

토모테라피 Edge 모드를 이용한 임상적 유용성 고찰

연세암병원 방사선종양학팀

김이지

목 적 : 토모테라피(Tomotherapy)의 두 가지 빔 모드(fixed jaw, dynamic jaw)에 따른 선량 분포 특성과 치료 시간의 차이를 분석하여 dynamic jaw(DJ)를 이용한 Tomo_edge 모드의 임상적 유용성을 고찰하고자 하였다.

대상 및 방법 : 토모테라피를 이용하여 치료받은 환자 7명을 대상으로 임상에서 보편적으로 사용되는 fixed jaw(FJ)를 이용하여 치료 계획을 수립 하였다. 각각의 환자에서 모두 동일한 선량계획조건을 부여하였고, 토모테라피의 치료계획 인자인 Modulation Factor(MF), Pitch를 동일하게 유지 한 상태에서 1) 동일한 조사면을 적용하고 FJ 와 DJ를 적용한 치료 계획을 비교하였다. 2) FJ를 적용한 치료 계획과 한 단계 큰 조사면과 DJ를 적용 한 치료 계획을 비교하였다. 각 실험의 결과는 선량분포의 특성을 확인하기 위하여 종양체적 내 최소값(Dmin)과 선량 조형지수(CI= $V_{95\%}/TV$)를 비교하고 표적을 포함한 조사영역 내 체적의 누적선량을 분석하였다. 또한, 임상적 유용성을 확인하기 위하여 빔 조사시간과 MU의 증감을 비교 분석 하였다.

결 과 : 동일한 조사면을 적용하고 FJ와 DJ를 적용한 경우, V75%는 1.04%, V50%은 4.75% 감소하였고, V25%은 7.6%, V10%은 11.91% 감소하였 다. FJ를 적용한 치료계획보다 한 단계 큰 조사면과 DJ를 적용한 경우에 Dmin은 0.72%, CI는 1.25% 줄어 들었고, 동일 조사면을 적용한 경우와 마 찬가지로 Vx%는 저선량 영역으로 갈수록 크게 감소하여 V10%이 6.13%의 감소 값을 나타냈다. 빔 조사시간과 누적 MU는 동일 조사면 적용 시 각 각 3.66%와 3.77%의 값으로 증가하였으나, 한 단계 큰 조사면을 적용한 경우, 빔 조사시간이 31.55%로 누적 MU는 32.28%으로 크게 감소하였 음을 보여준다.

결 론 : 동일한 조사면을 사용하면서 DJ를 사용하는 경우, 표적의 선량분포를 거의 변화시키지 않으면서 환자의 용적선량을 효과적으로 감소시킬 수 있었다. 보다 큰 조사면을 사용하는 것과 동시에 DJ를 사용하는 경우는 일부 선량조형성의 저하를 나타내었으나 환자의 용적선량이 감소하고 치료 시간을 감소시킴으로써 Tomo-edge 모드는 임상적으로 유용한 것으로 사료된다.

핵심용어 : 토모테라피, 토모 치료 계획, 토모 빔 모드

서 론

나선형 토모테라피(Helical Tomotherapy, HT)는 영상유 도 세기변조 방사선 치료(Image-guided intensity-modulated radiotherapy)로 임상에서 종양의 선량 균일성 과 정상조직 보호의 우수성이 많은 연구자들로부터 보고되 어지고 있다.^{1,2)}

그러나 토모의 연속적인 선량 조사방식은 종양의 종축 방 향의 길이에 따라 기존의 세기변조 방사선 치료에 비해 상 대적으로 긴 치료 시간과 큰 장비 부하량을 갖는다. 또한,

조사영역 내의 입출사점에서 종양체적의 선량 충만을 위한 부가적인 누적 선량은 저 선량에 민감한 폐 혹은 인접한 임 계장기의 불필요한 누적선량을 유도함으로써 단점으로 부 각된다.³⁻⁴⁾

따라서 최근 상용화된 DJ의 사용은 이러한 단점을 보완 하기 위한 방법으로 개발 되었다. DJ는 테이블이 일정한 속 도로 갠트리 쪽으로 이동하면서, 부채꼴 빔(fan beam)의 아 래쪽 경계가 종양의 위 경계선부터 일치하여 조사되기 시작 하고, 종양이 빔을 다 통과하는 시점에 jaw가 닫히게 되어 종양의 위·아래쪽에 위치한 정상 장기들의 선량 감소를 유 도할 수 있다. 또한, FJ를 적용한 치료계획보다 더 큰 조사 면과 DJ를 사용하게 됨으로써 치료 시간 또한 크게 줄어준 다.⁵⁻⁸⁾

본 연구는 이러한 DJ의 사용이 종양 내 선량과 주변 장기

본 논문은 2014년 5월 30일 접수하여 2014년 12월 2일 채택되었음.
책임저자 : 김주호, 연세암병원 방사선종양학과
서울시 서대문구 신촌동 연세의료원건물 암센터 방사선종양학과
Tel : 02)2228-3965
E-mail : KIMJOOHO@yuhs.ac

Table 1. Tomotherapy planning parameters

Patient	부위	Jaw mode	FW(cm)	Pitch	MF
Pt. 1	brain	fixed	1	0.43	2.4
		dynamic	2.5	0.43	2.4
Pt. 2	H&N	fixed	1	0.43	2.4
		dynamic	2.5	0.43	2.4
Pt. 3	H&N	fixed	2.5	0.43	2.45
		dynamic	2.5	0.43	2.45
		dynamic	5	0.43	2.45
Pt. 4	lung	fixed	2.5	0.43	2.6
		fixed	5	0.43	2.6
		dynamic	5	0.43	2.6
Pt. 5	Prostate	fixed	2.5	0.43	2
		dynamic	2.5	0.43	2
		dynamic	5	0.172	2.4
Pt. 6	Prostate	fixed	2.5	0.43	2.6
		dynamic	2.5	0.43	2.6
		fixed	5	0.172	1.8
		dynamic	5	0.172	1.8
Pt. 7	spine SBRT	fixed	2.5	0.25	1.8
		dynamic	5	0.172	1.8

에 미치는 영향을 분석하고, DJ의 사용으로 인한 치료 시간 및 장비의 부하를 비교하여 임상적 유용성을 고찰하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 환자 선정

본원에 내원하여 토모 치료를 받은 뇌종양, 두경부암, 폐암, 전립선암, 골격계 환자 7명을 대상으로 하였다. 전산화 단층촬영장치(Computed Tomography, SOMATOM, SIEMENS)를 이용해 CT 모의 치료를 시행하여 영상을 획득하였다.

2. 치료 계획

영상의 관심영역 표시는 종양을 육안적 종양 용적(Gross tumor volume)으로, 정상 장기는 표적을 포함한 조사영역 내 체적(External)로 나타냈다(Pinnacle v.9.4).

각각의 환자에서 모두 동일한 선량계획조건을 부여하였고, 토모테라피 치료계획(Tomotherapy planning station)

은 MF, Pitch를 동일하게 유지한 상태에서 1) 동일한 조사면(2.5 cm, 5.0 cm)을 적용하고 FJ(HT_2.5, HT_5.0)와 DJ(Edge_2.5, Edge_5.0)를 각각 사용하여 치료 계획하였다. 2) FJ를 적용한 치료계획(HT_1.0, HT_2.5)보다 한 단계 큰 조사면과 DJ를 적용(Edge_2.5, Edge_5.0)하여 최적의 치료계획을 수립하였다(Table 1).

3. 치료 계획 평가

선량 분석은 선량분포도(Isodose curve)와 종양과 조사 체적(External)으로 구분하여 나타낸 선량 체적 히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)을 바탕으로 하여, 각 치료계획에 따른 V10%, V25%, V50%, V75% 값의 평균 증감을 산출하여 비교하였고, 정의는 다음과 같다(Table 2).

임상적 분석은 빔 조사시간과 누적 MU의 평균 증감 값으로 비교 분석하였다.

결 과

FJ와 DJ를 사용한 토모테라피의 치료 계획을 수립한 후, 1) 동일한 조사면을 적용하고 FJ와 DJ를 적용한 경우와 2)

Table 2. Dosimetric parameters

Dmin	The minimum dose of target
CI	V95% / TV
	V95%(ml) The volume receiving 95% of prescribed dose
	TV(ml) Irradiated Tumor Volume
Vx%	The volume receiving x% of prescribed dose

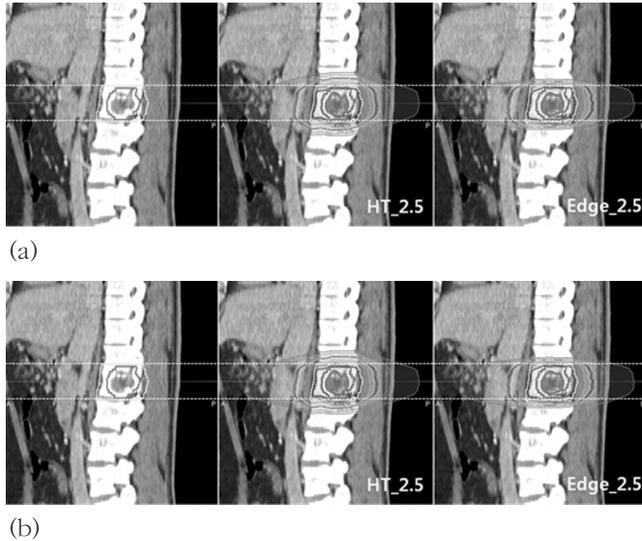


Figure 1. Difference of longitudinal dose distribution on HT_2.5 and Edge_2.5 (a) Spine SBRT (b) Head and Neck cancer

FJ를 적용한 치료계획과 그보다 한 단계 큰 조사면과 DJ를 적용한 경우로 나누어 선량 평가 인자에 의한 평균 증감 표를 비교하였다.

조사면을 2.5 cm로 동일하게 적용한 경우, Dmin은 1.03% 감소, 조사면이 5.0 cm인 경우의 Dmin은 0.05% 증가하여 평균 1.03% 감소하였다. CI는 2.5 cm 조사면에서는 0.62% 증가하였으나, 5.0 cm 조사면에서는 0.46% 감소하여 평균 0.16% 증가하였다. V75%은 1.04%, V50%은 4.75% 감소하였고, V25%은 7.6%, V10%은 11.91% 감소하여 저 선량 영역으로 갈수록 크게 감소함을 알 수 있다(Table 3). 또한 Fig. 1(a) 에서와 같이 동일한 조사면에 DJ를 적용한 경우 종축 방향으로의 종양 외 부분으로 선량 감소를 확인할 수 있다.

HT_1.0과 Edge_2.5를 비교한 경우, Dmin은 평균 0.53% 증가하고, CI는 평균 5.87% 감소하였다. Edge_5.0은 HT_2.5보다 Dmin은 1.56% 감소하고, CI는 1.83% 증가하였으므로 종합적으로 Dmin은 0.72%로 CI는 1.25% 줄어들었다. 또한, 동일한 조사면을 적용한 경우와 마찬가지로 Vx%는 저 선량 영역일수록 크게 감소하였다(Table 4).

빔 조사시간은 동일 조사면 2.5 cm 조사면을 적용한 경우 평균 10.63초 증가, 5.0 cm 조사면인 경우 10.1초 증가하여 평균 3.66% 증가하였으며, 누적 MU는 2.5 cm 조사면과 5.0 cm 조사면 각각 143MU, 137MU 증가로 평균 3.77%로 늘어났다. 반면 HT_1.0과 비교하여 Edge_2.5의 빔 조사시간은

Table 3. Mean variation of fixed mode vs dynamic mode

Variation	Plan	HT_2.5 vs Edge_2.5 (n=4)	HT_5.0 vs Edge_5.0 (n=3)	Mean
Dmin(%)		-1.83	0.05	-1.03
CI(%)		0.62	-0.46	0.16
V10%(%)		-10.91	-13.24	-11.91
V25%(%)		-7.19	-8.15	-7.6
V50%(%)		-5.26	-4.07	-4.75
V75%(%)		-1.53	-0.39	-1.04
Treatment time(sec)		10.63	10.1	10.4
Cumulative MU		143	137	140.43

Table 4. Mean variation of HT_1,0 vs Edge_2,5, HT_2,5 vs Edge_5,0

Variation \ Plan	HT_1,0 vs Edge_2,5 (n=2)	HT_2,5 vs Edge_5,0 (n=3)	Mean
Dmin(%)	0,53	-1,56	-0,72
CI(%)	-5,87	1,83	-1,25
V10%(%)	-1,15	-9,45	-6,13
V25%(%)	1,75	-3,19	-1,21
V50%(%)	2,59	-2,59	-0,52
V75%(%)	1,12	1,62	1,42
Treatment time(sec)	-219,25	-87,88	-131,67
Cumulative MU	-2990	-1200,25	-1796,83

219.25초 감소하였고, Edge_5.0은 HT_2.5에 비해 87.88초 감소하여 평균 31.55% 줄어들었다. 누적 MU 또한 각각 2990MU와(57.74%)와 1200.25MU(15.31%)가 줄어 평균 32.28%가 감소하였다.

Fig. 2.은 특정 환자의 치료계획에 따른 DVH결과 값을 보여주고 있다. GTV의 경우, 세 치료계획 모두 차이가 거의 없지만, External의 저 선량 영역에서 DJ를 적용할 경우, 표적을 포함한 조사 체적은 감소하였다. 그리고 DJ를 적용한 2.5 cm, 5.0 cm의 치료계획 간에는 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 FJ와 DJ를 사용한 토모테라피 치료계획에 따른 평균 증감을 비교 분석 하였다. 동일한 조사면을 적용한 경우, Dmin과 CI의 값은 거의 동일하여 종양 내 선량분포는 큰 차이가 나타나지 않았다. 표적을 포함한 조사 체적은 전반적으로 줄었으나 특히 저 선량 영역에서의 감소가 뚜렷하였으며, 치료 시간 및 누적 선량은 차이가 거의 없었다. 다른 조사면을 적용한 경우, CI의 값이 1.25% 감소하여 종양 내 선량분포가 일부 저하되거나 거의 동일함을 알 수 있었다. 또한, 동일 조사면을 적용한 경우와 마찬가지로 저 선량 영역에서 조사체적이 더 줄어드는 추세를 보였으며, 치료 시간 및 누적 선량은 크게 감소하였다.

하지만 분리되어 있는 두개 이상의 종양을 동시에 치료하

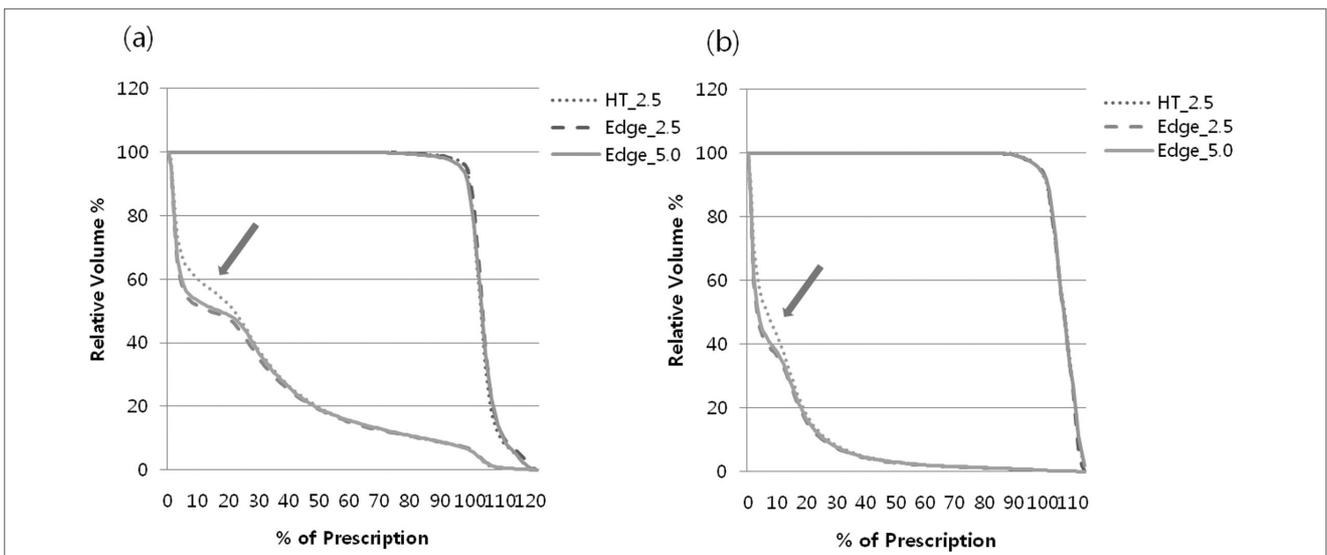


Figure 2. DVH of HT_2,5 vs Edge_2,5 vs Edge_5,0 (a) spine SBRT (b) Head and Neck cancer

는 경우는 앞의 결과 값과는 다소 차이가 있음을 주의해야 한다. 또한, 더 큰 조사면의 Tomo_edge 모드를 사용함으로써 CI가 낮아지게 되므로 임계 선량의 정확한 목적을 달성해야 하는 치료나 같은 부위의 방사선 재 치료 등 치료 계획의 목적에 따라 조사면 크기와 DJ의 사용을 고려할 필요가 있다.^{8,9)}

결과 값들을 종합하면 동일한 크기의 조사면 사용 시, 저선량 영역에서의 조사 체적(V25%~V10%)이 각각 약 7.6%~11.9% 감소하였다. 또한, 한 단계 큰 조사면과 DJ를 사용할 경우, V25%~V10%은 1.2%~6.1% 감소하였고, 31.6%의 조사시간 감소와 32.3%의 누적 MU 감소를 나타냈다.

LINAC을 이용한 정위적 방사선 치료(Stereotactic body radiation treatment, SBRT)보다 토모 SBRT로 치료하는 경우, 종양의 선량 분포는 최적화되지만, 용적 선량과 치료 시간이 증가하는 단점이 있다.¹⁰⁾ 하지만 FJ를 적용한 치료계획보다 더 큰 조사면과 DJ를 사용함으로써 종양 주위의 정상 장기를 보다 보호 할 수 있으며, 치료 시간도 줄일 수 있게 된다. 또한, 저 선량에 민감한 장기인 폐에 영향이 가는 치료 일 경우, Tomo_edge 모드 치료는 특히 유용할 것으로 보인다.

따라서 DJ의 사용이 종양 내 선량과 주변 장기에 미치는 영향을 분석한 결과, 종양 내 선량분포에는 큰 영향을 미치지 않으면서 부가적인 용적 선량을 감소하고 치료 시간을 줄이므로 임상적으로 유용한 방법이라 사료 된다.

참고문헌

1. T. R. Mackie.: History of tomotherapy. Phys. Med. Biol. 2006;51, R427-R453.
2. Welsh JS, Patel RR, Ritter MA, Harari PM, Mackie TR, Mehta MP.: Helical tomotherapy: an innovative technology and approach to radiation therapy. Technol Cancer Res Treat 2002;1:311-316.
3. M. Rao, W. Yang, F. Chen, K. Sheng, J. Ye, V. Mehta, D. Shepard, and D. Cao, : Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT: Plan quality, delivery efficiency, and accuracy. Med. Phys. 2010;37, 1350-1359.
4. Y. Rong, and J. S. Welsh.: Dosimetric and clinical review of helical tomotherapy. Expert Rev. Anticancer Ther. 2011;11:309-320
5. F. Sterzing, M. Uhl, H. Hauswald, K. Schubert, et al.: Dynamic jaws and dynamic couch in helical

- tomotherapy. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2010;76:1266-1273
6. Y. Chen, Q. Chen, M. Chen, and W. Lu.: Dynamic tomotherapy delivery. Med. Phys. 2011;38:3013-3024
7. S. Krause, S. Beck, K. Schubert, S. Lissner, S. Hui, K. Herfarth, J. Debus and F. Sterzing.: Accelerated large volume irradiation with dynamic Jaw/Dynamic Couch Helical Tomotherapy. Radiat. Oncol. 2012;7:191-201
8. Y. Rong, Y. Chen, L. Shang, L. Zuo, W. Lu, and Q. Chen.: Helical tomotherapy with dynamic running-start-stop delivery compared to conventional tomotherapy delivery. Med. Phys. 2014;41:051709
9. J. Baisden, D. Romne, A. Reish, et al.: Dose as a function of lung volume and planned treatment volume in helical tomotherapy intensity-modulated radiation therapy-based stereotactic body radiation therapy for small lung tumors. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys 2007;68:1229-1237
10. Yip HY, Mui WL, Lee JW, Fung WW, chan JM, Chin G, Law MY.: Evaluation of radiosurgery techniques: cone-based linac radiosurgery vs tomotherapy-based radiosurgery. Med Dosim. 2013;38(2):184-9

Abstract

Dosimetric and clinical review on the application of TOMO_edge mode

Department of Radiation Oncology, Yonsei Cancer Hospital, Seoul, Korea

Lizzy Kim

Purpose : The goal of this study was to compare and analysis the dose distribution and treatment time between Tomotherapy planning with fixed jaw(FJ) and dynamic jaw(DJ).

Materials and Methods : Seven patients were selected in the study including five common clinical cases(brain, head and neck(HN), lung, prostate, spine). 1) Helical Tomotherapy plans with FJ and DJ were generated with the same planning parameters such as Modulation factor, Pitch and Field width. 2) Tomo_edge plans with a larger field width were generated to compare to conventional HT delivery with fixed jaw.

Dosimetric evaluation indices for target coverage are Dmin, Conformity index(CI) and for whole body including target are V10%, V25%, V50%, V75% using Dose-volume histogram(DVH). Also, Treatment time and Cumulative MU were used for clinical review on Tomo_edge.

Results : In case of using the same field width of Tomotherapy planning with FJ and DJ, the averaged variations were V10%: -11.91%, V25%: -7.6%, V50% :-4.75%, V75%: -1.04%. Tomo_edge with a larger field width provides the averaged variations for target coverage: Dmin: -0.72%, CI: -1.25% and also shows the tendency of a sharp Vx% decline in low dose area.

The clinical improvements in the larger field width with DJ were observed in the treatment time, ranging from -51.21% to -15.11, and the Cumulative MU decrease, ranging from -57.74% to -15.31%.

Conclusion : Target coverage achieved by FJ and DJ with the same field width has little differences. But integral doses on whole body efficiently decreased. Compared to the conventional HT delivery, Tomo_edge with a larger field width presents a little worse target coverage. However, it provides faster treatment delivery and improved cranial-caudal target dose conformity. Therefore, Tomo_edge mode is efficient in improving the treatment time and integral dose while maintaining comparable plan quality in clinic.

Keyword : Tomotherapy, Tomotherapy Edge, dynamic jaw