

## 정위적 방사선 수술시 3차원적 공간상의 체적소에 기반한 회전중심점들(Multi-isocenter)의 표적내 자동적 배치 및 분석

\*가톨릭의과대학 의공학교실, †강남성모병원 신경외과

최경식\* · 오승중\* · 이정우\* · 서태석\* · 최보영\* · 김문찬†

정위적 방사선 수술은 치료와는 달리 한 번에 많은 양의 방사선을 병소를 중심으로 조사한다. 그러므로, 수술 계획시 치료 영역에서의 병소를 중심으로 한 선량분포의 계획은 대단히 중요하다. 실질적으로, 수술 계획자는 정확하고 효율적인 수술 계획을 수립하기 위해 많은 시행착오(trial and error)를 거치면서 최적의 수술 계획을 완성한다. 본 연구는 공간상의 기본 단위인 체적소에 근거하여 병소와 일정영역간의 분포로서 회전중심점들(Multi-isocenter)을 불규칙한 모양의 병소내 자동적으로 최적의 배치 방법을 제안하였다. 또한, 이를 검증하기 위해 3개의 다른 모양과 체적을 가지는 가상의 표적들에 대하여 이 방법을 적용하였다. 그 결과, 병소에 대한 선량분포 일치도(conformity)와 균질성(homogeneity)은 RTOG의 권고사항을 잘 만족하였다. 이러한 방법은 선형가속기와 감마나이프를 이용한 수술 계획시 수술 계획자에게 많은 도움을 줄 수 있을 것이라 사료된다.

중심단어: 정위적 방사선 수술, 수술 계획, 회전중심점, 체적소울

### 서 론

정위적 방사선 수술은 고정된 프레임을 이용하여 한 번에 병변에는 고선량의 방사선을 조사하는 동안, 주위 정상 조직에는 낮은 선량을 조사하여 환자를 치료하는 기법이다. 일반적으로, 정위적 방사선 수술은 선형가속기와 감마나이프를 이용하여 많이 치료되어 진다. 선형가속기는 원형의 콜리메이터를 이용하여 비공면호(non-coplanar arc)를 형성하면서 치료가 시행되어 지고, 감마나이프에서는 반구형의 헬멧상의 201개의 구멍을 통한 방사선 조사로서 치료가 수행되어 진다.<sup>1-2)</sup> 통상적으로, 이러한 방법들에 의한 병소내 선량분포는 한 점을 중심으로 고선량의 구형을 형성한다.<sup>3)</sup> 이 구형의 병소내 배치는 치료 계획을 빠른 시간 내에 치료 계획을 효율적으로 할 수 있도록 하였다. 하지만, 다양한 모양을 가지는 병소내 최적의 구형의 선량분포를 가지는 회전중심점들의 배치는 3차원적으로 매우 힘들다. 본 연구는 구형의 선량분포를 가지는 회전중심점들의 자동적으로 배치할 수 있는 방법에 관한 연구를 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 회전중심점의 최적의 배치과정

본 연구에서는 정위적 방사선 수술시 나타나는 선량분포의 특성을 고려하여 회전중심점들을 구형으로서 간주하여 병소내 배치과정을 수행하였고, 구형의 크기는 원형 콜리메이터의 지름과 일치시켰다. 이러한 구형의 3차원적 다양한 체적을 가지는 병소내에 자동적으로 최적의 배치를 이루기 위해 크게 다음과 같은 세 가지를 제약하였다. 그리고, 전체적인 개략도를 그림 1에 나타내었다.

- 다양한 병소의 불규칙한 표면을 최대한 만족하기 위해 가능한 작은 지름의 구형을 선택하였다.
- 구형의 병소내 자동적 배치를 이루기 위해, 병소들을 직육면체와 정육면체 구조에 근거하여 근사화 시켰다.
- 구형의 최적의 배치를 결정하기 위해 선량체적 히스토그램의 정보를 이용하여 병소의 체적을 둘러싸는 등 선량 곡선의 가장 큰 값에서 체적소울(voxel ratio)을 결정하였고, 이를 만족하는 영역에 대하여 구형을 배치시켰다.

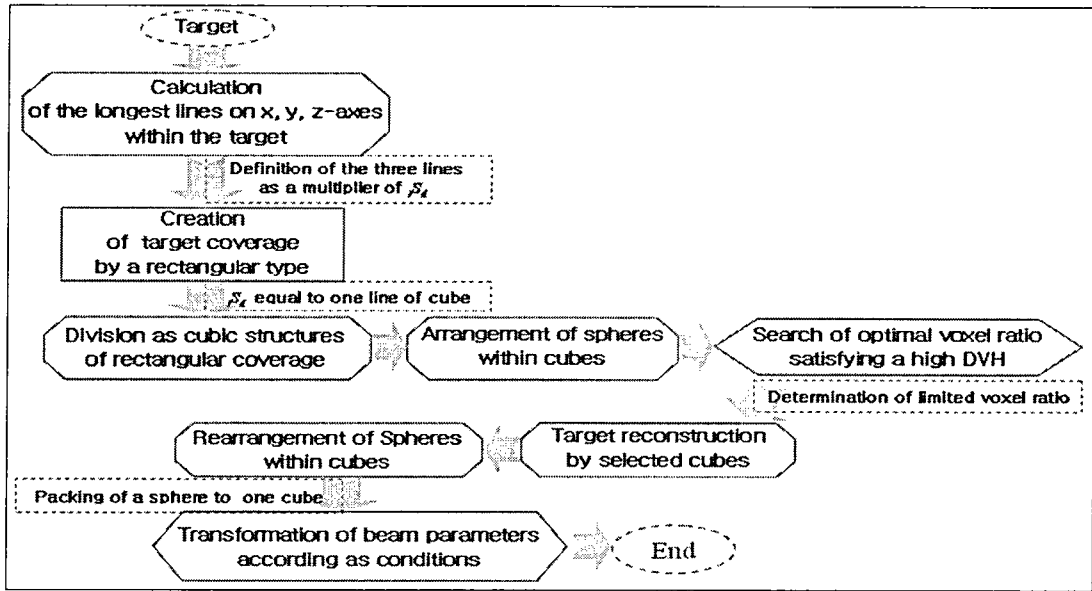


Fig 1. Schematic procedure for automatic multi-isocenter arrangement considering the boundary regions in an irregularly shaped tumor.

## 2. 가상 표적들에 적용 및 평가

본 연구는 위에서 기술한 배치 방법에 대한 검증을 위하여, 세 개의 다양한 모양과 체적을 가지는 불규칙한 가상의 표적들에 대하여 배치를 수행하였다. 각각의 가상 표적의 체적은 1832 mm<sup>3</sup>, 4008 mm<sup>3</sup>, 7183 mm<sup>3</sup> 이고, 5mm와 8mm의 구형에 대하여 배치하였다. 표 1은 각 표적들의 특성 및 표적을 둘러싸는 직육면체의 크기들에 대하여 나타내었다.

Table 1. Property of imaginary targets and size of rectangular coverages.

Target Model	Length of the longest line on X, Y, Z-Axis			Covered Rectangular Size (W×L×H mm <sup>3</sup> )	
	X-axis (mm)	Y-axis (mm)	Z-axis (mm)		
1	13	17	13	15×20×15	16×24×16
2	26	26	18	30×30×20	32×32×24
3	21	21	37	25×25×40	24×24×40

불규칙한 표적내 구형의 배치 후, 이를 평가하기 위하여 Radiation Therapy Oncology Group(RTOG)의 권고사항을 적용하였다.<sup>4)</sup> 먼저, (RTOG의 권고에서는 적어도 90%이상의 처방 등선량 곡선내에 체적이 감싸도록 언급되어 있다. 그래서,) 여기서는 표적 체적을 100%와 95%를 감싸는 등선량 곡선을 처방선량 곡선으로 기준하였으며, 이에 대한 표적의 선량분포 일치도(conformity)와 균질성(homogeneity)을 PITV와 MDPD의 비율로서 본 방법의 만족도를 평가하였다.

## 결 과

3개의 다른 모양을 가지는 가상의 병소 모델에 대하여 병소와 근사화된 영역인 정육면체 영역간의 체적소 비율을 적

용하여 회전중심점들의 병소내 배치를 수행했다. 그 결과, 5mm의 지름을 가지는 원형 콜리메이터를 이용할 경우, 병소의 체적을 100% 감싸는 처방선량은 59%, 60%, 60%의 등선량 곡선내에 포함되었고, 8mm의 지름을 이용할 경우에는 각각 64%, 52%, 52%를 나타내었다. 또한, 95%이상을 감싸는 체적에서 5mm의 지름을 사용할 경우, 66%, 73%, 68%의 등선량 레벨과 8mm일 경우에는 각각 70%, 63%, 68%의 등선량 곡선 레벨을 획득하였다. 그리고, 각각의 병소에 대한 선량의 균질성은 100%와 95%의 체적에 있어서 모두 1.0에서 2.0미만 사이의 비율을 나타내었고, 선량의 일치성과 관련하여 100%에서는 2.5 미만의 준수한 결과를 얻었고, 95%에서는 1.0에서 2.0 미만의 아주 만족스러운 비율들을 획득하였다.

## 결 론

많은 다양한 모양의 병소에 대하여 3차원적 공간단위를 적용한 이 방법은 병소내 선량분포에 대하여 만족할만한 결과를 얻었다. 이러한 3차원상의 병소내 회전중심점들의 자동적 배치 방법은 이전의 지루하고 반복적인 치료계획 작업을 좀 더 효율적이고 안정적으로 진행될 수 있도록 치료 계획자에게 많은 도움을 줄 수 있으리라 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Q. J. Wu and J. D. Bourland: Morphology-guided radiosurgery treatment planning and optimization for multiple isocenters, *Med Phys.* 26:2151-2160 (1999)
2. T. H. Wagner, T. Yi, S. L. Meeks, F. J. Bova, B. L. Brechner, Y. Chen, and J. M. Buatti: A geometrically Based method for automated radiosurgery planning, *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 48:1599-1611 (2000)
3. S. J. Oh, T. S. Suh, J. Y. Song, B. Y. Choe, and H. K. Lee, M. C.Kim and T. K. Lee: Development of a rapid planning technique based on heuristic target shaping for stereotactic radiosurgery, *Med Phys.* 31:175-182 (2004)
4. E. Shaw, R. Kline, M. Gillin, L. Souhami, A. Hirschfeld, R. Dinapoli, and L. Martin: Radiation Therapy Oncology Group: Radiosurgery Quality assurance Guidelines, *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 27:1231-1239 (1993)

## Arrangement and analysis of multi-isocenter based on 3-D spatial unit in stereotactic radiosurgery

Kyoung-Sik Choi\*, Seung Jong Oh\*, Jeong Woo Lee\*, Tae-Suk Suh\*,  
Bo-Young Choe\*, and Moon-Chan Kim<sup>†</sup>

*\*Department of Biomedical Engineering, The Catholic University of Korea,  
†Department of Neurosurgery, Kangnam St. Mary's Hospital*

Stereotactic radiosurgery(SRS) is a technique to deliver a high dose to a particular target region and a low dose to the critical organ using only one or a few irradiations while the patient is fixed with a stereotactic frame. The optimized plan is decided by repetitive work to combine the beam parameters and identify prescribed doses level in a tumor, which is usually called a trial and error method. This requires a great deal of time, effort, and experience. Therefore, we developed the automatic arrangement of multi-isocenter within irregularly shaped tumor. At the arbitrary targets, which is this method based on the voxel unit of the space, well satisfies the dose conformity and dose homogeneity to the targets relative to the RTOG radiosurgery plan guidelines

Key Words: Stereotactic radiosurgery, Radiosurgical plan, Multi-isocenter, Voxel ratio