

세기조절방사선치료를 이용한 뇌종양에서 에너지 의존성에 관한 연구

영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

김 성 규

세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)는 기존의 방사선치료에 비해 암조직에는 더 많은 선량을 조사하면서, 주위 정상조직과 중요 장기에는 더 적은 선량이 조사되게 하는 가장 이상적인 치료법 중 하나로 알려져 있다. 뇌종양에서 치료계획자의 의도 대로 세기조절방사선치료계획을 시행하여 4 MV, 6 MV, 15 MV의 에너지에 따른 선량분포 특성과 DVH를 살펴보았다. 종양 표적이 있는 오른쪽 뇌간에서 최대 조사선량은 4 MV, 6 MV, 15 MV에서 4 MV에 대해 10.1%, 8.4%의 차이를, 오른쪽 눈에서는 5.2%, 2.7%의 차이를 나타내고 있지만, 왼쪽 뇌간과 눈, 그리고 시신경 교차와 뇌간은 1.7%에서 5.2%의 차이를 나타내었다. 뇌종양에서 세기조절방사선치료계획을 수행한 결과 4 MV, 6 MV, 15 MV의 에너지의 차이에 따른 선량분포특성과 DVH를 비교검토 해본 결과 PTV와 특정 장기에 조사되는 방사선량이 1.7%에서 10.1% 까지 차이를 나타내었지만, 이것은 한 지점에 조사되는 선량이며, 전체적인 비교에서 본다면 세기방사선치료계획을 시행한 9문 조사에서 에너지의 의존성이 없는 것으로 사료된다.

중심단어 : 세기조절방사선치료, 에너지 의존성, 뇌종양

서 론

세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)¹⁻³⁾는 기존의 방사선치료에 비해 암조직에는 더 많은 선량을 조사하면서, 주위 정상조직과 중요 장기에는 더 적은 선량이 조사되게 하는 치료법이다. 그러므로 치료성적의 향상으로 암환자의 생존율을 증가시키고 삶의 질을 높이는 데 기여할 수 있는 치료법이다.

방사선치료의 궁극적인 목적이 종양부위에 균등한 치사 선량이 도달되게 하고 병변 부위의 정상조직의 손상을 최소가 되게 하는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 많은 연구자들이 여러 가지 방법으로 해결하고자 노력한 결과 CT와 MR의 영상을 치료계획에 이용할 수 있게 되어 3차원 입체조사방사선치료(three dimensional conformal radiation therapy, 3DCRT)를 개발하였고⁴⁻⁹⁾, 병변부 위에는 더 많은 선량이 조사되게 하며 주위 정상조직에는 더 적은 선량이 조사되게 하여 병변부위에 충분한 선량을

조사할 수 없는 방사선치료가 갖고 있는 이러한 한계를 극복하기 위하여 제시된 하나의 방법으로 조사하는 방향에 따라 선량의 강도를 조절하게 하며, 조사되어야 할 선량과 부위를 결정해 놓고 역으로 치료계획을 수립하여 최적의 선량분포를 얻게하는 intensity modulation radiation therapy (IMRT, 세기조절방사선치료)가 1990년 초부터 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center^{10, 11)} 등을 중심으로 연구되기 시작하였다.

세기조절방사선치료는 병변과 주위 장기에 대해 치료계획자가 constraint (CTV, PTV 선량 및 특정 장기의 최대 최소 선량 허용치)를 설정하여 최적화하게 되는데, 이는 빔의 세기를 위치에 따라 조절함으로써 달성된다. 이러한 개별적 조절이 가능한 조사면적의 최소단위를 "beamlet"이라 하고 통상 1 cm×1 cm 크기 정도이며, 이러한 조사빔의 세기분포도를 "intensity map"이라 한다.

세기조절방사선치료를 수행하기 위해 여러 가지 방법들이 제시되고 있다.¹²⁾ 첫째 compensator를 이용하는 것, 둘째 정적(static) 다엽콜리메이터를 이용하는 것, 셋째 동적(dynamic) 다엽 콜리메이터를 이용하는 것, 넷째 tomotherapy, 다섯째 scanning attenuating bar 방식, 여섯째 pencil beam sweeping 방식 등이 있다.

본 연구에서는 세기방사선치료를 시행하는데 있어서 뇌종양에서 X-선 에너지의 세기에 따른 세기방사선치료의

이 논문은 2002년 4월 13일에 접수하여 6월 4일에 채택됨.
본 연구는 교내 교비학술연구조성비의 지원으로 이루어졌음.
통신저자: 김성규, 영남대학교병원 방사선종양학과
Tel: 053-620-3373, Fax: 053-624-3599
E-mail: skkim@med.yu.ac.kr

시행 가능성 여부를 살펴보고자 한다. 세기방사선치료에서 6-10분 정도 방향으로 치료계획을 수립할 때 에너지의 세기에 따른 의존성을 선량분포, conformity, Dose Volume Histogram (DVH) 등을 비교, 검토하여 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

본원에서는 세기조절방사선치료계획을 수립하는데 있어서 본원이 보유하고 있는 Corvus System 치료계획장치 (NOMOS, USA)와 80 leaf 다엽콜리메이터가 부착된 방사선치료용 선형가속기 21EX (Varian, USA)을 사용하였다. Corvus System은 광자선의 선량계산 알고리즘으로 모델 기반인 "finite-size pencil beam"방법을 사용한다. Corvus System의 역방향 세기조절방사선치료계획은 치료할 portal 수를 정하고, 표적 선량과 주위 중요장기에 조사되는 방사선량의 범위를 정해주면 주어진 조건들을 해석하고 해석에 따라 Dynamic MLC sequence를 행하며 그에 따

라 scatter와 transmission calculation를 반복시행하여 치료선량과 선량분포를 계산한다(Fig. 1). 여기서 뇌종양에 대한 치료계획은 갠트리 각도 20, 60, 100, 140, 180, 220, 260, 300, 340의 9분으로 하였고, 코우치는 갠트리의 조사 방향에 관계없이 일정한 방향으로 고정되어 있다. 또한 PTV는 16.7Gy에서 20.3Gy로 설정하였고, 시신경, 눈, 시신경 교차, 뇌간등 특정 장기에 조사되는 치료용적과 조사 선량의 허용치를 부위에 따라 5-10%를 설정하였다(Table 1). 이러한 constrain으로 뇌종양에서 4 MV, 6 MV, 15 MV의 에너지의 차이에 따른 선량분포와 DVH를 비교, 검토하였다.

결 과

뇌종양에서 세기조절방사선치료계획을 갠트리 각도 20, 60, 100, 140, 180, 220, 260, 300, 340의 9분으로 수립하여 4 MV, 6 MV, 15 MV의 에너지에 따른 선량분포특성을 살펴본 결과 PTV의 mean dose가 18.91 Gy, 20.35 Gy, 19.64 Gy 였으며, 오른쪽시신경에 조사되는 최대선량은 6.43 Gy, 6.70 Gy, 5.74 Gy를 나타내고 있어 4 MV를 기준으로 6 MV는 10.1%, 15 MV는 8.4% 더 조사되었고, 왼쪽시신경에 조사되는 최대선량은 11.14 Gy, 12.27 Gy, 12.08 Gy를 나타내고 있어 4 MV를 기준으로 6 MV는 4.2% 더 조사되었고, 15 MV는 10.8% 덜 조사되었고, 오른쪽눈에 조사되는 최대선량은 8.5 Gy, 8.95 Gy, 8.73 Gy 를 나타내고 있어 4 MV를 기준으로 6 MV는 5.2%, 15 MV는 2.7% 더 조사되었고, 왼쪽눈에 조사되는 최대선량은 6.55 Gy, 6.44 Gy, 5.98 Gy를 나타내고 있어 4 MV를 기준으로 6 MV는 0.2%, 15 MV는 8.1% 덜 조사되었고, 시신경 교차에 조사되는 최대선량은 11.26 Gy, 11.23 Gy, 11.84 Gy를 나타내고 있어 4 MV를 기준으로 6MV는 0.1% 덜 조사되었고, 15 MV는 5.2% 더 조사되었고, 뇌간

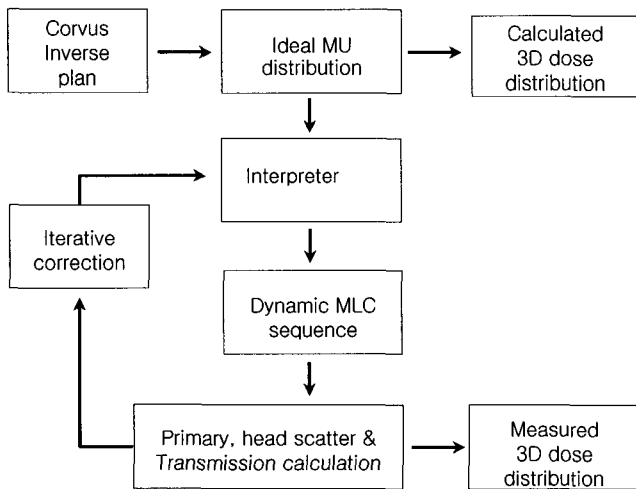
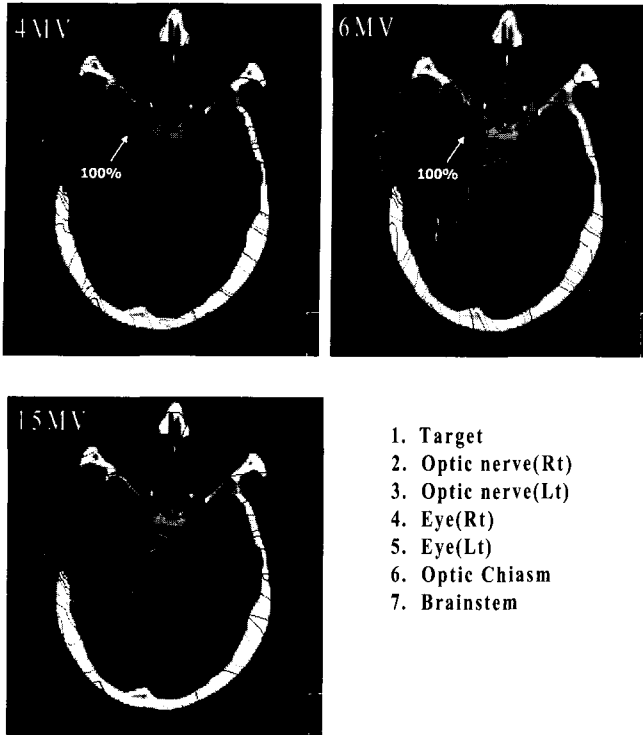


Fig. 1. Flow chart of IMRT planning in Corvus system (Webb12).

Table 1. Constraint of Intensity modulated radiation therapy planning

Structure name	Dose Limit (Gy)	Vol. above (%)	Min (Gy)	Max (Gy)
PTV	18.00	5.0	16.70	20.30
Optic-nerve (R)	9.00	7.0	6.00	9.60
Optic-nerve (L)	10.10	8.0	6.70	12.00
Eye (R)	7.90	10.0	5.60	12.50
Eye(L)	10.10	10.0	7.90	12.50
Optic-Chiasm	9.00	5.0	6.50	11.00
Brainstem	10.10	5.0	4.40	12.00



에 조사되는 최대선량은 14.70 Gy, 15.28 Gy, 14.95 Gy를 나타내고 있어 4 MV를 기준으로 6 MV는 3.9%, 15 MV는 1.7% 더 조사되었다(Fig. 2, 3, Table 2).

고찰 및 결론

세기조절방사선치료를 하기 위해서 필수적으로 충족되어야 사항은 다음과 같다. 첫째 선량분포가 종양일체형이 되어야 하며 고선량 범위 내에 중요 장기가 제외되어야 하며, 둘째 조사면적이 표시되는 컴퓨터 단층 영상의 여러 장을 연속 스캔하여 이 영상들을 화상재구성을 통한 방사선조사 방향에서 해부학적 구조와 종양의 형태가 공간적으로 표현되어야 하며, 셋째 치료부위와 치명 장기에 대한 조사면의 최적화 영역 결정이 이루어져야 하며, 넷째 종양 부위 내에 균등한 선량이 조사되어야 하며, 다섯째 치료계획대로 치료되었는지 확인할 수 있는 시뮬레이션 필름과 치료 필름을 비교 및 선량측정을 점검할 수 있는 QA 시스템^{13, 14)}이 있어야 한다.

Fig. 2. Optimized dose distributions for each energy.

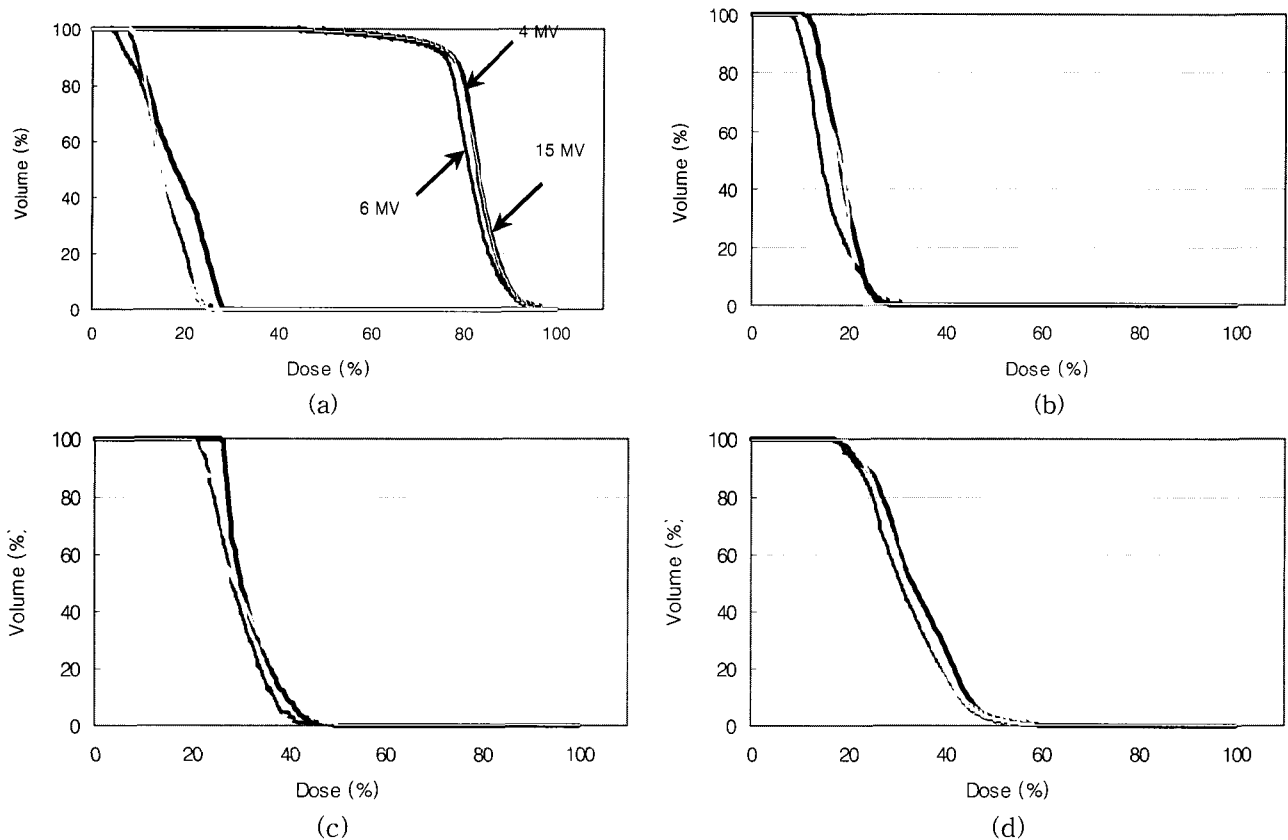


Fig. 3. Dose Volume Histograms for 4, 6 and 15 MV A) PTV and Eye, B) Optic-nerve, C) Optic-Chiasm, D) Brainstem.

Table 2. Total accumulated dose of tumor and critical organ in 4, 6, 15MV

	PTV	Optic nerve (R)	Optic nerve (L)	Eye (R)	Eye (L)	Optic chiasm	Brainstem
volume (cc)	212.74	1.69	1.86	10.05	10.08	0.61	20.35
4 MV							
MinDose (Gy)	8.27	4.82	2.41	2.76	1.67	5.97	3.79
MeanDose (Gy)	18.91	8.51	4.14	6.23	4.11	7.28	7.82
MaxDose (Gy)	22.97	11.14	6.43	8.50	6.55	11.26	14.70
SD Dose (Gy)	1.52	1.21	0.86	1.31	1.40	1.15	1.89
6 MV							
MinDose (Gy)	9.47	6.53	1.89	3.41	1.01	5.30	3.91
MeanDose (Gy)	20.35	9.38	3.83	6.63	3.70	7.35	8.01
MaxDose (Gy)	25.25	12.27	7.70	10.35	6.44	11.23	15.28
SD Dose (Gy)	1.74	1.12	1.16	1.53	1.27	1.33	2.05
15 MV							
MinDose (Gy)	8.73	5.93	2.15	3.23	1.67	4.78	4.43
MeanDose (Gy)	19.64	8.63	4.08	5.51	3.58	7.22	7.87
MaxDose (Gy)	23.92	12.08	5.74	8.73	5.98	11.84	14.95
SD Dose (Gy)	1.52	1.14	0.86	1.14	0.95	1.73	1.84

이제까지 일반적인 치료계획에 비해 세기조절방사선 치료계획은 치료계획 수립자의 아이디어가 훨씬 더 강력하게 적용된다. 그러므로 앞으로 세기조절방사선치료의 발전 방향은 치료계획 수립자의 집약된 아이디어에 의해서 발전의 폭이 결정될 것이며, 또한 얼마만큼 치료계획된 대로 치료가 이루어질 것인가의 QA의 정확성에 의하여 성패가 좌우된다.

Lee 등¹⁵⁾은 두경부 내에 위치한 tumor를 세기조절방사선치료를 치료를 시행하여 뇌간 부위에 조사되는 선량이 감소되었음을 보고하였고, Tate 등¹⁶⁾은 두경부 암에서 9분 조사 세기방사선치료를 시행하였다고 보고하고 있다.

본 연구에서는 뇌종양에서 치료계획자의 의도대로 치료계획을 시행하여 에너지에 따른 선량분포 특성과 DVH를 살펴보았다. tumor target이 있는 오른쪽 뇌간에서 최대 조사선량은 4 MV, 6 MV, 15 MV에서 4 MV에 대해 10.1%, 8.4%의 차이를, 오른쪽 눈에서는 5.2%, 2.7%의 차이를 나타내고 있지만, 왼쪽 뇌간과 눈, 그리고 시신경 교차와 뇌간은 1.7%에서 5.2%의 차이를 나타내었다.

뇌종양에서 세기조절방사선치료계획을 수행한 결과 4 MV, 6 MV, 15 MV의 에너지의 차이에 따른 선량분포특성과 DVH를 비교검토 해본 결과 PTV와 특정 장기에 조사되는 방사선량이 1.7%에서 10.1% 까지 차이를 나타내었지만, 이것은 한 지점에 조사되는 선량이며, 전체적인 비

교에서 본다면 세기방사선치료계획을 시행한 9 방향 조사에서 에너지의 의존성이 없는 것으로 사료된다. 이 결과로 미루어 복부 혹은 흉부 등, 두께가 20 cm 정도 되는 부위에서도 에너지 의존성이 없을 것으로 추정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Mohan R., Wang X., Jackson A.: The potential and limitations of the inverse radiotherapy technique. *Radiother. Oncol.* 32:232-248 (1994)
2. Bortfeld T., Boyer A.L., Schlegel W., Kahler D.L., Walden T.J.: Radiation and verification of three-dimensional conformal radiotherapy with modulated fields. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 30:899-908 (1994)
3. Xing L., Chen G: Iterative methods for inverse treatment planning. *Phys. Med. Biol.* 41:2107-2123(1996)
4. Bortfeld T., Kahler D.L., Waldron T.J., Boyer A.L.: X-ray field compensation with multileaf collimators. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 28:723-730 (1994)
5. Brahme A: Optimization of radiation therapy and development of multi-leaf collimation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 25(2):373-373 (1993)
6. Bortfeld T., Burkelbach J., Boesecke R., Schlegel W.: Method of image reconstruction from projections applied to conformation radiotherapy. *Phys. Med. Biol.* 35:1423-1434 (1990)

7. Brahme A.: Optimization of radiation therapy. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 28:785-787 (1994)
8. Jackson A., Kutcher G.J., Yorke E.D.: Probability of radiation induced complications for normal tissues with parallel architecture subject to non-uniform irradiation. Med. Phys. 20(3):613-625 (1993)
9. Kutcher G.J., Burman C.: Calculation of complication probability factors for non-uniform normal tissue radiation. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 16:1623-1630 (1989)
10. Convey D.J., Rosenbloom M.E.: The generation of intensity modulated fields for conformal radiotherapy by dynamic collimation. Phys. Med. Biol. 37(6):1359-1374 (1992)
11. Brahme A., Roos J., Lax I.: Solution of an integral equation encountered in radiation therapy, Phys. Med. Biol. 27:1221-1229 (1982)
12. Webb S.: Intensity-Modulated Radiation Therapy. IoP. pp10-14, 2001
13. Cho B.C., Park S.W., Oh D.H., Bae H.C.: Quality assurance for intensity modulated radiation therapy. J. Korean Soc. Ther. Radiol. Oncol. 19:275-286(2001)
14. Yoon S.M., Yi B.Y., Choi E.K., Kim J.H., Ahn S.D., Lee S.W.: Quality Assurance of Patients for Intensity Modulated Radiation Therapy. J. Korean Soc. Ther. Radiol. Oncol. 20:81-90 (2002)
15. Lee H.J., Forster K.M., Sheldon J.M., Wood R.R., Spirou S.V., Burman C.S., Chui C.S., Fuks Z.Y., Ling C.C., Kutcher G.J., Leibel S.A : Mixed modality intensity modulated radiation therapy treatment planning for intracranial lesions. Proc 39th ASTRO Meeting, Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 39(suppl. 2):149 (1997)
16. Tate D., Le Q-T, Xing L., Goffinet D., Poen J., Wolden S., Boyer A.: Intensity modulated radiation of nasopharynx carcinoma with inclusion of cervical supraclavicular lymph nodes. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 42:223 (1997)

Study of Energy Dependency in Intensity Modulated Radiation Therapy of Brain Tumor

Sung Kyu Kim

*Department of Therapeutic Radiology & Oncology,
College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea*

As intensity modulated radiation therapy compared with conventional radiation therapy, tumor target dose increased and normal tissues and critical organs dose reduced. In brain tumor, treatment planning of intensity modulated radiation therapy was practiced in 4MV, 6MV, 15MV X-ray energy. In these X-ray energy, was considered the dose distribution and dose volume histogram. As 4MV X-ray compared with 6MV and 15MV, maximum dose of right optic-nerve increased 10.1%, 8.4%. Right eye increased 5.2%, 2.7%. And left optic-nerve, left eye, optic chiasm and brainstem increased 1.7% - 5.2%. Even though maximum dose of PTV and these critical organs show different from 1.7% - 10.1% according to X-ray energies, these are a piont dose. Therefore in brain tumor, treatment planning of intensity modulated radiation therapy in 9 treatment field showed no relation with energy dependency.

Key words : Intensity modulated radiation therapy, Energy dependency, Brain tumor