CP=Chamber pointdose (Gy)

***CPD=Chamber pointdose Difference (%)

Table 4. Result when not moving and when moving in Z direction

Setup Error	NO direction			Z direction (In)			Z direction (Out)		
	*G	**CP	***CPD	G	CP	CPD	G	CP	CPD
0 mm	97	2,053	0.13						
1 mm				94.8	2,131	3.97	93.4	2,069	0.91
2 mm				82.6	2,164	5.59	90.6	2,047	-0.13
4 mm				72.8	2,22	8.3	79.7	1,962	-4.29

*G=Gamma pass ratio (%)

**CP=Chamber pointdose (Gy)

***CPD=Chamber pointdose Difference (%)

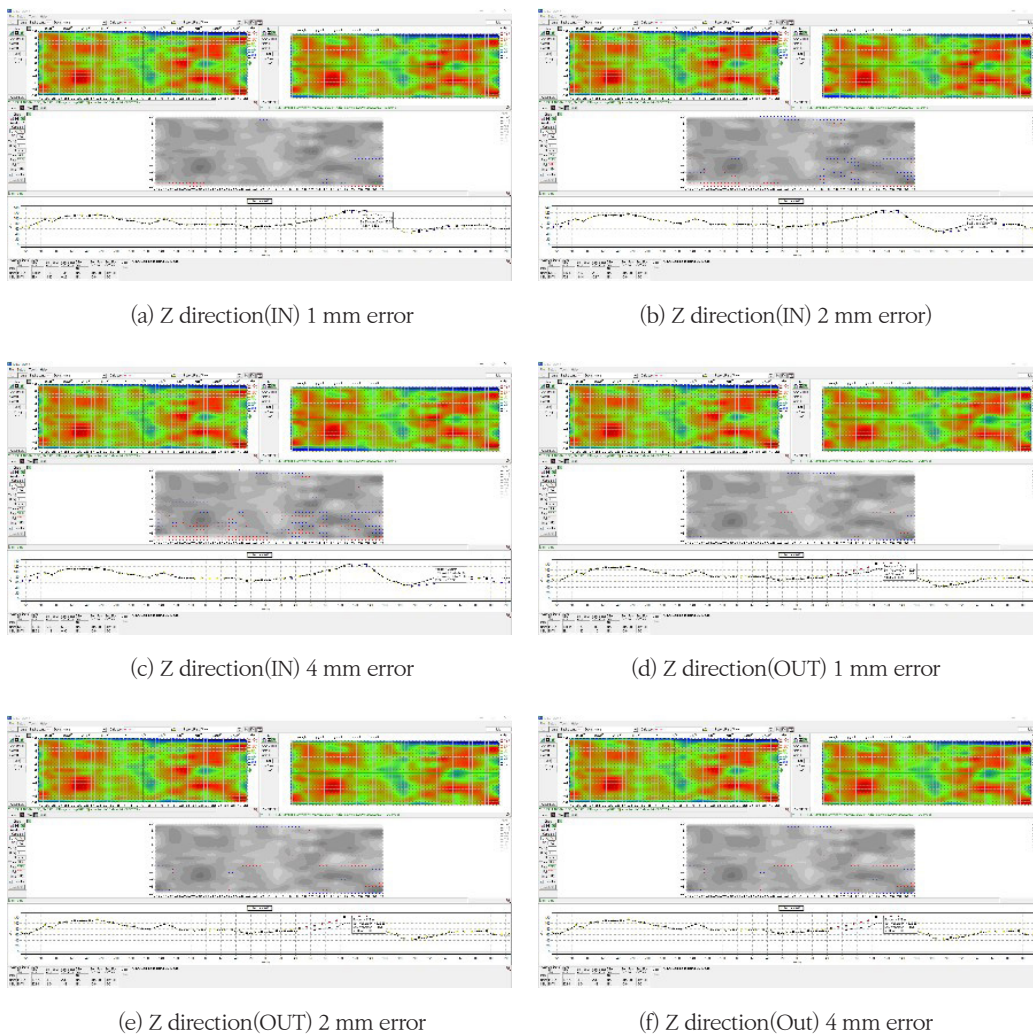


Fig. 3. SNC patient results

결과적으로 높은 선량 영역(high dose area)이 주로 분포하는 Z방향의 오차(1 mm)보다 낮은 선량 영역이 주로 분포하는 X, Y방향의 오차(1 ~ 4 mm)가 더 큰 오차에도

불구하고 허용오차 기준에 충족되었다.

높은 선량 영역이 위치한 Z축의 오차에 대한 대안은 접합부 이동(Junction moving/change)을 통한 최대 선량

(maximum dose) 혹은 최소 선량(minimum dose) 등의 불균등한 선량 영역(inhomogeneity dose area)이 골고루 잘 섞이게(smooth) 하는 방법과 정확한 치료 자세를 위해 다시 셋 업을 하는 방법이 있다.

적은 횟수와 다양하지 못한 오차의 결과에 대한 고찰로 인해 값이 편중될 수 있는 한계점을 가지고 있지만, 관계적인 경향성(relative tendency)으로 보았을 때, 의미가 있다고 보여진다.

본 연구결과에 따라 접합부의 선량 변화는 X, Y, Z 세 방향 중 Z방향의 오차에 대해 가장 민감하게 작용하였다. 임상적으로 적용했을 때는 수직수평방향뿐만 아니라 회전 방향도 감안해서 영상유도가 이루어지므로 다른 변수가 생길 가능성이 높으며, 각 기관에 따라 치료가 가능한 수준의 허용 오차범위는 다를 수 있다.

결론적으로 향후 임상 연구를 통해 다른 변수에 대해 확인을 한 후, 기관차원에서 셋 업 가이드라인이 정립이 된다면, 다중치료중심을 이용한 방사선치료에서 양질의 치료를 제공 할 수 있을 것이라고 사료된다.

참고문헌

1. William A. Parker, Carolyn R. Freeman, A simple technique for craniospinal radiotherapy in the supine position, *RADIOTHER ONCOL*, 2006 ; 78 : 217-222.
2. Faiz M. Khan, *The Physics of Radiation Therapy*, 4th ed, Chapter 13, Treatment Planning III : Field Shaping, Skin Dose, and Field Separation, Lippincott Williams & Wilkins; 2010, p.253-263.
3. Lee HJ, Kim JH, Lee SK, Yoon JW, Cho JH, A study on dosimetric comparison of craniospinal irradiation using tomotherapy and reproducibility of position, *JKSTRO*, 2017 ; 29(1) : 69-76.
4. R,M Pfeffer, L. Tsvang, D. Alezra, Z Symon, Craniospinal irradiation (CSI) With VMAT: Implementation and Individual Quality Assurance, *Int. J. Radiat. Oncol*, 2012 ; 84 : S281.
5. Qilin Li, Wendong Gu, Jinming Mu, Wenming Yin, Min Gao, Juncong Mo, Honglei Pei, Collimator rotation in volumetric modulated arc therapy for craniospinal irradiation and the dose distribution in the beam junction region, *Radiat. Oncol. J*, 2015 ; 10 : 235.
6. S. Fathy, T. Alalawi, N. Al-Dhaibani, Treatment Planning Evaluation of Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) for Craniospinal Irradiation (CSI), *Int. J. Radiat. Oncol*, 2017 ; 99 : E658.
7. Jianzhou Chen, Chuangzhen Chen, Todd F. Atwood, Iris C Gibbs, Volumetric modulated arc therapy planning method for supine craniospinal irradiation, *J. Radiat. Oncol*, 2012 ; 10 : 291-297.
8. Matthew T Studenski, Xinglei Shen, Yan Yu, Ying Xiao, Wenyin Shi, Tithi Biswas, et al, Intensity-modulated radiation therapy and volumetric-modulated arc therapy for adult craniospinal irradiation—a comparison with traditional techniques, *MED DOSIM*, 2013 ; 38 : 48-54.
9. Pamela Myers, Sotirios Stathakis, Alonso N. Gutierrez, Carlos Esquivel, Panayiotis Mavroidis, Niko Papanikolaou, Dosimetric Comparison of Craniospinal Axis Irradiation (CSI) Treatments Using Helical Tomotherapy, Smartarc™, and 3D Conventional Radiation Therapy, *Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol*, 2013 ; 2 : 30-38.
10. Vijayaprabhu Neelakandan, S. Sherly Christy, Ashutosh Mukherji, K. Sathyanarayana Reddy : Craniospinal irradiation by rapid Arc² technique in supine position: A dosimetric and clinical analysis, *J. Curr. Oncol*, 2018 ; 1 : 16-22.

Examination of Dose Change at the Junction at the Time of Treatment Using Multi-Isocenter Volumetric Modulated Arc Therapy

Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Center

Dong Min Jung*, Kwang Soon Park, Hyuk Jin Ahn, Yoon Won Choi, Byul Nim Park,
Yong Jae Kwon, Sung Gong Moon, Jong Oon Lee, Tae Sik Jeong, Ryeong Hwang Park,
Se young Kim, Mi Jung Kim, Jong Geol Baek, Jeong Hee Cho

This study examined dose change depending on the reposition error of the junction at the time of treatment with multi-isocenter volumetric modulated arc therapy. This study selected a random treatment region in the Arccheck Phantom and established the treatment plan for multi-isocenter volumetric modulated arc therapy. Then, after setting the error of the junction at 0 ~ 4 mm in the X (left), Y (upper), and Z (inner and outer) directions, the area was irradiated using a linear accelerator; the point doses and gamma indexes obtained through the Phantom were subsequently analyzed. It was found that when errors of 2 and 4 mm took place in the X and Y directions, the gamma pass rates (point doses) were 99.3% (2.085) and 98% (2.079 Gy) in the former direction and 98.5% (2.088) and 95.5% (2.093 Gy) in the latter direction, respectively. In addition, when errors of 1, 2, and 4 mm occurred in the inner and outer parts of the Z direction, the gamma pass rates (point doses) were found to be 94.8% (2.131), 82.6% (2.164), and 72.8% (2.22 Gy) in the former part and 93.4% (2.069), 90.6% (2.047), and 79.7% (1.962 Gy) in the latter part, respectively. In the X and Y directions, errors up to 4 mm were tolerable; however, in the Z direction, error values exceeding 1 mm were beyond the tolerance level. This suggests that for high and low dose areas, errors in the direction same as the progress direction in the treatment region have a more sensitive dose distribution. If the guidelines for set-up errors are established at the institutional level through continuous research in the future, it will be possible to provide good quality treatment using junctions.

▶**Key words** : VMAT, Multi-Isocenter, Junction, Dose distribution change