

Comparison of Dose Distribution in Spine Radiosurgery Plans: Simultaneously Integrated Boost and RTOG 0631 Protocol

Su Yeon Park, Dongryul Oh, Hee Chul Park, Jin Sung Kim, Jong Sik Kim, Eun Hyuk Shin, Hye Young Kim, Sang Hoon Jung, Youngyih Han

Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

In this study, we compared dose distributions from simultaneously integrated boost (SIB) method versus the RTOG 0631 protocol for spine radiosurgery. Spine radiosurgery plans were performed in five patients with localized spinal metastases from hepatocellular carcinoma. The computed tomography (CT) and T1- and T2-weighted magnetic resonance imaging (MRI) were fused for delineating of GTV and spinal cord. In SIB plan, the clinical target volume (CTV1) was included the whole compartments of the involved spine, while RTOG 0631 protocol defines the CTV2 as the involved vertebral body and both left and right pedicles. The CTV2 includes transverse process and posterior element according to the extent of GTV. The doses were prescribed 18 Gy to GTV and 10 Gy to CTV1 in SIB plan, while the prescription of RTOG 0631 protocol was applied 18 Gy to CTV2. The results of dose-volume histogram (DVH) showed that there were competitive in target coverage, while the doses of spinal cord and other normal organs were lower in SIB method than in RTOG 0631 protocol. The 85% irradiated volume of VB in RTOG 0631 protocol was similar to that in the SIB plan. However, the dose to normal organs in RTOG 0631 had a tendency to higher than that in SIB plan. The SIB plan might be an alternative method in case of predictive serious complications of surrounded normal organs. In conclusion, although both approaches of SIB or RTOG 0631 showed competitive planning results, tumor control probability (TCP) and normal tissue complication probability (NTCP) through diverse clinical researches should be analyzed in the future.

Key Words: Spinal metastases, Spine radiosurgery, Simultaneously integrated boost, RTOG 0631 protocol

서 론

체부정위방사선치료는 종양에 정위적 기법을 이용하여 1~5회로 나누어 고선량을 조사하는 고정밀 방사선치료 방법을 말한다.¹⁾ 이는 종양에 고 선량을 집중시키는 반면 정

상 장기에 부여되는 선량을 극소화함으로써 부작용을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다.²⁾ 따라서 이를 척추뼈전 이암의 치료에 적용하였을 때 척수 한계 방사선량의 제한 에도 불구하고 표적체적에 고 선량을 전달함으로써 빠른 통증 완화 및 국소제어 효과를 얻을 수 있다.^{3,4)}

많은 선행 연구에서 척추뼈전이암에 대한 체부정위방사 선치료법의 높은 치료 효과와 안전성을 보여주었다. Ryu 등은 49명의 척추압박 환자를 대상으로 처방선량 10~16 Gy를 1회 조사한 결과, 국소 제어율이 93%였으며, 85%의 환자에서 신경학적 증상이 호전되었다고 발표하였고,⁵⁾ LEE 등은 외과적 수술이 어려운 척추뼈전이암 환자 4명을 median follow up 68개월 조사한 결과, 24 Gy, 3~4회 분할 조사를 실시한 체부정위방사선치료에서 75%의 통증 완화를 및 국소전이가 발생하지 않았으며,⁶⁾ Gerszten 등은 393명의 환자를 대상으로 CyberKnife를 이용하여 12.5~25Gy를 1회 조사 시 88%의 종양 제어율과 86%의 환자에서 통증 완화 효과가 있는 것으로 보고 하였다.⁷⁾ 또한 척수 압박이

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (NRF-2012R1A1A-2042414).

This study was supported by Samsung Medical Center Grant [GFO1130081] and this study was supported by a grant of the Korea Healthcare Technology R&D Project, Ministry of Health and Welfare, Republic of Korea (HI10C2020).

Received 18 August 2014, Revised 17 September 2014, Accepted 18 September 2014

Correspondence: Dongryul Oh (dongryul.oh@samsung.com)

Tel: 82-2-3410-2613, Fax: 82-2-3410-2619

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

없는 국소 척추뼈전이암에 대한 체부정위방사선치료는 시행 후 1년 국소 제어율이 80~90%, 통증 완화율은 85~90%를 보이는 것으로 나타났다.^{8,9)} 이를 바탕으로 미국의 Radiation Therapy Oncology Group (RTOG)에서는 RTOG 0631 다기관 2, 3상 연구를 통해 체부정위방사선치료의 효과를 입증하기 위한 임상 연구를 진행하고 있다.¹⁰⁾

다기관 임상연구를 위해 체부정위방사선치료의 표적체적을 어떻게 결정해야 하는 가는 중요한 문제이며 Cox 등¹¹⁾ 이에 대한 합의된 가이드라인을 보고하기도 하였고, (PMID 22608954) RTOG 0631 연구에서도 역시 표적 체적에 대한 가이드라인을 제시하였다. 가이드라인에 따르면 표적체적은 전체 척추뼈를 포함하지 않고, 육안적 종양체적의 침범 부위에 따라 일부 척추뼈를 포함하고 있다. 이러한 방법은 이전 통상적 방사선치료 시에 척추뼈 전체를 표적체적에 포함하는 개념과는 다르다고 할 수 있고, 때문에 표적체적에 포함되지 않은 부위의 주변부 재발에 대한 우려가 있다. 또한 종양과 아주 인접한 정상 장기 한계 방사선량 간의 문제점이 발생할 수 있다.¹²⁾

본 연구에서는 육안적 종양체적(Gross Tumor Volume, GTV) 및 전체 척추뼈(vertebra, VB)를 포함하는 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV1)에 대해 각각 18 Gy와 10 Gy를 처방하는 동시통합추가치료법(Simultaneously Integrated Boost, SIB)을 사용한 체부정위방사선치료와 GTV 침범 부위에 따라 일부 척추뼈를 CTV2로 결정하고, CTV2에 대하여 18 Gy를 처방하는 RTOG0631 프로토콜에 따른 체부정위방사선치료의 치료계획을 수립하여 종양, 척수를 포함한 주요 정상 장기 그리고 전체 척추뼈에 대한 선량-체적 히스토그램의 선량평가인자를 정량 분석하여, 그 차이점을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 대상 환자 및 영상획득

2012년 10월에서 2013년 9월까지 방사선치료를 받은 환자 중 간암으로부터 전이된 척추뼈 전이암 환자 중 흉추 및 요추 부위에 전이된 5명을 대상으로 하였다(Table 1). 선량 최적화 작업은 전산화방사선 치료계획장치(Pinnacle v.9.2, Philips Medical System, Cleveland, USA)를 이용한 단계별조사기법(Step-and-shoot)으로 수행하였다. 각각의 치료계획에서는 에너지 10MV, 10~13개 동일평면 조사빔(Coplanar beam)을 180°, 160°, 140°, 120°, 75°, 55°, 310°, 285°, 265°, 230°, 205° 방향으로 160~180 segments를 이용하여 세기조절방사선치료기법(Intensity-modulated Radiation Therapy, IMRT)으로 dose grid 0.2, DMPO (Direct Machine Parameter Optimization algorithm) 알고리즘을 이용하여 계산하였다. 실제 치료 빔의 조사에는 체부정위방사선치료 전용치료기인 NovalisTx (BrainLAB, Heimstetten, Germany)를 이용하였고, 모든 환자는 앙와위 자세로, 체부 정위적 고정장치(Vaclock, Alico, Seoul, Korea)를 이용하였다. 16채널의 전산화 단층촬영 장비(RT16, GE Healthcare, Waukesha, WI)를 이용하여 2.5 mm 두께의 단층영상을 얻었으며, 영상융합을 위한 치료계획용 자기공명영상은 모의 치료 당일, 동일한 고정장치를 적용하여 보어 크기가 큰 자기공명영상장비(Ingenia 3.0T, Philips Medical System, Best, Netherlands)를 이용하여, T1 가중영상 및 T2가중영상을 획득하였다. 획득한 자기공명영상은 전산화 단층영상과의 영상융합을 통하여 표적과 척수를 정의하는 데 이용하였다.

2. 치료계획 및 선량분석

1) 표적체적 및 척수의 정의: 두 방법 모두 모의치료계획시 획득된 전산화단층촬영 영상과 자기공명영상(T1, T2)을 바탕으로 영상융합을 시행하였다. Fig 1a에서와 같이 SIB 치료계획방법은 영상에서 보이는 종양을 GTV로 설정하고,

Table 1. Clinical information in all patients for stereotactic body radiation therapy planning study.

Case	Gender	Age	Primary	Level	GTV location	Impending SC compression	Sx
1	M	64	HCC	L2	VB	Y	No
2	M	57	HCC	T9	VB+pedicles	Y	Back pain
3	M	60	HCC	T8	VB	Y	Back pain
4	M	62	HCC	T11	VB+pedicles	Y	Back pain
5	M	62	HCC	L1	VB	N	Back pain

GTV: gross tumor volume, M: male, HCC: hepatocellular carcinoma, VB: vertebral body, SC: spinal cord, Sx: symptom.

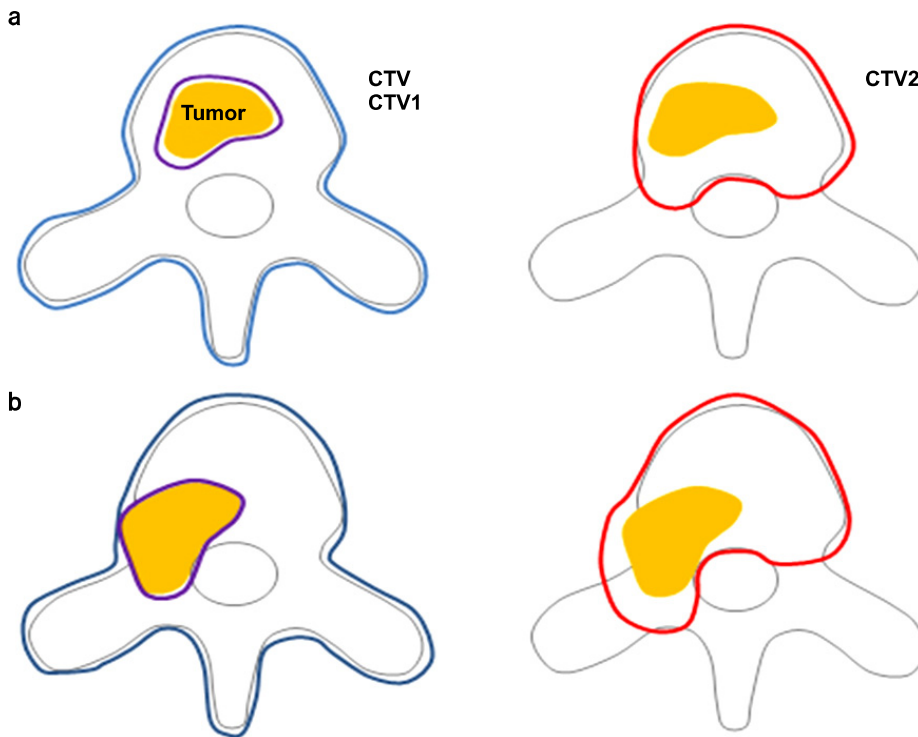


Fig. 1. Target volume delineation (a) SIB method vs. (b) RTOG 0631 Protocol.

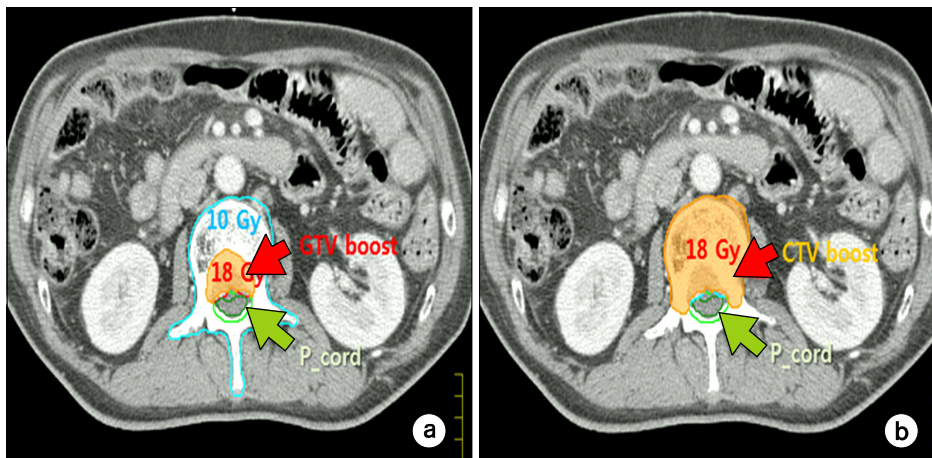


Fig. 2. Comparison of volume delineation on CT images for constraint (a) SIB method vs. (b) RTOG 0631 Protocol.

GTV를 포함한 VB를 CTV1로 정의한 반면, RTOG 0631 프로토콜에따른 치료계획은 Fig. 1b에서와 같이, 영상에서 보이는 종양을 GTV로 설정한 다음, GTV의 침윤 정도에 따라 주변부의 추근, 좌우 횡돌기 및 극돌기등을 선택적으로 포함하여 CTV2로 정의하였고, 두 방법 모두 CTV가 곧 PTV (Planning Target Volume, PTV)가 되도록 체적의 증가 없이 정의하였다. Fig. 2에서와 같이 전 척수는 CTV의 위 및 아래방향으로 적어도 2개의 척추범위를 그린 것으로 정

의하였고 부분 척수는 CTV의 위 및 아래방향으로 5 mm까지 그린 것으로 정의하였다. 표적의 처방선량 및 척수의 한계 방사선량 도달을 위해 GTV 및 CTV와의 인접한 거리를 고려하여 정의된 부분 척수에서 3 mm 확장한 체적을 PRV (Planning Organ at risk, PRV)로 정의하고 SIB 치료계획방법시는 GTV 체적에서 PRV를 제외한 체적을 GTV boost로, RTOG 0631에서는 CTV2에서 PRV를 제외한 체적을 CTV boost를 정의하여 치료계획 시 이용하였고, 최종 평가는

GTV 및 CTV1 및 CTV2에 대해 평가하였다.

2) **처방 선량 및 제한 선량**: 처방선량은 SIB방법의 경우, GTV에 18 Gy/1회, CTV1 에 10 Gy/1회로 표적체적의 90% 이상이 처방선량을 조사받도록 하였다. RTOG 0631 프로토콜의 경우는 CTV2 에 18Gy/1회로 표적체적의 90%이상이 처방선량을 조사받도록 하였다. 하지만, 처방선량 포괄범

Table 2. Spinal cord (Cauda equine) dose constraints used in SBRT.

	10% volume of partial cord	0.35 cc of whole spinal cord	Maximum dose (0.03cc)
Spinal cord dose (Gy)	<10 (12)	<10 (12)	<14 (16)

(): Cauda equine tolerance dose.

Table 3. OAR dose constraints used in SBRT.

	Organ	Constraints
1	Esophagus	<0.03 cc, 14 Gy <5 cc, 119 Gy
2	Ipsilateral Brachial Plexus	<0.03 cc, 17.5 Gy <3 cc, 14 Gy
4	Heart/Pericardium	<0.03 cc, 22 Gy <15 cc, 16 Gy
5	Trachea/Larynx	<0.03 cc, 13 Gy <4 cc, 8.5 Gy
6	Gastroduodenum	<0.03 cc, 16 Gy <5 cc, 11.2 Gy
7	Skin	<0.03 cc, 26 Gy <10 cc, 23 Gy
8	Small Bowel	<0.03 cc, 11.4 Gy <5 cc, 11.9 Gy
9	Large Bowel	<0.03 cc, 18.4 Gy <20 cc, 14.3 Gy

Table 4. Dosimetric results for the target and organs at risk (OAR): SIB method vs. RTOG 0631 protocol.

Criteria	SIB method		RTOG 0631 protocol	
	Mean	SD	Mean	SD
Target volume (cc)	16.84	11.26	51.00	15.63
Dmax (0.03 cc, Gy)	20.98	0.63	21.51	0.86
Dmean (Gy)	19.23	0.17	19.99	0.55
V18 Gy (%)	86.28	5.97	91.56	5.06
GTV (cc)				
Dmax (0.03 cc, Gy)	20.98	0.63	21.38	0.86
Dmean (Gy)	19.23	0.17	19.98	0.71
V18 Gy (%)	86.28	5.97	88.85	7.19
Esophagus				
Dmax (0.03 cc, Gy)	<14 Gy	8.93	10.98	1.03
V11.9 Gy (cc)	<5 cc	0	0	0
Duodenum				
Dmax (0.03 cc, Gy)	<16 Gy	6.68	10.31	3.77
V11.2 Gy (cc)	<5 cc	0	0.12	0.16
Entire vertebral body (cc)				
Dmax (0.03 cc, Gy)		36.33	87.40	36.33
Dmean (Gy)		0.63	21.47	0.88
D80% (Gy)		1.19	17.18	0.71
D90% (Gy)		0.94	13.19	2.83
V8 Gy (%)		0.18	9.05	2.26
V10 Gy (%)		1.94	92.85	5.62
Irradiated volume (cc)		1.63	85.89	6.44
5.4 Gy (30%)	544.83	182.17	796.85	159.85
8 Gy	246.29	90.12	366.16	91.9
9 Gy (50%)	180.61	60.06	290.59	76.62
10 Gy	129.68	14.3	238.2	63.31
14.4 Gy (80%)	42.9	18.32	129.26	33.21
16.2 Gy (90%)	30.69	15.37	103.21	25.67
18 Gy	19.99	11.31	76.22	17.67

SIB: simultaneously integrated boost, RTOG: Radiation Therapy Oncology Group, Target volume: CTV1 is the same meaning of target volume in SIB type and CTV2 in RTOG 0631 protocol, SD: Standard deviation.

위가 표적체적의 80%까지는 허용하였다. 전 척수 및 부분 척수에 대한 한계방사선량은 Table 2에서와 같이 최대 0.03 cc가 14 Gy미만으로 10 Gy가 들어가는 선량의 체적 V_{10} 이 10%를 넘지 않도록 하였다(Table 2). 나머지 정상 장기에 대한 한계 방사선량은 Table 3에 따라 계획하였고, 한계 방사선량의 최대 5%를 초과하지 않도록 하였다.

3) 치료계획비교: 수립된 SIB방법 대 RTOG 0631 프로토콜의 체부정위방사선치료계획 평가는 선량-체적 히스토그램을 통해 비교하였다. 표적의 경우, 최대선량 및 평균선량, V_{18} , V_{10} 을 구하여 평균하였으며, 척수의 경우, 전 척수와 부분 척수로 나누어 체적이 0.03 cc일때 도달하는 선량을 최대 선량으로 정의하고, 최대 선량 및 V_{10} 의 선량 값을

구하여 평균하였다. 또한 처방선량의 30%, 50%, 80%, 90%, 100%를 받는 체적을 측정하였고 각 정상 장기에 대한 분석은 Table 4와 같이 최대선량 및 평균선량, 관심선량 V_x 로 값을 구하여 평균하였다. 또한 전체 혹은 일부 부위가 표적으로 설정된 VB에 도달하는 선량값 D_{80} (D_x : 체적의 80%가 도달하는 선량), D_{90} 과 V_8 , V_{10} 의 값을 구하였다.

결 과

SIB방법과 RTOG 0631 프로토콜에 따른 표적 및 정상 장기에 대한 선량-체적 히스토그램의 결과값은 다음과 같다 (Table 4).

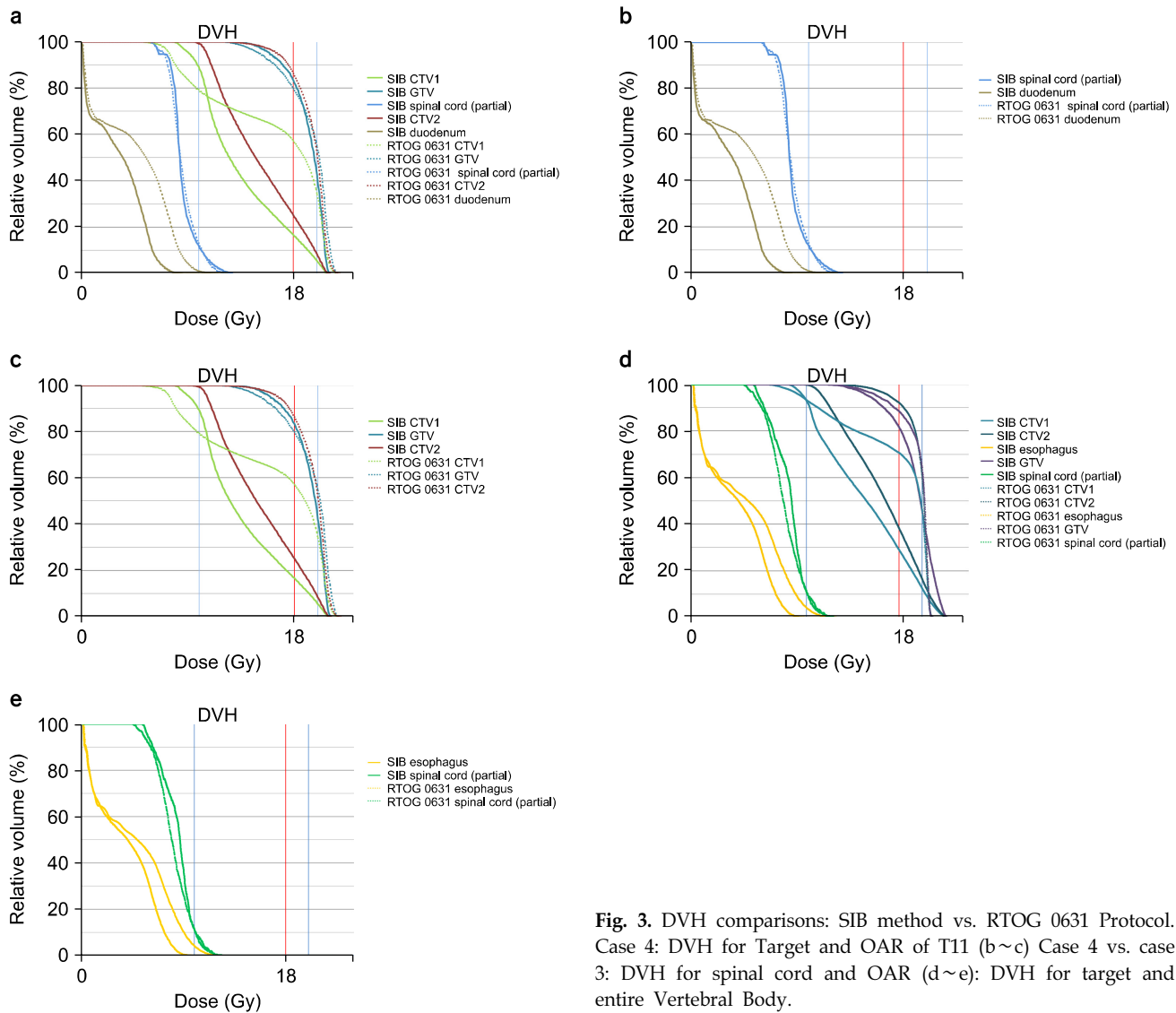


Fig. 3. DVH comparisons: SIB method vs. RTOG 0631 Protocol. Case 4: DVH for Target and OAR of T11 (b~c) Case 4 vs. case 3: DVH for spinal cord and OAR (d~e): DVH for target and entire Vertebral Body.

1. 표적의 선량분포

처방선량 18 Gy의 표적체적 GTV 평균은 SIB방법의 경우, 16.84 cc (± 11.26 cc), 10 Gy 표적체적 CTV1은 전체 VB 영역으로 87.40 cc (± 36.33 cc)이었고, RTOG 0631 프로토콜의 경우, 전체 VB영역의 58%에 해당하는 CTV2가 평균 51.00 cc (± 15.63 cc)였다. 표적의 평균선량과 처방선량체적 V_{18} 을 살펴보면(Fig. 3), SIB방법의 경우 GTV 평균선량은 19.23 Gy (± 0.17 Gy), V_{18} 의 경우 평균 86.3% ($\pm 5.97\%$)로 허용치인 80%이상을 만족하였으며, CTV1 처방선량체적 V_{10} 은 90% ($\pm 1.63\%$)이상으로 만족하였다. RTOG 0631 프로토콜의 경우, CTV2의 평균선량은 19.99 Gy (± 0.55 Gy)이었으며, V_{18} 은 91.5% ($\pm 5.06\%$)로 허용치의 기준이상을 만족하므로 두 방법 모두 처방선량 조건을 만족하였다. 또한 RTOG 0631 프로토콜에 따른 치료계획의 경우, GTV에 대해서도 평균 선량 19.98 Gy (± 0.71 Gy), V_{18} 은 88.85% ($\pm 7.19\%$)로 허용치 기준 이상의 처방선량 조건을 만족하였다(Table 4). 저 선량 영역의 평가를 위해 $V_{50\%}$, 9 Gy를 비교한 경우, SIB방법의 경우, 180.61 cc (± 60.06 cc), RTOG 0631 프로토콜의 경우, 290.59 cc (± 76.62 cc)였고, $V_{30\%}$, 5.4 Gy영역을 비교한 경우, SIB방법의 경우는 544.83 cc (± 182.17 cc), RTOG 0631프로토콜은 796.85 cc (± 159.85 cc)였다. 특히, RTOG 0631 프로토콜의 경우, 표적에서 제외된 전 척수 영역의 선량분포는 표적으로 포함된 SIB방법의 V_{10} 이 90.07% ($\pm 1.63\%$)와 거의 유사한 85.89% ($\pm 6.44\%$)를 보였고, V_8 에서는 92.85% ($\pm 5.62\%$)이상의 높은 분포를 보였다.

2. 척수 및 정상 장기 선량비교

두 치료계획 모두 전 척수 및 부분 척수에 대해서는 최대선량 평균 11.50 Gy, 11.34 Gy로 14 Gy이하였으며, V_{10} 역시 7.41%, 6.97%로 10%이하를 만족하였다(Fig. 2b, c). 반면, 식도 및 십이지장에 들어가는 최대선량 평균값은 SIB방법인 경우 8.93 Gy, 6.68 Gy이었으며, RTOG 0631 프로토콜의 경우 10.98 Gy, 10.31 Gy으로 RTOG 0631 프로토콜이 SIB방법에 비해 대체로 정상 장기에 있어서 높은 값을 보였다(Table 5).

3. VB 선량체적 및 조사체적

SIB방법의 경우, VB는 GTV를 포함한 전체 척추 부위를 CTV1으로 정의하였기 때문에, VB선량은 곧 CTV1의 선량체적으로 정의한다. VB의 선량체적 D_{80} , D_{90} , V_8 , V_{10} 은 11.2 Gy, 10.2 Gy, 98.51%, 90.7%였다. RTOG 0631 프로토콜의

Table 5. Dosimetric results for partial spinal cord.

	SIB type			RTOG 0631 protocol	
	Criteria	Mean	Range	Mean	Range
D_{max} (0.03 cc)	< 14 Gy	11.50	11.1~11.8	11.34	10.30~12
V_{10}	< 10%	7.41	3.71~8.68	6.97	0.98~10.49

D_{max} : Maximum dose is receiving dose to the 0.3 cc of the partial volume of the spinal cord; SIB: simultaneously integrated boost; RTOG: Radiation Therapy Oncology Group.

경우, VB의 선량체적 D_{80} , D_{90} , V_8 , V_{10} 은 13.19 Gy, 9.05 Gy, 92.85%, 85.89%였다. 이 때, 몸 전체에 조사된 V_{10} 의 체적은 SIB방법의 경우 129.68 cc였으며, RTOG 0631 프로토콜인 경우 238.20 cc로 SIB방법의 약 2배임을 확인하였다.

고찰 및 결론

본 연구에서는 체부정위방사선치료계획 시 표적 체적 결정 및 처방선량의 결정에 있어 SIB 방법을 이용한 경우와 RTOG 0631 프로토콜에 따른 경우의 선량분포 결과를 비교하였다. 두 방법 모두 처방 선량 포괄 범위가 표적체적의 80%이상을 만족하였으며, 척수 한계 방사선량의 허용치 조건 역시 잘 만족하였다. 두 치료계획 모두 표적과 척수 간 거리가 인접한 경우로 처방 선량 18 Gy의 표적체적으로부터 동일하게 부분 척수 3 mm 확장한 체적을 제외한 표적체적으로부터 치료계획을 실시한 결과, Fig. 4에서와 같이, 비록 SIB방법에 비하여 RTOG 0631 프로토콜인 경우가 18 Gy를 처방하는 표적체적이 증가하더라도 척수한계 방사선량을 지키면서 충분한 선량을 조사할 수 있는 방법임을 확인할 수 있었다. 하지만, 체부정위방사선치료계획의 조건을 만족하기 위해 처방선량 및 제한선량 조건에 따라 결과가 달라질 수 있는데, Soo-Min 등이¹³⁾ 표적의 형태에 따라 IMRT 및 VMAC (Volumetric Modulation Arc therapy, VMAC)을 비교한 치료계획에서 표적에 18 Gy, 1회 처방 시 척수 제한선량을 0.25 cc에 10 Gy으로 Texas Southwestern 대학의 프로토콜¹⁴⁾을 적용한 경우, 표적과 척수 간 거리를 1 mm로 유지한 후 치료계획을 시행하여 필요조건을 만족하였다. 또한, GTV의 형태나 정상장기와의 위치관계에 따라라도 달라질 수 있는 데, SIB방법에 의한 치료계획의 경우 GTV에 대해 처방선량 18 Gy를 조사하였기 때문에, GTV에 대한 정확성이 중요하다. 본 연구에서는 치료계획용 MRI를 기준으로 설정하였으나 이러한 방법이 용이하

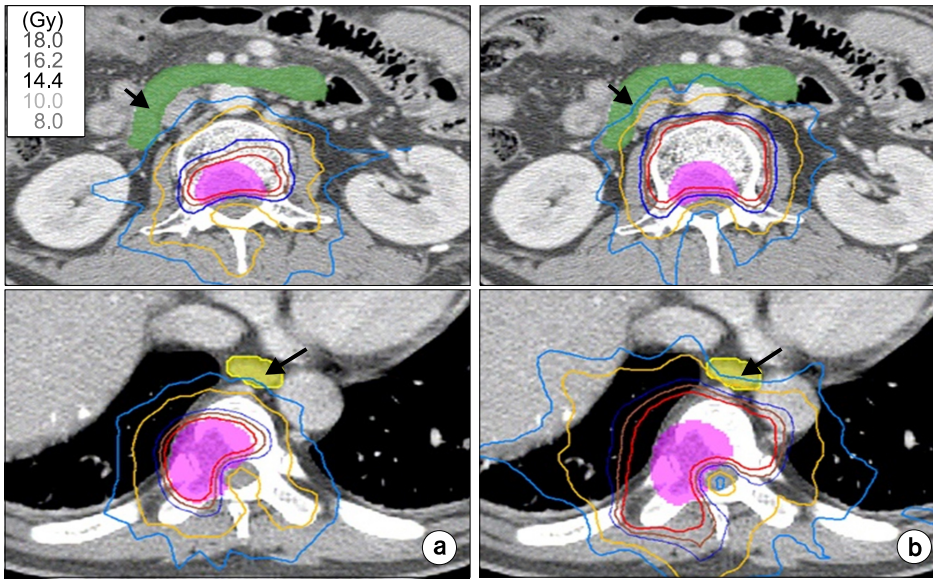


Fig. 4. Dose distribution: (a) SIB Method vs. (b) RTOG 0631 Protocol.

지 않을 수 있고, 이는 Max 등에 의한 연구에서¹⁵⁾ MRI영상은 자기 감수성 및 자화율 차이에 의한 영상왜곡이 발생할 수 있으며, 영상획득 시 환자자세 오차로 인해 발생하는 영상의 차이 또한 영상융합 시 표적과 정상 장기의 정확한 정의를 위해 다양한 방법으로 개선되어야 한다고 언급한 바 있다. 따라서, 전산화 단층촬영이나 진단용 MRI를 이용한 영상융합을 이용할 경우 표적체적 설정에 있어 불확실성 및 재현성에 대한 한계를 지닐 수가 있어 이에 대한 주의가 필요하겠다. 또한 RTOG 0631 프로토콜에 따른 치료 계획에서도 VB에 대해 10 Gy 이상 조사되는 체적이 VB체적의 85.5% 이상으로, 비교적 충분한 선량이 전체 척추 부위에 조사되는 것을 알 수 있었다. 결국, RTOG 0631 프로토콜 치료계획에서는 전 척추를 표적체적으로 설정하지 않았음에도 불구하고, 10 Gy 이상 조사되는 용적이 전 척추의 85% 이상, 8 Gy 이상 조사되는 용적이 전 척추의 92% 이상이었다. 8 Gy를 1회 조사한 뼈전이암의 치료 효과에 대한 보고들을 고려했을 때,^{16,17)} 10 Gy 이상의 선량이 종양의 미세 침범(microscopic invasion)을 제어하는 데 필요한 선량일지에 대한 논의는 더 필요하나, RTOG 0631 프로토콜에 따라 일부 척추만을 포함한 표적 체적에 대한 18 Gy 조사할 경우 10 Gy가 85% 이상의 척추 체적에 조사되었고, 이는 종양의 주변부 재발에 대한 위험도를 낮추는 데 기여할 것으로 판단한다.

정상장기에 대한 선량 비교에서는 RTOG 0631 프로토콜 치료계획의 V10 조사체적이 298.5 cc 이상으로 SIB방법의 198.5 cc 비해 약 2배 정도 넓고, 식도 및 십이지장에 들어가

는 선량 또한 높은 경향을 보였다. 이는 18 Gy를 처방 받은 표적체적이 SIB방법에 따른 치료 계획의 경우 GTV로 RTOG 0631 프로토콜 방법에 따른 치료 계획 CTV2에 비해 용적이 작기 때문으로 생각한다. 또한 GTV의 형태나 정상 장기와의 위치관계에 따라 이러한 영향은 더 커지거나 줄어들 수 있을 것이다.

이는 David 등이 발표한 연구에서도¹⁸⁾ 91명의 환자를 대상으로 종양의 위치, CTV의 정의 및 처방선량, 척수의 정의에 따른 척추뼈전이암의 체부정위방사선치료법의 결과를 선량의 기울기, 표적의 허용치, 척수의 최대선량으로 분석한 결과, 표적의 형태에 따라 체부정위방사선치료계획의 결과가 표적의 허용치 95% 이상 증가시키면서 정상 장기의 적산선량(Integral dose) V₄를 감소시킬 수 있다고 하였다.

본 연구의 결과는 두 가지 치료법에 따른 선량분포 비교 분석 결과로서 표적체적(VB, GTV, 각각의 CTV)과 주위정상조직 및 적산선량의 측면에서 각각 장단점이 있으나 이러한 선량분포의 차이가 실제 종양 제어율 및 부작용 확률의 차이로 나타날지는 명확하지 않다. 결론적으로 SIB방법이나 RTOG 0631 프로토콜에 따른 표적체적 설정을 통한 체부정위방사선치료 모두 척수의 한계 방사선량을 지키면서 표적체적에 대해 충분한 조사를 줄 수 있었고, 85% 이상의 전 척추에 대해 10 Gy 이상의 조사가 이루어졌다. 하지만 정상 장기에 대한 조사량은 RTOG 0631 프로토콜에 따른 치료 방법이 높은 편이었다. 때문에 주변부 장기의 부작용이 우려되는 임상적 상황의 경우 조사 체적이 적은 SIB 방법이 좋은 선택이 될 수 있을 것이다. 하지만 이러한 차

이가 실제 종양 제어율 및 부작용 확률의 차이로 나타날지는 추후 다양한 연구가 필요하다.

References

1. Sahgal A, Larson DA, Chang EL, et al: Stereotactic body radiosurgery for spine metastases: a critical review. *Int J RadiatOncolBiolPhys* 71:652-665 (2008)
2. Orit G, Annette E, Rojano K, et al: Influence of rotations on dose distributions in spinal stereotactic body radiationtherapy (SBRT). *Int J RadiatOncolBiolPhys* 73:1596-1601 (2009)
3. Yamada Y, Bilskv MH, Lovaelock DM, et al: High-dose single-fraction, image-guided intensity-modulated radiotherapy for metastatic spinal lesion. *Int J RadiatOncolBiol Phys* 71:484-490 (2008)
4. Stefano S, Winston W, Jain-Yue J, et al: Spine Radiosurgery: A dosimetric analysis in 124 patients who received 18 Gy. *Int J RadiatOncolBiolPhys* 84:571-576 (2012)
5. Ryu S, Rock J, Jain R, et al: Radiosurgical decompression of metastatic epidural compression. *Cancer*. 116:2250-2257 (2010)
6. Sunyoung L, Mison C, Mijo L: Stereotactic body radiotherapy for solitary spine metastasis. *Radiat Oncol J*. 31(4): 260-266 (2013)
7. Gerszten PC, Germanwala A, Burton SA et al: Combination kyphoplasty and spinal radiosurgery: a new treatment paradigm for pathological fracture. *J. Neurosurg. Spine* 3(4), 296-301 (2005)
8. Jin JY, Chen Q, Jin R et al: Technical and clinical experience with spine radiosurgery: a new technology for management of localized spine metastases. *Technology Cancer Res Treat* 6:127-133 (2007)
9. Gerszten PC, Burton SA, Ozhasoglu C, et al: Radiosurgery for spinal metastases: clinical experience in 500 cases from a single institution. *Spine* 32:193-199 (2007)
10. Ryu S, Gerszten PC, Timmerman R, et al: RTOG 0631 study protocol: Phase II/III study of image-guided radiosurgery/SBRT for localized spine metastasis. Available at: <http://www.rtog.org/members/protocols/0631.pdf>. Accessed.
11. Cox B, Spratt D, Lovelock M et al: International Spine Radiosurgery Consortium consensus guidelines for target volume definitions for target volume definition in spinal stereotactic surgery. *Int J RadiatOncolBiolPhys* 83(5):e597-605 (2012)
12. Stefano SP, Winston W, Jain-Yue J et al: Spine radiosurgery: A dosimetric analysis in 124 patients who received 18Gy. *Int J RadiatOncolBiolPhys* 5:571-576 (2012)
13. Soo-Min C, Gi Woong L, Seok Hyun S: The effect of multileaf collimator leaf width on the radiosurgery planning for spine lesion treatment in terms of the modulated techniques and target complexity. *Radiation Oncology* 9:72 (2014)
14. Timmerman R: An overview of hypofractional and introduction to this issue of seminars in radiation Oncology. *Semin Radiat Oncol* 18(4):215-222 (2008)
15. Chow E, Zeng L, Salvo N, et al: Update on the systematic review of palliative radiotherapy trials for bone metastases. *ClinOncol(R CollRadiol)* 24(2):112-24 (2012)
16. Kristopher D, Leila M, Liang Z, et al: Single fraction conventional external beam radiation therapy for bone metastases: A systemic review of randomized controlled trials. *Radiother and Oncol* 106:5-14 (2013)
17. Max D, Jaap D, Esther S et al: Imaging for stereotactic spine radiotherapy: Clinical consideration. *Int. J RadiatOncolBiolPhys* 81(2):321-330(2011)
18. David C, Matthew B, Khoi N et al: Generalizable Class Solution for Treatment Planning of Spinal Stereotactic Body Radiation Therapy. *Int. J RadiatOncolBiolPhys* 84(3):847-853 (2012)

척추뼈전이암 환자의 체부정위방사선치료계획 비교: 동시통합추가치료법 대 RTOG 0631 프로토콜

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 방사선종양학교실

박수연 · 오동렬 · 박희철 · 김진성 · 김종식 · 신은혁 · 김혜영 · 정상훈 · 한영이

척추뼈전이암 환자를 대상으로 본원의 동시통합추가치료법(SIB)과 RTOG 0631 프로토콜에 따른 체부정위방사선치료계획을 세우고, 선량분포를 비교하였다. 간암 원발인 척추 뼈 전이암 환자 5명을 대상으로 전산화단층촬영 영상과 자기공명영상(T1, T2)를 바탕으로 영상융합을 시행하였다. 본원에서 시행하는 SIB방법은 영상에서 보이는 종양을 GTV로 설정하고, GTV를 포함한 전체 척추체부(entire vertebral body, VB)를 CTV1로 정의하였고 GTV에 18 Gy CTV1에 10 Gy를 1회 처방하였다. RTOG 0631 프로토콜 방법은 GTV의 침윤 정도에 따라 주변부의 추근, 좌우 횡돌기 및 극돌기 등을 선택적으로 포함하여 CTV2로 정의하였고 18 Gy 1회 처방하여 체부정위방사선치료계획을 시행하였다. 선량체적화 결과값을 선량-체적 히스토그램을 통해 분석한 결과, 두 방법 모두 표적에 대하여 처방 선량을 만족하였으며, 척수 및 정상 장기에 대하여는 SIB방법이 RTOG 0631프로토콜보다는 낮은 값을 보였다. 또한, 전체 VB의 조사선량분포를 정량화한 결과, RTOG 0631프로토콜에서도 SIB방법과 동일한 처방선량 허용치 85%이상을 포함하는 것으로 나타났다. 하지만 정상 장기에 대한 선량은 RTOG 0631 프로토콜에 따른 치료 방법이 높은 편이었다. 주변부 장기의 부작용이 우려되는 임상적 상황의 경우 조사 체적이 적은 SIB방법이 좋은 선택이 될 수 있을 것이다. 결론적으로 SIB방법이나 RTOG 0631 프로토콜에 따른 표적체적 설정을 통한 체부정위방사선치료계획 모두 유사한 결과를 보였으며, 향후 다양한 연구를 통해 종양 제어확률 및 부작용 확률의 차이를 분석해야 할 것이다.

중심단어: 척추뼈전이암, 체부정위방사선치료계획, 동시통합추가치료법, RTOG 0631 프로토콜